

Energia z węgla pozyskana na drodze zgazowania

Piotr CZAJA* – AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 12, 1026–1039

Wprowadzenie

Ludzkość poszukuje nowych źródeł energii lub nowych technologii energetycznych pozwalających na bardziej przyjazne dla środowiska wykorzystanie znanych i powszechnie wykorzystywanych surowców energetycznych.

Wysoka cena ropy naftowej w ostatnich latach i bardziej lub mniej słuszna teoria zagrożenia klimatycznego ze strony Człowieka, spowodowały, że znany od prawie 100 lat proces podziemnego zgazowania węgla powrócił do laboratoriów badawczych i do producentów węgla i energii. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju podjęło ten problem finansując projekt zatytułowany „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”, realizowany pod kierownictwem AGH przez wiele jednostek naukowo-badawczych, najbardziej kompetentnych w tej tematyce w Polsce.

Podziemne zgazowanie polega na częściowym wypaleniu złoża po to, aby pozyskane ciepło wykorzystać do przeprowadzenia wielorakich procesów chemicznych, jak częściowe utlenienie węgla pierwiastkowego do postaci tlenku węgla (CO) lub uwodornienie związków węgla doprowadzając do postaci węglowodorów, jak metan lub metanol, czy uzyskanie czystego wodoru. Mieszanina tych gazów wraz z obecnymi tlenkami azotu i dwutlenkiem węgla nosi nazwę gazu syntezowego, zwanym w skrócie „syngazem”. Jego jakość zależy przede wszystkim od parametrów jakościowych zgazowywanego węgla oraz od medium użytego do zgazowania a także od warunków ciśnienia i wilgotności w reaktorze.

W debacie nad bezpieczeństwem energetycznym kraju często słyszy się stwierdzenia, że podziemne zgazowanie węgla może zastąpić kosztowne wydobywanie surowców energetycznych, zagrożone stałym pogarszaniem się warunków górniczo-geologicznych i stałym zaangażowaniem coraz to większych środków finansowych. W tym klimacie stawia się często pytanie: czy podziemne zgazowanie może być alternatywą wykorzystania energii zgromadzonej i skoncentrowanej w skorupie ziemskiej przed milionami lat. Bardzo często podaje się podziemne zgazowanie węgla – jako szansę na mniej emisyjny sposób produkcji energii elektrycznej.

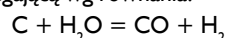
Pomijając drobne niuanse związane z wyższą sprawnością wykorzystania energii chemicznej paliw kopalnych zamienionych na gaz, należy zwrócić uwagę na najprostszą reakcję utleniania węgla pierwiastkowego do dwutlenku węgla, która od czasów, kiedy Człowiek zapanował nad ogniem – dostarcza energii cieplnej w sposób najbardziej efektywny. Tymczasem niektórzy używają argumentu, że węgiel zgazowany w złożu parą wodną daje gaz bogaty w wodór, co po spaleniu daje znacznie większą porcję energii przy znacznie mniejszej emisji CO₂. Istotnie, w Tabelicy I przedstawiono za [7] bilans energii uzyskanej ze zgazowania węgla różnymi czynnikami. Zgazowanie parą wodną wydaje się być bardzo korzystne (Tab. I).

Tablica I

Efekty energetyczne zgazowania węgla w zależności od czynnika zgazowującego wg [7]

Czynnik zgazowujący	Uzysk gazu m ³ /kg	Energia jednostkowa MJ/m ³	Uzyskana energia MJ/kg
Tlen	1,87	12,6	23,6
Powietrze	5,38	4,34	23,3
Para wodna	3,73	11,7	43,6

Trzeba jednak pamiętać, że reakcja zgazowania parą wodną przebiegającą wg równania:



jest reakcją silnie endotermiczną i wymaga aż $\Delta H = 131,0$ kJ/mol energii, którą można pozyskać tylko ze spalania odpowiedniej ilości węgla w złożu, co oczywiście wyemituje do atmosfery określoną ilość CO₂. Zawsze utlenienie węgla pierwiastkowego prowadzi do powstania CO₂, bez względu na to jaką metodą i jaką drogą proces ten przebiega.

