

*Jerzy Bednarczyk\**

## ROZWÓJ TECHNOLOGII PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA I PERSPEKTYWY JEJ PRZEMYSŁOWEGO WDROŻENIA\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Badania podziemnego zgazowania węgla mają kilkudziesięcioletnią historię. Najwcześniej rozpoczęto je w Wielkiej Brytanii już w 1920 roku (Durham), a w latach 50. XX wieku kontynuowano w Newman Spinney, w Derbyshire i w Bayton. Przerwano ich prowadzenie z powodu niskiej ceny ropy i gazu.

W byłym ZSRR po roku 1950 uruchomiono pięć instalacji przemysłowych: dwie instalacje na węglu brunatnym, dwie na węglu kamiennym bitumicznym, jedną na antracycie. Obecnie pracują dwie: jedna na Syberii w Yuzhno — Abinskaya, druga w Uzbekistanie w Angrenie. Do 1996 zgazowano technologią podziemną 17 mln m<sup>3</sup> węgla.

W USA prowadzono od 1973 do 1989 roku intensywne badania doświadczalne nad technologią podziemnego zgazowania. Na dużą skalę zastosowano wiercenia kierunkowe rozgałęzione z przewodami nawijanymi, wprowadzono najnowsze specjalistyczne oprzyrządowanie do zabudowy instalacji zgazowujących z pomiarem drogi narzędzia wiertniczego oraz identyfikację przebiegu zgazowania, z pomiarem ciśnienia, temperatury i jakości gazu oraz granic między węglem a przyległym nadkładem.

Opracowano modele procesu zgazowania i warunkowania oraz system monitoringu. Przeprowadzone badania pilotowe zweryfikowały poglądy, iż proces podziemnego zgazowania węgla jest prosty w koncepcji, bowiem okazał się w praktyce bardzo złożony. Głównymi problemami są: wiercenie otworów kierunkowych i ich uszczelnienie, monitoring zachodzących reakcji, stabilizacja wydajności i jakości gazu, ochrona przed zanieczyszczeniami.

---

\* Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Poltegor-Instytut, Wrocław

\*\* Publikację przygotowano z wykorzystaniem opracowań wykonanych w ramach projektu Foresight „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywcia i przetwórstwa węgla brunatnego”

Ważne badania dla rozwoju podziemnego zgazowania węgla przeprowadziły zespoły z Wielkiej Brytanii i Hiszpanii. Skonstruowano w połowie lat dziewięćdziesiątych nawijany przewód wiertniczy, który równocześnie przenosi czynnik zgazowujący. Zastosowano to rozwiązanie na złożu w Hiszpanii i opisano występujące w tym doświadczeniu zagadnienia wymagające rozwiązania.

W latach 50. osiągnięto w Australii istotny postęp poprzez doświadczalne badania podziemnego zgazowania. Uruchomiona pilotowa instalacja w Chinchilla w australijskim Queensland po dwóch latach eksploatacji uzyskała wyniki, które zostały przez inwestora uznane jako umożliwiające jej komercjalizację, została bowiem osiągnięta zdolność produkcyjna 80 tys. m<sup>3</sup> gazu na godzinę o kaloryczności powyżej 4,5 MJ/m<sup>3</sup>. Zgazowano także znaczącą ilość węgla — ok. 200 Mg dziennie.

Aktualnie i w planach średnioterminowych podziemne zgazowanie węgla skoncentrowano na zgazowaniu pokładów węgla, które nie spełniają warunków geologiczno-górnicznych do udostępnienia za pomocą technologii odkrywkowej lub podziemnej oraz na złożach zamkniętych kopalń, które przestały być rentowne albo ich eksploatacja jest nieopłacalna.

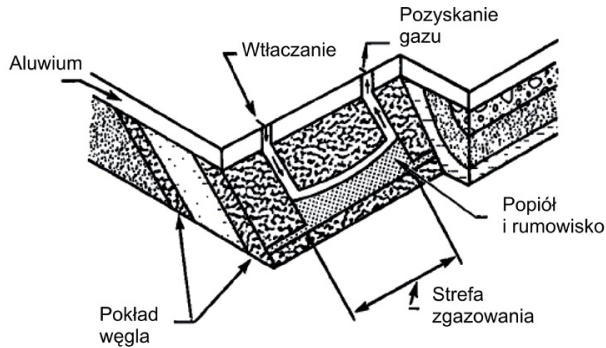
W nieodległej perspektywie podziemne zgazowanie może konkurować ze zgazowaniem realizowanym w gazogeneratorach naziemnych, jeśli coraz więcej krajów włączy się do intensywnie obecnie prowadzonych badań doświadczalnych.

W wieloletniej perspektywie gaz z podziemnej eksploatacji nie zastąpi wielkich elektrowni systemowych, ale może być wykorzystywany w rejonach występowania stosunkowo płytko zalegających złóż węgla, zwłaszcza brunatnego, przede wszystkim do zasilenia w paliwo mniejszych, a nawet średniej mocy elektrociepłowni. Aby takie instalacje mogły funkcjonować z odpowiednią dyspozycyjnością, równomierną wydajnością i jakością gazu oraz były konkurencyjne do innych technologii, trzeba opracować wiele nowych rozwiązań z aparatury pomiarowej, regulacyjnej i sprawdzonych w praktyce.

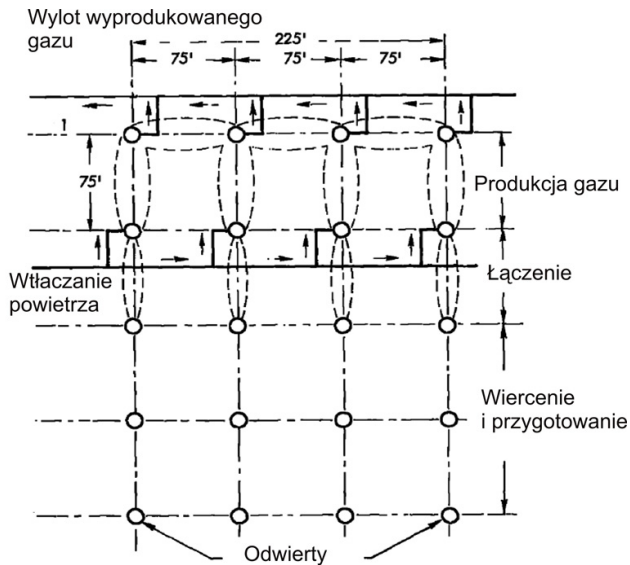
Podziemne zgazowanie natrafia na przeszkody wynikające ze zmiennych warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Czynnik zgazowujący i gaz może czasem filtrować przez skały w niepożądanym kierunku.