Zgazowanie może być realizowane w reaktorach naziemnych lub reaktorach podziemnych, zwanych georeaktorami. W przypadku zgazowania naziemnego znane są liczne technologie gotowe do komercyjnego zastosowania i w wielu przypadkach już stosowane.

Natomiast zgazowanie podziemne, z racji na skomplikowany przebieg i stosunkowo trudny sposób jego zdalnego kontrolowania i sterowania, jest ciągle w sferze badań i eksperymentów.

Dalej omówione zostaną dwa przykłady zgazowania naziemnego i podziemnego, prezentujące obecny poziom wiedzy na temat tych procesów.

Naziemne zgazowanie omówione zostanie na przykładzie technologii Lurgii prowadzonej od 60 lat w firmie Sasol w Afryce Południowej i udoskonalone na tyle, że pozyskane produkty przy odpowiednich warunkach finansowych na rynkach paliw są konkurencyjne do otrzymywanych w technologiach uznanych za klasyczne.

Podziemne zgazowanie ukazane będzie na przykładzie doświadczeń firmy Linc Energy z Australii.

Komercyjne naziemne zgazowanie węgla w koncernie Sasol

Jednym z przykładów komercyjnego zgazowania węgla jest południowo-afrykański koncern Sasol, który prowadzi ten proces od prawie 60 lat i ma w tym zakresie największe w świecie doświadczenie i znaczące osiągnięcia.

Początki produkcji syntetyków, w tym syntetycznych paliw płynnych, wywodzą się z laboratoriów niemieckich i brytyjskich. Fundamentalne prace badawcze i wdrożeniowe w zakresie przetwarzania węgla na paliwa płynne wykonano w Niemczech w okresie przed i w czasie II wojny światowej. Kierowały nimi takie sławy naukowe i laureaci nagrody Nobla, jak: F. Bergius, C. Bosch, M. Pier, F. Haber, F. Fischer czy H. Tropsch. W efekcie, w końcowym okresie wojny (w latach 1943/44) w Niemczech pracowało około dziesięciu dużych zakładów (między innymi w Blachowni i Policach), w których z węgla produkowano rocznie ok. 4,5 mln t paliw płynnych.

Po wojnie wydawało się, że świat nauki pójdzie w kierunku badań nad procesem zgazowania i produkcji paliw płynnych z węgla kamiennego, bo zasoby ropy naftowej szacowano jako bardzo ograniczone, przy jednoczesnej bardzo wysokiej podaży taniego węgla kamiennego.

Autor do korespondencji:
Prof. dr hab. inż. Piotr CZAJA, e-mail: czajap@agh.edu.pl

Odkrycie wielkich złóż ropy – między innymi w Stanach Zjednoczonych – spowodowało, że Amerykanie przestali się zajmować procesem produkcji paliw z węgla i nigdy nie wyszli poza sferę badań laboratoryjnych i półtechnicznych.

W skład Koncernu Sasol wchodzi obecnie następujące wydziały technologiczne [4, 5]:

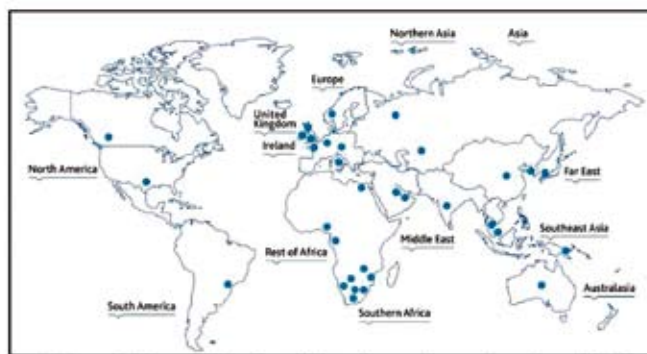
- Sasol Mining (górnictwo)
- Sasol Gas (gaz)
- Sasol Synfuels (paliwa syntetyczne)
- Sasol Oil (oleje)
- Sasol Synfuels International (paliwa syntetyczne – spółka międzynarodowa)
- Sasol Petroleum International (Rafineria ropy- spółka międzynarodowa)
- Sasol Polymers (polimery)
- Sasol Solvents (solventy polimerowe)
- Sasol Olefins & Surfactants (olefiny i surfaktanty)
- Sasol Wax (woski i parafiny)
- Sasol Nitro (nawozy sztuczne i materiały wybuchowe)
- Sasol Technology (rozwój nowych technologii R&D)
- Sasol New Energy (nowe źródła energii).