Podziemne generatory gazu są tworzone w dwóch następujących technologiach:

- 1) opływowa — chodnikowa — przez wykonanie w pokładzie węglowym jednego lub więcej chodników w kształcie litery U i wprowadzeniem przez jedną gałąź chodnika czynnika zgazowującego i odbieranie gazu z drugiej (rys. 1);
- 2) otworowa — ciśnieniowa — polegająca na wykonaniu co najmniej dwóch otworów wiertniczych w pokładzie węgla i wtłoczenie pod ciśnieniem czynnika zgazowującego do jednego z otworów. Po zapaleniu węgla gaz jest uzyskiwany z drugiego otworu. Podziemna reakcja zgazowująca węgiel rozszerza się do stropu i pozostawia pustą przestrzeń. Proces ten można prowadzić w całej siatce otworów wprowadzając czynnik zgazowujący do otworów wykonanych, w określonym rzędzie i odbierając gaz z otworów następnego rzędu (rys. 2).



Rys. 1. Technologia strumieniowa zgazowania węgla stosowana w byłym ZSRR [1]



Rys. 2. Technologia wielokanałowa stosowana w byłym ZSRR w poziomych pokładach węgla [1]

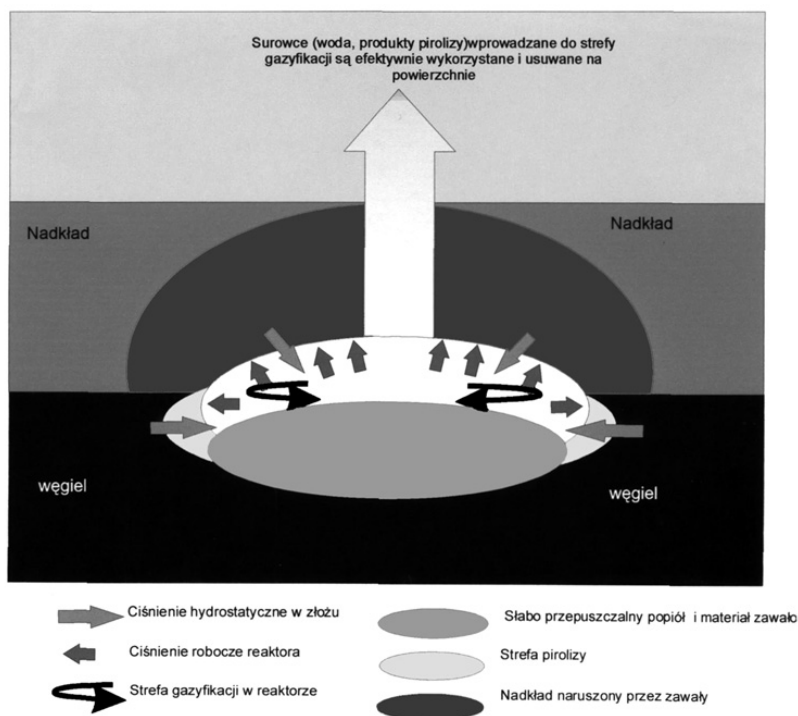
## 2. Model procesu podziemnego zgazowania

Proces podziemnego zgazowania węgla prowadzony jest w samoistnie ograniczonej konfiguracji, tak zwanym pęcherzu (rys. 3). Żaden gaz ani płyn powstające głównie podczas pirolizy nie powinny wydostawać się z pęcherza do wód gruntowych. Gazy i substancje zanieczyszczające z rozruchu technologicznego gromadzone w pęcherzu i wokół niego będą zatrzymane, jeśli ciśnienie wokół reaktora gazyfikacyjnego będzie nieco mniejsze od ciśnienia hydrostatycznego, a strumień wody z otoczenia będzie przemieszczał się w stronę reaktora.

Trzema głównymi warunkami utrzymania tego stanu są:

- 1) wykonanie uszczelnienia odwiertów,
- 2) zachowanie odpowiedniego stożka depresji w wodzie gruntowej wokół reaktora,
- 3) utrzymanie ciśnienia reaktora poniżej poziomu hydrostatycznego.

Model procesu ze strefą reakcji i kinetyki pokazano na rysunku 3.



**Rys. 3.** Podziemne warunki ciśnieniowe i przedmuch podczas podziemnej gazyfikacji węgla

Trudną fazą procesu zgazowania wymagającą specjalnej regulacji jest jego wygaszanie. Łączy się ono ze schładzaniem przestrzeni powstałej po zgazowaniu węgla i wystąpieniem dogodnych warunków do zanieczyszczeń wód. Zmieniają się warunki równowagi i wglębenie może się wypełniać.

Aktywne przeciwdziałanie zagrożeniom środowiska w fazie wygaszania procesu wymaga szybkiego usuwania zanieczyszczeń z przestrzeni poreakcyjnej przez pompowanie wód wraz z zanieczyszczeniami.

Stan hydrogeologiczny ukształtowany po zgazowaniu wróci do stanu sprzed gazyfikacji, jeśli naturalne mechanizmy rozproszenia i wypłukiwania przejmą pozostałe substancje zanieczyszczające w zagłębieniu.

Gaz powietrzny o niskiej kaloryczności wytwarza się z węgla za pomocą powietrza zawierającego tlen i jego skład zależy od temperatury i ciśnienia. Najpierw zachodzi intensywna egzotermiczna reakcja spalania węgla

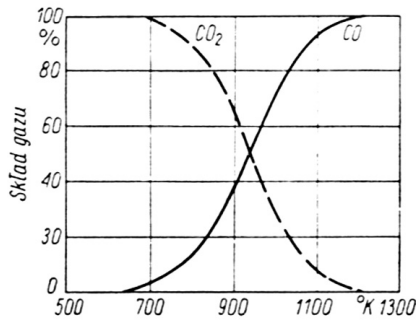


następnie w wysokiej temperaturze tworzy się z  $\text{CO}_2$  tlenek węgla

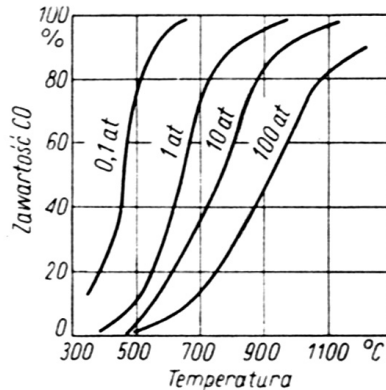


Powietrze wprowadza azot, który zmniejsza ciśnienie cząsteczkowe mieszaniny  $\text{CO} + \text{CO}_2$ . Całkowita zamiana  $\text{CO}_2$  na  $\text{CO}$  zachodzi w temperaturze  $900 \div 1000^\circ\text{C}$ .

Na rysunku 4 przedstawiono zmianę składu fazy gazowej  $\text{CO}_2 - \text{CO}$  w stanie równowagi w zależności od temperatury. Wpływ ciśnienia na zawartość  $\text{CO}$  przy określonej temperaturze obrazuje rysunek 5.



Rys. 4. Zmiana składu fazy gazowej w zależności od temperatury (równowaga Boudouarda) [2]



Rys. 5. Wpływ ciśnienia na skład gazu powietrznego [2]

Gaz wodny (idealny) wytwarza się w reakcji endotermicznej w działaniu pary wodnej na węgiel pierwiastkowy w podwyższonej temperaturze



Ze wzrostem ciśnienia maleje stopień rozkładu pary wodnej, co pokazano na rysunku 6.

W temperaturach niższych od 1200°K wytworzony tlenek węgla ulega homogenicznej reakcji egzotermicznej

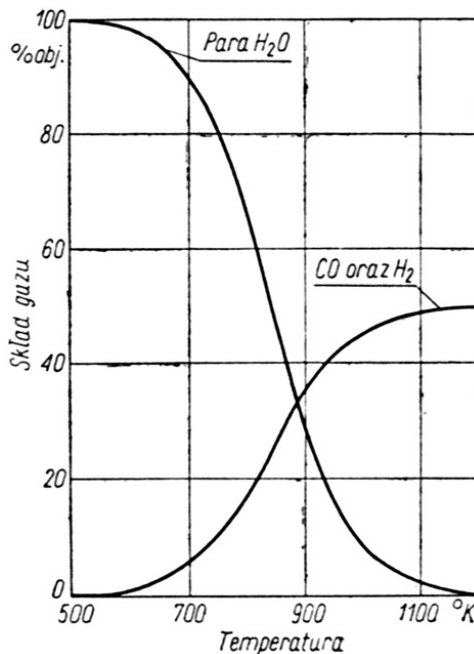


Wymieniona reakcja jest określana jako konwersja tlenku węgla i jest źródłem CO<sub>2</sub> w gazie wodnym. W sumie obie reakcje przebiegają według stechiometrycznego równania



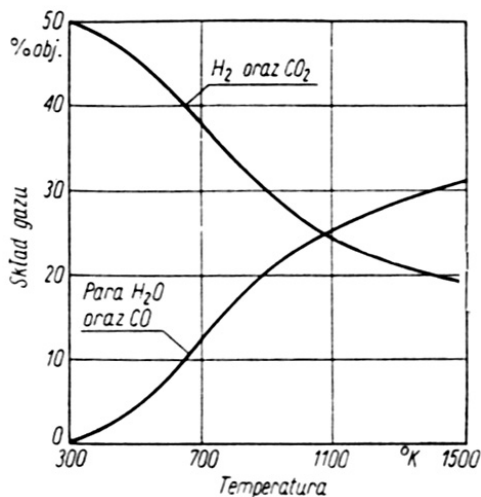
W wytwarzaniu gazu wodnego może w jego składzie wystąpić w niewielkiej ilości do 3% metanu. Udział metanu rośnie wraz z ciśnieniem.

Na rysunku 6 przedstawiono stopień rozłożenia pary wodnej i skład CO<sub>2</sub>.



**Rys. 6.** Stopień rozłożenia pary i skład gazu w stanie równowagi w zależności od temperatury ( $p = 1$  at) [2]

Na rysunku 7 przedstawiono skład gazu tworzącego się w wyniku reakcji (3) i (4).



**Rys. 7.** Teoretyczny skład gazu w stanie równowagi, tworzącego się w wyniku następujących reakcji:  
 $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$  i  $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$  ( $p = 1$  at) [2]

Rzeczywisty przebieg wymienionych reakcji i skład gazu w podziemnym zgazowaniu węgla z uwagi na złożone warunki można określić tylko doświadczalnie. Założenia optymistyczne zakładają, że niektóre substancje zanieczyszczające zostaną zatrzymane przez sam cienki pokład węgla, który jest naturalnym i fizycznym absorbentem, podczas gdy inne zostaną rozproszone przez przepływające przeważnie wody gruntowe w przyległej warstwie, gdzie w końcu ulegną rozpadowi.