Ponadto Sasol posiada liczne departamenty obsługujące proces produkcyjny i badawczy oraz promujące nowe technologie chemiczne w innych małych i średnich firmach.

Imponującą jednostką firmy Sasol jest jej departament naukowo-badawczy, to jest Sasol Technology Research & Development – obecnie szacowany jako największa w zakresie konwersji węgla do paliw płynnych i surowców chemicznych jednostka badawcza na świecie. Zatrudnia 640 wysoko wykwalifikowanych ekspertów, przeważnie ze stopniem doktora nauk chemicznych. Rocznie wydaje na badania ok. 600 mln Randów Afrykańskich to jest ok. 180 mln PLN.

Rozpoczęta w Sasol w 1955 r. i prowadzone nieprzerwanie do dzisiaj w skali komercyjnej zgazowanie węgla i konwersja Fischera-Tropscha pozwalająca produkować paliwa płynne z węgla, czyni ten koncern nie tylko największym, ale też najbardziej doświadczonym w świecie. Prawie 60-letnie doświadczenia w produkcji surowców chemicznych z węgla wyznaczają program bardzo bogatych prac badawczych nad doskonaleniem stosowanych metod. W ciągu ostatnich 8 lat Sasol przekazał afrykańskim uniwersytetom ok. 25 mln USD na rozwój i badania naukowe w zakresie górnictwa węgla i jego przetwórstwa chemicznego [5]. W 2013 r. Sasol wspierał finansowo 64 pracowników nauki łączną kwotą ok. 2,5 mln USD [4, 5].

Wraz z dynamicznym rozwojem technologii chemicznych w Sasol, firma stała się przedsiębiorstwem globalnym o zasięgu ogólnosiwiatowym. Jej zakłady produkcyjne i biura handlowe rozproszone są po całym świecie. Sasol ma swój oddział w Polsce „Sasol Poland” z siedzibą w Warszawie. Rozmieszczenie placówek zagranicznych Sasol zaprezentowano na Rysunku 1.



Rys. 1. Placówki produkcyjne i handlowe firmy Sasol w świecie [8]

Całą działalność operacyjną koncernu da się sprowadzić do 6 podstawowych procesów pokazanych za [5, 8] na Rysunku 2 i 3. Odzwierciedla to w pewnym stopniu strukturę koncernu oraz schemat procesu technologicznego.

Koncern Sasol zajmuje się obecnie przetwórstwem chemicznym trzech podstawowych surowców [8]:

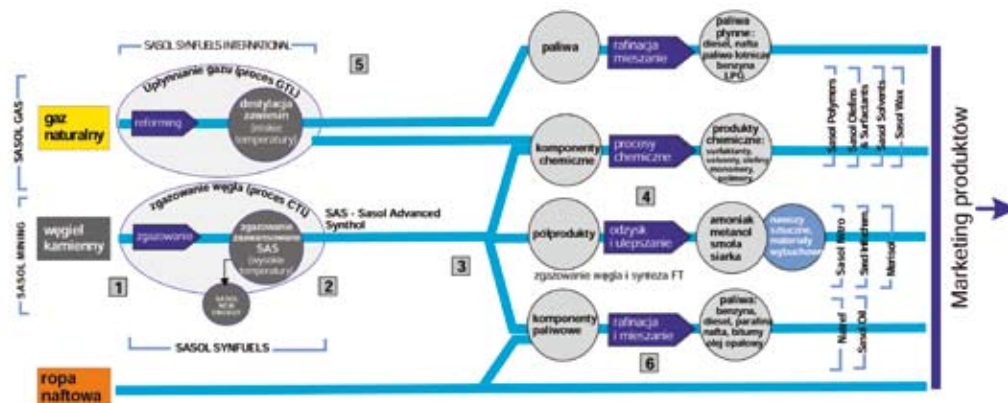
- węgla kamiennego
- gazu naturalnego (ziemnego)
- ropy naftowej.