### 3. Zgazowanie węgla brunatnego w Angrenie w Uzbekistanie

W Angrenie od 1962 roku wydobywa się odkrywkowo węgiel brunatny o stosunkowo wysokiej kaloryczności. Równocześnie w złożu trudno dostępnym technologią odkrywkową zgazowuje się podziemnie węgiel zasilając kotły starej elektrowni. Parametry zgazowania węgla brunatnego w Angrenie zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

**Parametry zgazowania podziemnego węgla brunatnego w Angrenie [1]**

Kaloryczność węgla, MJ/Mg	Głębokość zalegania, m	Miąższość zgazowanego pokładu, m	Czynnik zgazowujący		Kaloryczność gazu surowego, MJ/m <sup>3</sup>	Wydajność gazu, M <sup>3</sup> /h
			rodzaj	ciśnienie, bar		
15,3	110÷250	4÷24	powietrze	2,5	3,35÷3,56	3000÷10 000

Z instalacji podziemnego zgazowania węgla w Angrenie dostarczono do elektrowni 18 mld m<sup>3</sup> gazu, rocznie od 1410 do 395 mln m<sup>3</sup>. Największą wydajność osiągnięto w 1965 roku 1410 mln m<sup>3</sup>, która stopniowo się zmniejsza do 395 mln m<sup>3</sup> w 1977, gdyż jest eksploatowana ponad 40 lat. Tą samą technologią niektórzy inżynierowie prowadzili badania w Australii.

Technologia strumieniowa zgazowania węgla (rys. 1) należała do pierwszych, które spełniały wymagania efektywności. Po raz pierwszy przetestowano ją w 1935 roku w Liszansku. Otwory wtłaczania czynnika gazującego i wylotowe gazu zostały wywiercone wzdłuż pokładu węgla i połączone na dnie przez szyb. Płomień został zapoczątkowany w kanale łączącym i stopniowo rozprzestrzenił się na całej długości. Przepływ był okresowo odwracany, aby zbliżyć front spalania, który przemieszczał się w górę złoża.

Cechą technologii strumieniowej jest możliwość spalania węgla w przestrzeni czynnego spalania i tworzenia w niej składu żużla, popiołu i skał.

Przedstawiona w rzucie z góry na rysunku 2 metoda wielokanałowa służy do zgazowania węgla w określonym zaborze. Linie kropkowane wskazują te kanały, które zostały uformowane przez wypalenie węgla w czasie robót przygotowawczych.

Zgazowanie węgla przebiega równocześnie w wielu kanałach, a ogień przemieszcza się w tym samym lub przeciwnym kierunku, co przepływ gazu.

#### **4. Próby pilotowe podziemnego zgazowania węgla w USA**

W USA przeprowadzono największy program badań podziemnego zgazowania węgla. Badania przeprowadzono za kilkaset milionów USD na ok. 30 instalacjach pilotowych wykonanych w czterech rejonach zalegania węgla. W tabeli 2 zestawiono główne instalacje pilotowe podając dostępną ich charakterystykę.

W sumie wykonano 31 testów eksperymentalnych w latach 1971–1989. Badania przeprowadzono w ramach programu finansowanego przez Departament Energetyki (DOE). Testy były dokładnie zaplanowane i zmierzały do zbadania określonych odmian technologii. Zestawienie pilotów i dostępne ich parametry przedstawiono w tabeli 2.

We wszystkich pilotach spowodowano zapłon węgla i prowadzono monitorowany proces zgazowania. Wyniki opisano w wielu publikacjach i zbiorowych monografiach [1, 3]. Do najważniejszych badań zaliczono próby wykonane w Hoe Creek (stan Wyoming) i Centralia (stan Waszyngton).

#### **5. Próby pilotowe w Hoe Creek w dorzeczu rzeki Powder River (Quatheim)**

Stratygrafię stanowiska opisano na podstawie analiz zwiercin z otworów wiertniczych i geofizycznych rejestrów. Testy przeprowadzono w nadkładzie węgla podbitumicznym przewarstwionym soczewkami piaskowca. Lokalizacja była typowa dla rejonu Powder River z zaleganiem węgla w strukturze eoceńskiej o miąższości do 30 m i głębokości do 300 m.



TABELA 2  
Charakterystyka parametrów przeprowadzonych pilotowych prób zgazowania węgla w USA [1]

Miejsce	Lata	Ilość prób	Grubość pokładu, m	Czas trwania prób, dni		Odstęp między otworami szybów	Ilość zgazowanego węgla Mg		Czynniki zgazowujące	
				od-do	ogółem		w próbie od-do	ogółem	nazwa	ciśnienie, bar
Hanna, Wyoming	1973–1974				168		2720		powietrze	
Hanna, Wyoming	1975–1979	9		7÷48	266		15628	294÷3412		
Hanna, Wyoming	1987–1988	1	10	40	40		4100		tlen, para	
Hanna, Wyoming	1987–1988	1	10	93	93		11400		tlen para	
Rawlans, Carbon, County, Wyoming	1979–1981	3		5÷66	101		9882	125÷8550	raz powietrze 3 razy para + tlen	
Georgas, AlabamaHoe CreekWyoming	1976–1979	6	10÷30	2÷47	123	od 2 do 47	5118	47÷3251	4 razy powietrze 1 raz tlen 1 raz tlen + para	od 20,7 do 32,4
CentraliaWashington	1981–1893	2		20÷28	48		1140	140÷2000	tlen +para	
Tennessee Colony Texas	1978–1979	2		10÷197	207		4712	212÷4500	1 powietrze tlen	
Razem	1973–1988	24		2÷197				47÷4500		

W badaniach zastosowano trzy różne metody połączenia otworów:

- 1) wybuchowe kruszenie,
- 2) wiercenie kierunkowe,
- 3) odwrócone spalanie.

Również wtlaczanie czynników zgazowujących różnicowano w czasie. Stosowano mieszaninę pary wodnej i tlenu przez dwa dni oraz przez kilka dni powietrze. Analiza wykazała, że jakość gazu zależała głównie od tego, czy wtlaczano powietrze, czy tlen.

Przepływy wtlaczania były monitorowane przy użyciu kryz dławiących i przetworników ciśnieniowych. Prowadzono ciągły pomiar ciśnienia w otworach wtlaczania i wylotowych. Poszczególne składniki (wtłaczanie powietrza, pary i tlenu) również mierzono oddzielnie. Część wyprodukowanego gazu została oczyszczona i schłodzona. W okresowych ważeniach określano średnią zawartość smoły i wody w wytwarzanym gazie. We wszystkich eksperymentach stężenie CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i innych węglowodorów mierzono za pomocą chromatografii, spektrometrii masowej i przez mierniki absorpcji na podczerwień.

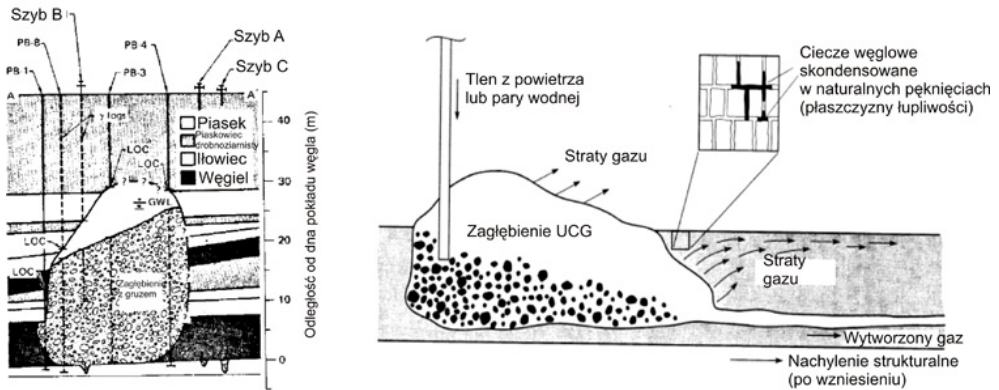
Różne oprzyrządowanie wykorzystywano do pomiaru wzrostu zagłębienia zgazowania. Ogniwa termoelektryczne wykazywały dochodzenie frontu spalania do różnych miejsc. Elektromagnetyczna technika absorbcyjna o wysokiej częstotliwości była wykorzystana do pomiaru wzrostu zagłębienia w dwóch końcowych eksperymentach. Wiercenie rdzeniowe po spalaniu pokazało zakres pustych przestrzeni i pozwoliło określić zmiany skał powstałe w wyniku prowadzenia procesu zgazowania.

Wiele geotechnicznych instrumentów zostało użytych do monitorowania ruchu ziemi zarówno na powierzchni, jak i pod nią. Mierniki nachylenia i pomiary w punktach geodezyjnych były wystarczające do pomiaru osuwania na powierzchni. Do zmierzenia podziemnego ruchu materiału w otworach wykorzystano tensometry. W przeciwieństwie do nich wyniki z piezometrów, deflektometrów z pasa wrębu i odwiertów uznane zostały za mało przydatne.

Wlot czynników zgazowujących został umiejscowiony poniżej lustra wody, by można było zapobiec niekontrolowanemu spalaniu poprzez regulowanie wtlaczania. Niestety podczas testów powstały znaczne ilości zanieczyszczeń organicznych, które w dużej części zostały wprowadzone do wód gruntowych i ich oczyszczanie było bardzo trudne (tab. 3).

Przeprowadzono trzy testy w Hoe Creek I, II i III. Ich głównym celem była ocena trzech różnych technik łączenia otworów wtlaczania i produkcyjnych. Kruszenie wybuchowe zostało użyte w Hoe Creek I i test kontynuowano przez 11 dni z wtlaczaniem powietrza. Podczas tego testu ok. 7% gazu zostało utraconych w formacji. Odwrócone spalanie zostało użyte w Hoe Creek II. Zgazowanie w tej lokalizacji trwało 43 dni. Napływ wody znacząco obniżył jakość gazu. Zwiększone ciśnienie w strefie spalania zostało użyte w celu zmniejszenia napływu wody, ale poskutkowało dużą, 20% utratą gazu. W trakcie prowadzenia procesu zgazowania wystąpiło zerwanie skał w stropie i zasypanie strefy spalania, odkrywając wyższy pokład Felix nr 1 o niższym ciśnieniu hydrostatycznym (rys. 8). W teście Hoe Creek III połączono poziomo wiercone łącze odwróconym spalaniem. Strefa spalania przemieściła się do wyższego pokładu węgla, co poskutkowało znaczną utratą gazu podczas prowadzonego testu (ok. 17%). Osunięcie ostatecznie rozszerzyło się aż do stref reakcji w Hoe Creek I i II.

Aktywne procesy zgazowania wprowadzały toksyczne lotne i półlotne związki organiczne do warstw wodonośnych w lokalizacji Hoe Creek. Ich natężenie występowało zwłaszcza wtedy, gdy w strefie spalania było utrzymywane nadciśnienie, aby złagodzić napływ wody. Ciągłe problemy z jakością wody są wynikiem przemieszczania czynników zanieczyszczających pochodzących z cieczy nie mieszających się z wodą. Stanowią one pozostałości produktów ubocznych zgazowania, utworzonych podczas procesu pirolizy węgla (np. lepka smoła, półlotne i lotne związki organiczne). Te problemy powiększyły się przez osuwanie i zapadanie stropu zagłębienia, co spowodowało połączenie między strefami hydrostratygraficznymi i zanieczyszczenie wszystkich trzech lokalnych warstw wodonośnych.



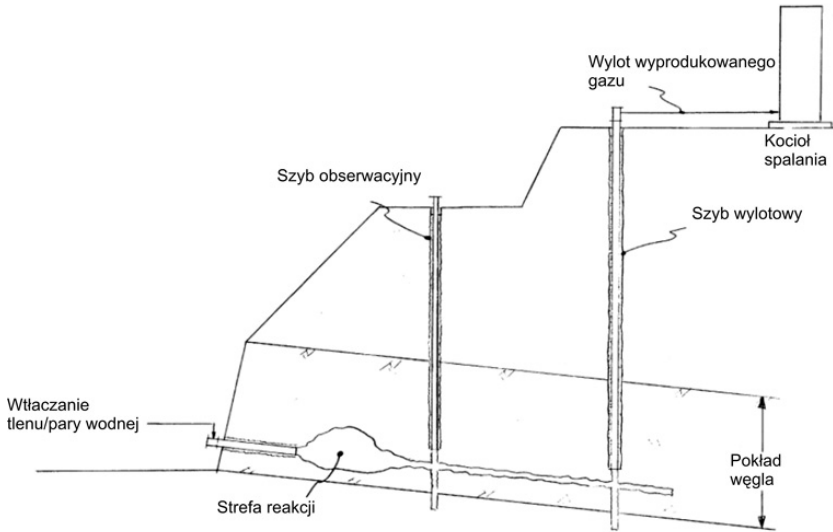
Rys. 8. Struktury górotworu i przestrzeń reaktora zgazowania w Hoe Creek [1]