Podstawowe operacje technologiczne wg schematu na Rysunku 2 [5, 8], to:

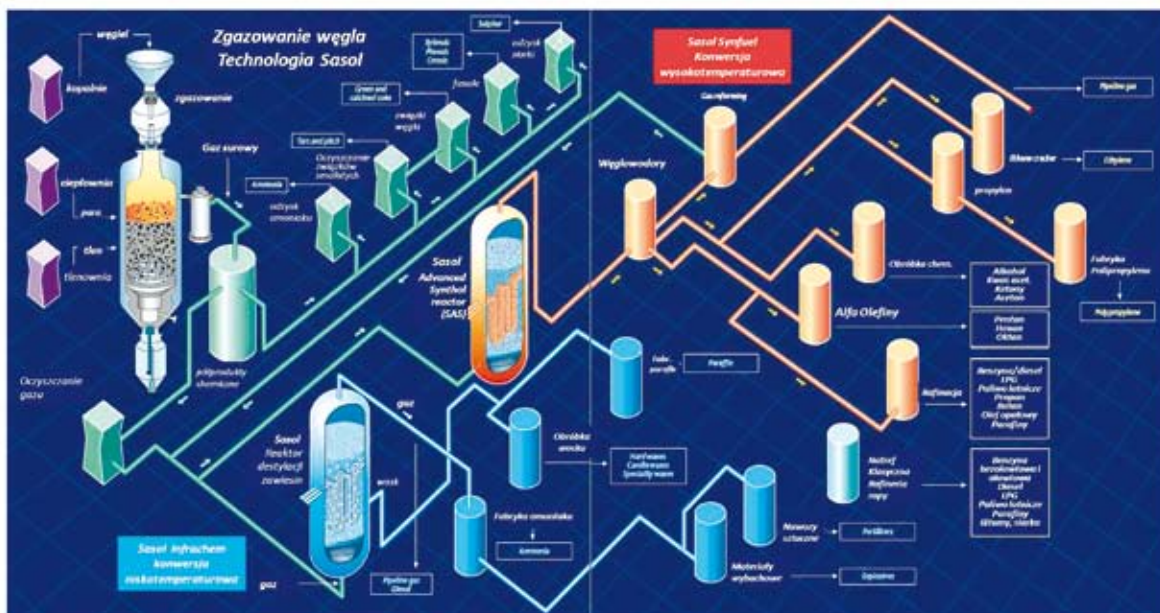
1. zgazowanie węgla (CTL)
2. wysokotemperaturowa konwersja gazu w reaktorach SAS (Sasol Advanced Synthol™)
3. separacja termiczna gazu bogatego w C₂ i konwersja na etylen i etan
4. prawnie zastrzeżona technologia Sasol do odzysku i oczyszczania α-olefin ze strumienia oleju
5. reforming parowy gazu do postaci gazu syntezowego, który jest surowcem do katalitycznej niskotemperaturowej syntezy Fischera-Tropscha w procesie Sasol Slurry Phase Destilate (Sasol SPD™ process)
6. rafinacja ropy naftowej w zakładzie Natref w Sasolburgu w celu uzyskania klasycznych produktów, jak: benzyna, olej napędowy, parafiny, surowce do produkcji etylenu i polietylenu oraz smoły i siarki.

Jak pokazano na schematach (Rys. 2 i 3), linia konwersji węgla kamiennego sprowadza się do jego gazyfikacji i przetwórstwa uzyskanego gazu syntezowego. Proces zgazowania początkowo odbywał się w zakładzie w Sasolburgu w małych reaktorach Lurgi, charakteryzujących się stosunkowo małą wydajnością.

Obecne gazyfikatory cechują się przerobem ok. 45 t węgla/godz. Obecnie zakład Secunda posiada 85 gazyfikatorów, z których nieprzerwanie pracuje stale od 45 do 60. Reaktory okazały się niezawodne i bardzo trwałe. Większość z nich pracuje przez 4 lata bez konieczności kapitalnego remontu.