## 6. Badania podziemnego zgazowania węgla w kopalni WIDCO (Zagłębienie Tono) Centralia w Stanie Waszyngton

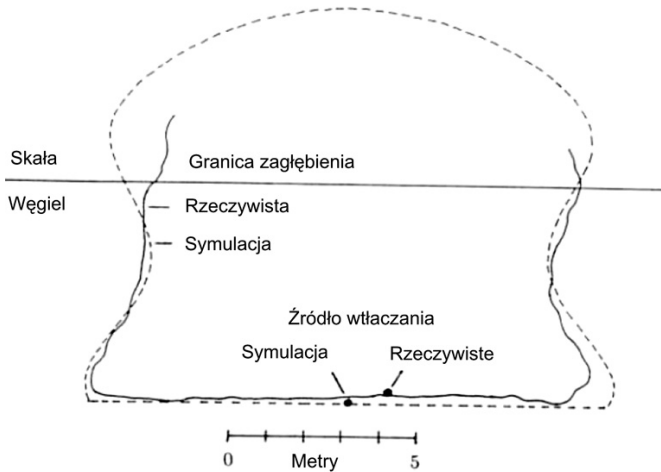
Od 1981 do 1982 r. przeprowadzono serię eksperymentów na dużym bloku węgla niedaleko miasta Centralia w kopalni węglowej należącej do Washington Irrigation and Development Company (WIDCO). Po nich nastąpiły dwa kolejne testy z zastosowaniem technologii CRIP (*Controlled Reacting Ignition Point*) na części pokładu i w całym pokładzie. W technologii tej zastosowano wtłaczanie czynnika zgazowującego z możliwością jego wycofywania.

Eksperymenty miały miejsce na odsłoniętym przodku węglowym (rys. 9 i 10). Jest to węgiel podbitumiczny z eoceńskiej formacji o znacznej zawartości popiołu (14%). Pionowa skarpa ułatwia dostęp do monitorowania, głównie w formie ogniów termoelektrycznych zainstalowanych w szybach. Strefy reaktorów zostały zbadane po przeprowadzonym teście dostarczając materiałów do oceny jak powiększa się zagłębienie wypalania, i jak wpływa na nie geologia lokalizacji. Testy na dużym bloku trwały 4 dni. Inaczej niż w Hoe Creek, obok propanu zastosowano silan do zapłonu i przepalenia przez poziome osłony, aby kontrolować zagłębienie, w którym zachodzi proces spalania. Test CRIP na części złoża trwał ok. 30 dni i przetworzono znaczne ilości węgla. Eksperymenty były przeprowadzane przy

różnicach parametrów pary wodnej, ilości wtłaczanego tlenu oraz zmianach tempa całkowitego przepływu. Zróżnicowanie tych parametrów nie zmieniło znacząco jakości i wydajności gazu syntezowego. Stwierdzono, że strefa reaktora jest samostabilizująca i że tempo przepływu i zmiany współczynników określających stosunek tlenu do pary wodnej nie wpłynęły istotnie na jakość gazu.



Rys. 9. Schemat konfiguracji eksperymentu duży blok w kopalni WIDCO [1]



Rys. 10. Porównanie rzeczywistych i obliczonych kształtów zagłębienia w płaszczyźnie prostopadłej do otworu wtlaczania [1]

Przekop przez strefę reaktora pozwolił zarówno na stwierdzenie jego zgodności z modelem i bezpośrednie zbadanie strefy spalania i produktów. Zagłębienie po reakcjach zgazowania było wypełnione głównie przez gruz składający się z prażonego węgla, popiołu i termicznie zmodyfikowanych skał.

Gazyfikacja podziemna jest związana z tworzeniem gazowych i płynnych zanieczyszczeń. Powstają one jako produkt uboczny procesu rozkładu termicznego i mogą oddziaływać na otaczającą warstwę i rozpuszczać się w pobliskich wodach gruntowych. Są to na ogół toksyczne lotne lub półlotne związki organiczne.

W tabeli 3 przedstawiono pomierzone zanieczyszczenia wód gruntowych przed i po zgazowaniu węgla w instalacjach pilotowych w Teksasie. Rozpuszczalność organicznych zanieczyszczeń chemicznych w wodzie gwałtownie wzrasta z temperaturą i ciśnieniem.

## **7. Przebieg prac badawczych i rozwojowych w Wielkiej Brytanii**

W Wielkiej Brytanii od 1990 roku prace badawcze i rozwojowe nadzorowane są przez Departament Przemysłu i Handlu [3, 5].

Wynika to z polityki Rządu Zjednoczonego Królestwa i wiąże się z zapewnieniem bezpieczeństwa energetycznego. Istnieje przekonanie, że olbrzymie zasoby węgla występujące w pobliżu wybrzeża w południowym rejonie Morza Północnego, nieopłacalne do eksploatacji tradycyjnymi technologiami, mogą poprzez podziemne zgazowanie zapewnić źródło energii dla wytwarzania gazu syntezowego do produkcji wodoru, energii elektrycznej i innych substancji chemicznych.

Chociaż daleko jeszcze, zdaniem zespołu angielskich ekspertów, do uznania podziemnego zgazowania za komercyjną alternatywę dla konwencjonalnego górnictwa, to stwierdzili oni, że w perspektywie tę technologię można wykorzystać na dużych zasobach węgla znajdującego się pod dnem Morza Północnego, wykorzystując w tym celu w części technikę, którą eksploatuje się ropę. Wielka Brytania chce samodzielnie kontynuować program badań przedkomercyjnych z nakładami 15÷20 mln funtów [5].

Sześcioletni program, który ma być realizowany przez naukowców i przemysł, przewiduje zwiększenie dokładności wiercenia kierunkowego, badanie konsekwencji spalania gazu z podziemnego zgazowania węgla w turbinach gazowych, określenie zasobów na lądzie i morzu do zgazowania podziemnego i określenie parametrów kosztowych opłacalności oraz sporządzenie analizy przedwykonawczej zgazowania zasobów występujących pod dnem morza.

Program przewiduje realizację czterech faz:

- 1) identyfikacja możliwych lokalizacji prób w Wielkiej Brytanii, przedstawienie w zarysie program demonstracyjny i przegląd technologii użytkowania.
- 2) zaprojektowanie w szczególności program wiercenia oraz badań naukowych procesów zgazowania i ochrony środowiska.
- 3) realizacja testowego programu wiercenia w celu zbadania technologii w wybranej lokalizacji, sprawdzenie sprzętu do wiercenia kierunkowego i strategii rozwoju.
- 4) realizacja próby zgazowania podziemnego i studium komercyjnej wykonalności.

TABELA 3  
Zanieczyszczenia wód gruntowych w instalacjach pilotowych w Teksasie (Humenick i Mattox, 1978) [1]

Stan pomiaru	Składniki chemiczne w wodzie*															
	Ca	Mg	Na	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	TDS	fenole	TOC	utleniające się i rozpuszczalne		
														CH <sub>4</sub>	PH	Ba
Przed zgazowaniem węgla, mg/l	20	5	100	300	4	0,02	30	0,1	–	1	350	0,1	20	0,42	–	–
Po zgazowaniu węgla, mg/l	200	15	300	500	1150	0,4	40	0,7	2,0	100	2300	20	200	0,16	7,6	0,3

\* As, Cd, Cr, Mn, Hg, Ag, Zn ≤ 0,1 mg/l

Określono następujące uwarunkowania wyboru lokalizacji w Zjednoczonym Królestwie. Lokalizacja powinna umożliwić trzy działania:

- 1) próby wiercenia kierunkowego, aby potwierdzić precyzję i kontrolę nad wierceniem w pokładzie;
- 2) długotrwałą jednokanałową próbę gazyfikacji, aby monitorować rozwój zagłębienia w długich kanałach wewnątrz pokładu;
- 3) półkomercyjny projekt produkcji energii we współpracy z operatorami i przemysłem.

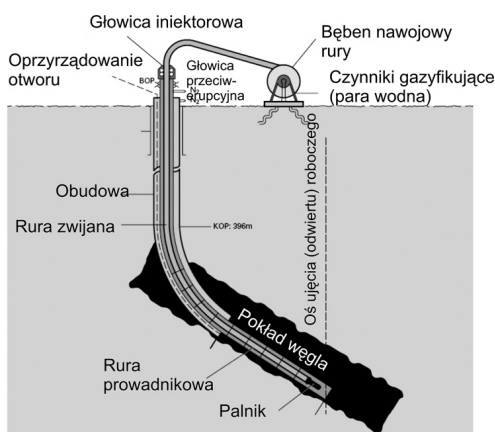
Wstępne poszukiwanie ma na celu określenie przynajmniej dwóch lokalizacji odpowiednio dużych, aby stworzyły warunki dla wszystkich prób w czasie projektu. Taka lokalizacja będzie wymagać całkowitego zasobu węgla na poziomie ok. 4 milionów ton zawartych na powierzchni do 100 hektarów.

Zawarto umowy z głównymi konsultantami w Wielkiej Brytanii w celu podjęcia szeroko zakrojonych poszukiwań odpowiedniej lokalizacji. Powinni oni zbadać parametry geologiczne, wymagania węglowe, obecność warstw wodonośnych oraz niezbędną wielkość powierzchni. Konsultantom dostarczono wstępną listę lokalizacji i mają oni złożyć własne propozycje lokalizacji alternatywnych. Wybrano dziesięć zagłębi węglowych i polecono sformułować krótką listę odpowiednich lokalizacji do lata 2007. Będzie ona przedmiotem dalszych rozważań.

Celem obecnego programu jest zaprezentowanie technicznej wykonalności zgazowania podziemnego w typowych pokładach węgla w Wielkiej Brytanii i stworzenie ekonomicznych i komercyjnych warunków, w jakich będzie ona konkurencyjna.

Kluczową częścią badań jest ocena kierunkowego wiercenia, które według ekspertów proponuje niedrogą i niezawodną metodę budowania siatki otworów w pokładzie.

Wielka Brytania obok Hiszpanii patronowała skonstruowaniu technologii wiercenia z przewodem wydobywczym nawijanym, przenoszącym mieszaninę czynników zgazowania oraz mierzącym pozycję głowicy wiertła (rys. 11).



**Rys. 11.** Sposób prowadzenia kontrolowanej, przemieszczającej się iniekcji w odwiercie z przewodem nawijanym w próbie w Hiszpanii [3]

Technologia ta została zastosowana w hiszpańskiej próbie podziemnego zgazowania i chociaż nie osiągnięto zamierzonych celów, uznano, że wytyczyła kierunki rozwoju. Stwierdzono, że duże przedsiębiorstwa zajmujące się wierceniami dokumentującymi zasoby surowców realizują wiercenia kierunkowe i rozgałęźne, a także eksperymentują z przewodami nawijanymi. Eksperci stwierdzają, że połączenie wysiłków różnych zespołów działających w tym obszarze może mieć istotny wpływ na rozwój tej technologii.

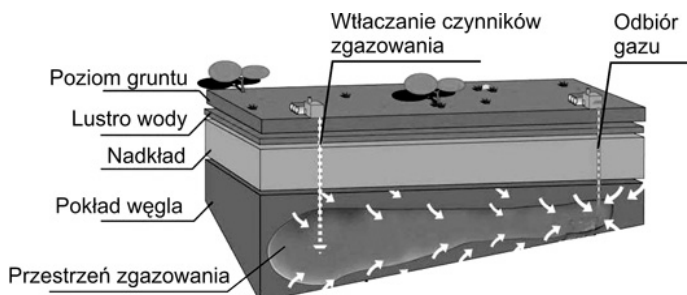
## 8. Podziemne zgazowanie węgla w australijskim stanie Queensland

Podziemne zgazowanie węgla zamierza się rozwijać na podstawie zadawalających wyników w pilotowej instalacji Chinchilla w australijskim stanie Queensland [1, 6].