Rys. 2. Schemat technologiczno-operacyjny koncernu Sasol [5, 8]. 1 – Zgazowanie węgla (CTL); 2 – Wysokotemperaturowa konwersja gazu w reaktorach SAS (Sasol Advanced Synthol™); 3 – Separacja termiczna gazu bogatego w C₂ na etylen i etan; 4 – Prawnie zastrzeżona technologia Sasol do odzysku i oczyszczania α-olefin ze strumienia oleju; 5 – Reforming parowy gazu do postaci syngazu – jako surowca do katalitycznej niskotemperaturowej syntezy Fischera-Tropscha w procesie Sasol Slurry Phase Destilate (Sasol SPD™ process); 6 – Rafinacja ropy naftowej w zakładzie Natref w Sasolburgu



Rys. 3. Sasol – schemat instalacji do zgazowania i upłynnienia węgla oraz jego przetwórstwa chemicznego [3]

Firma Sasol posiada 6 własnych kopalń węgla kamiennego (5 podziemnych i 1 odkrywkow [4]), które wydobywają rocznie 45 mln t węgla, ale kończące się tzw. łatwe i tanie zasoby, między innymi w Kopalni Brandspruit, będą szybko uzupełnione przez budowaną Kopalnię Impumelelo z rocznym wydobyciem do 10,5 mln t. W koncernie Sasol obecny koszt pozyskania 1 tony węgla o kaloryczności ok. 20 MJ/kg jest niższy od 20 USD/t. Dzięki temu przy cenie ropy naftowej wyższej od 80 USD za baryłkę, wszystkie produkty otrzymywane z węgla w tym koncernie mają koszty gwarantujące opłacalność ekonomiczną ich produkcji i są ciągle konkurencyjne do wyrobów pozyskiwanych z gazu lub z ropy naftowej.

Komercyjne zgazowanie węgla w koncernie Sasol – podsumowanie [4]

Bez względu na to, jaki był powód prac nad zgazowaniem węgla w RPA, należy stwierdzić, że kraj ten dzięki determinacji oraz sprzyjającym okoliczności osiągnął światowy sukces w tym zakresie. Świadczy o tym rosnące zainteresowanie tą technologią innych krajów, jak USA, Kanada, Chiny, Katar, Nigeria. Komercyjne przetwórstwo ok. 40 mln t węgla rocznie i produkcja ok. 360 000 baryłek paliwa dziennie oraz większości surowców dla chemii organicznej RPA, potwierdzają najwyższy poziom opanowania tej bardzo trudnej technologii.

Bardzo wysoki poziom badań naukowych prowadzonych w Sasol dowodzi, że mimo 60-letniego doświadczenia nie wszystko już odkryto, a wręcz przeciwnie, każde odkrycie rodzi kolejne pytania i precyzuje nowe problemy. W tym kontekście dalsze prace naukowe nad innymi technologiami zgazowania węgla są potrzebne i pełni uzasadnione. W procesie tym należy jednak zachować dużą cierpliwość i przygotować się na długą drogę.

Nie wolno zapominać o podstawowych barierach rozwoju technologii zgazowania węgla, którymi są:

- dostępność odpowiedniej węglowej bazy surowcowej
- pożądane bardzo niskie koszty pozyskania i transportu węgla do miejsca zgazowania, szacowane obecnie w RPA na poziomie poniżej 20 USD/t przy względnie dobrej kaloryczności węgla oscylującej wokół 20 MJ/kg
- względnie wysokie ceny ropy naftowej na światowych rynkach przekraczające 80 USD/baryłkę oraz ich dostępność w miejscu planowanego przetwórstwa
- łatwość odbioru i zagospodarowania wszystkich produktów zgazowania węgla.

Podsumowując należy stwierdzić, że firma Sasol może być i jest wizytówką RPA. Sasol jest laureatem wszystkich prestiżowych nagród gospodarczych RPA i Afryki. Jest właścicielem dziesiątków patentów i tysięcy naukowych publikacji.

Poza opanowaniem technologii zgazowania węgla, Sasol bardzo aktywnie wchodzi obecnie w problematykę badawczą podejmowaną przez świat, dotyczącą prac nad nowymi systemami pozyskania i zabezpieczenia energetycznych potrzeb ludzkości. Dobrymi przykładami są tu między innymi następujące wydarzenia:

- w 2012 r. Sasol uruchomił w Sasolburgu własną elektrownię o mocy 140 MW wykorzystującej jako napęd – największe w Afryce silniki gazowe na gaz naturalny [3, 8, 9]. Rozwiązanie to zapewnia lepszy dostęp do energii, zmniejsza znacząco emisję CO₂ i jednocześnie odciąża krajowy system dystrybucji energii elektrycznej
- Sasol we współpracy z Firmą OXIS Energy z Wielkiej Brytanii [8, 9] uczestniczy w pracach nad nowymi bateriami akumulatorowymi. Baterie litowe z powodzeniem zastąpiono bateriami polimerowo-litowo-siarkowymi o znacznie większej gęstości i pojemności
- Sasol z norweską firmą CO₂ Technology Centre Mongstad (TCM) podjął wspólne badania nad zagadnieniem sekwestracji dwutlenku węgla – (Carbon Capture and Storage – CCS) [8]
- Sasol we współpracy z ośrodkami naukowymi z Australii prowadzi prace w zakresie wykorzystania metanu ze złóż węgla kamiennego (Coal Bed Methane) między innymi w Botswanie [8]
- Sasol współuczestniczy w programie badawczym nad systemami Concentrated Solar Power (CSP), rozwijanymi dynamicznie na świecie [8, 9]
- Sasol sponsorował budowę afrykańskiego pojazdu w pełni napędzanego energią solarną, który w ciągu 11 dni przejechał 5400 km nie korzystając z innych źródeł energii
- Sasol we współpracy z kanadyjską firmą Ergo Exergy Technologies Inc. prowadzi też wstępne prace z zakresu podziemnego zgazowania węgla (UCG) [8]
- produkując znaczne ilości gazu LPG, Sasol uczestniczy w budowie sieci zaopatrzenia w to paliwo budynków mieszkalnych i obiektów użyteczności publicznej w znanym programie „Sasol Homegas”[8]. W ostatnim czasie zbudowano ponad 2200 takich instalacji w rejonie Johannesburga.

Podziemne zgazowanie jako alternatywna metoda pozyskania energii z węgla

Prace nad podziemnym zgazowaniem węgla prowadzone są na świecie od prawie 100 lat z bardzo różnym skutkiem. W większości przypadków badania kończyły się wnioskami nieopowalającymi na komercyjną budowę zakładu PZW, mimo iż badania te doprowadziły do znacznego udoskonalenia otworowej metody zgazowania węgla. W początkowym okresie prace prowadzono na złożach poziomych, lub prawie poziomych, za pomocą otworów wierconych pionowo. W późniejszym okresie na Syberii, na pokładach stromo nachylonych, zastosowano rozwiązanie polegające na zastosowaniu jednego otworu nachylonego *po upadzie* pokładu. Następnie w związku z rozwojem technik wiertniczych, w latach 70. XX w. w USA po raz pierwszy wykonano otwory kierunkowe. Pozwoliło to na udostępnienie do zgazowania znacznych ilości węgla za pomocą jednego otworu wywierconego najpierw pionowo, a potem poziomo (Rys. 6) w pokładzie. Opracowano również technologię kierowania strefą spalania na złożach poziomych poprzez podciąganie rury iniekcyjnej w otworze kierunkowym. Technologią tę, znaną jako technologię CRIP (Controlled Retractable Injection Procedure), z powodzeniem użyto w firmie Linc Energy (Australia) [1], stosując rozwiązania konstrukcyjne gazogeneratora, m.in. z jednym otworem pionowym, a drugim kierunkowym. Otworem gazowym może być zarówno otwór kierunkowy jak i stały pionowy, zależnie od kierunku przepływu czynnika zgazowującego [2]. Innym z rozwiązań było zastosowanie dwóch otworów kierunkowych z technologią CRIP, wykonanych równolegle do siebie w niewielkiej odległości [1, 2].

Dotychczasowe doświadczenia zrealizowane na świecie wskazują na umiarkowane możliwości zastosowania tej metody do produkcji surowców energetycznych na skalę przemysłową, ale badania naukowe ciągle trwają i są intensyfikowane. Na podstawie technologii wierceń kierunkowych, Firma Linc Energy z Australii opracowała i wybudowała w Chinchilli georeaktor tzw. piątej generacji, który przechodzi obecnie intensywne testy badawcze.