Instalację uruchomiła firma Linc Energy przy współpracy Ergo Exergy z Kanady. Instalacja pracowała dwa lata, i jak twierdzi inwestor, osiągnęła założoną zdolność produkcji przy kosztach jednostkowych porównywalnych z tanim węglem energetycznym. Mierzono zawartość występujących zanieczyszczeń gazowych, benzenu, fenoli i węglowodorów i mimo, że ich stężenie było wysokie, to jednak zanieczyszczenie wód było znacznie poniżej wartości dopuszczalnych w normach.

Parametry i wskaźniki instalacji pilotowej Chinchilla (rys. 12) są następujące:

- miąższość złoża — 10 m,
- średnia głębokość — 140 m,
- szyby (otwory) produkcyjne — 9 odwiertów,
- otwory do monitorowania — 19 odwiertów,
- całkowita ilość wyprodukowanego gazu 80 mln m<sup>3</sup>,
- całkowita ilość zgazowanego węgla — 35 000 Mg,
- ciśnienie (powyżej atmosferycznego) — 10÷11 bar,
- temperatura — 300°C.



**Rys. 12.** Struktury górotworu i przestrzeń reaktora zgazowania w Chinchilla (Australia) [1, 6–8]



Dane o zgazowaniu w Chinchilla publikowane w wielu artykułach są zbyt optymistyczne.

Podawane wyniki charakteryzujące próbną eksploatację są niespójne i niepełne. Nie pozwalają na rzetelną ocenę technologiczną i ekonomiczną procesu.

Autorzy artykułów podają między innymi, że zgazowano 95% zasobów węgla zalegającego w strefie reaktora, uzyskując 75% zakumulowanej w węglu energii. Uwzględniając wyniki osiągnięte w czynnych dotychczas instalacjach i w badaniach pilotowych oraz demonstracyjnych, wielu inwestorów zdecydowało się podjąć budowę instalacji przed- i komercyjnych. W Chinach funkcjonuje prawdopodobnie 16 małych instalacji podziemnego zgazowania węgla zlokalizowanych na złożach zamkniętych kopalń. Realizowany jest projekt instalacji podziemnego zgazowania węgla w zatrzymanej kopalni podziemnej Majuba w Republice Południowej Afryki. Produkowany gaz ma zasilać elektrownię, która dotychczas korzystała z węgla z kopalni, którą uznano za nieekonomiczną i przerwano wydobywanie.

Przygotowywana jest budowa komercyjnej instalacji w Australii na złożach wykorzystywanych przez instalację Chinchilla.

W Indiach w Radżastanie przystąpiono do opracowania instalacji zgazującej węgiel brunatny zalegający na głębokościach 230+900 m.

Wymienione i inne przedsięwzięcia nie będą miały w najbliższych latach wpływu na zwiększenie zdolności energetycznych, ale zapoczątkują długoletnią fazę rozwoju podziemnego zgazowania węgla. W długiej perspektywie umożliwi to produkcję gazu w ilościach liczących się w lokalnych bilansach energetycznych.

## 9. Podsumowanie

- 1) Przeprowadzone rozpoznanie upoważnia do wnioskowania, że podziemne zgazowanie węgla, zwłaszcza brunatnego, będzie w nieodległej perspektywie technologią komercyjną, umożliwiającą wykorzystanie zasobów nieopłacalnych do odkrywkowego i podziemnego udostępniania zalegających poniżej 100 lub 200 m zależnie od jakości i stratygrafii zalegającego nadkładu, głównie na lokalne potrzeby.
- 2) Uzasadnione jest, aby w branżach górnictwa i energetyki węgla brunatnego opracowany został program badań technologii podziemnego zgazowania, podobnie jak w Wielkiej Brytanii z włączeniem do jego realizacji jednostek badawczych, samorządów lokalnych i przedsiębiorstw.
- 3) Niezbędne i pilne jest:
  - opracowanie wielowariantowych koncepcji technologicznych podziemnego zgazowania węgla brunatnego i kierunków ekonomicznego wykorzystania pozyskiwanego gazu, w nawiązaniu do wyników badań realizowanych w różnych krajach świata;
  - wykonanie analizy całego zbioru niezagospodarowanych złóż i sporządzenie listy priorytetowej zasobów, które mogłyby być tą technologią zagospodarowywane;

- opracowanie podstawowego zestawu środków technicznych potrzebnych do realizacji technologii podziemnego zgazowania i wykonanie oceny możliwości ich pozyskania w kraju lub z importu.
- 4) Wykonanie wymienionych prac stworzy podstawę do zaprojektowania i budowy instalacji pilotowej na złożu, którego parametry powinny być zbliżone do innych złóż przeznaczonych do zgazowania podziemnego.

#### LITERATURA

- [1] *Burton E., Friedmann J., Upadhye R.*: Best Practices in Underground Coal Gasification; Lawrence Livermore National Laboratory; University of California, 2005
- [2] *Roga B., Tomków K.*: Chemiczna technologia węgla. WNT, 1971
- [3] Review of the feasibility of underground coal gasification in the UK. Department of Trade & Industry, październik 2004.
- [4] Review of Environmental Issues of Underground Coal Gasification. Department of Trade & Industry, listopad 2004
- [5] Underground Coal Gasification in the UK; The Coal Authority ([www.coal.gov.uk](http://www.coal.gov.uk))
- [6] Zeirzer R.: Review & Critical Analysis of Underground Coal Gasification; University of Queensland, Australia (rozprawa doktorska)
- [7] Linc Energy (<http://www.lincenergy.com.au>)
- [8] Ergo Exergy (<http://www.ergoexergy.com>)