Firma ta obecna w wielu krajach świata, zaangażowała się również bardzo aktywnie w Polsce w projekcie „Polanka – Wielkie Drogi” (PWD), gdzie obecnie prowadzi się wiercenia badawcze mające na celu dokładne rozpoznanie warunków i parametrów technicznych złoża pod kątem możliwości zastosowania tej technologii do eksploatacji złoża poprzez zgazowanie podziemne.

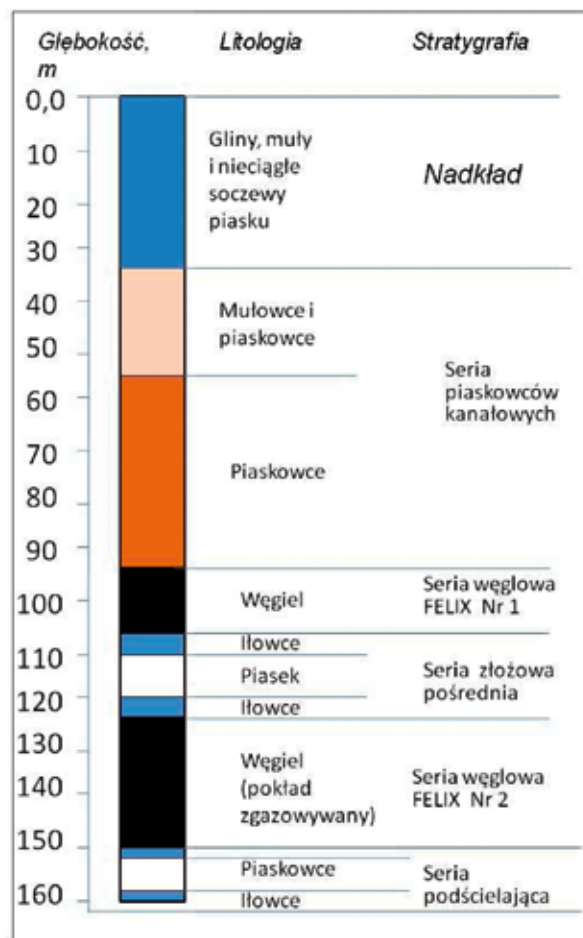
Warunki geologiczne-złożowe, hydrogeologiczne i środowiskowe w Zakładzie Badawczym Chinchilla

Oceniając pozytywnie doświadczenia naukowe nad podziemnym zgazowaniem węgla, zdobyte przez Linc Energy, należy wyraźnie zaznaczyć, że nie wolno przenosić tych efektów wprost na inne a zwłaszcza polskie złoża, bowiem złożo Chinchilla będące przedmiotem zgazowania w pilotowej instalacji UCG posiada szczególnie dogodne warunki geologiczne dla tej technologii.

O warunkach tych decyduje głównie profil litologiczny złoża Chinchilla (Rys. 4).

Podobnie geograficzna lokalizacja zakładu badawczego jest niezwykle korzystna. Najbliższe zabudowania oddalone są o 30 km od miejsca prowadzonych eksperymentów UCG, a to pozwala prowadzić badania bez większego ryzyka dla okolicznych mieszkańców. Przeróbka gazu syntezowego na paliwa płynne w instalacji naziemnej, w procesie zwanym w skrócie GTL (Gas To Liquid) nie jest uciążliwa dla otoczenia. Na powierzchni terenu w rejonie gazogeneratora prowadzona jest w ograniczonym zakresie działalność rolnicza, co również jest okolicznością sprzyjającą. **Można więc stwierdzić, że zakład doświadczalny Chinchilla pracuje w doskonałych warunkach środowiskowych i górniczo-geologicznych.** Na Rysunku 5 przedstawiono otoczenie zakładu górniczego Chinchilla.

Zakład doświadczalny Chinchilla, nazywany również instalacją demonstracyjną, w istocie, ze względu na osiąganą wydajność zgazowania jest instalacją pilotową, prowadzi eksperymenty od 1999 r.



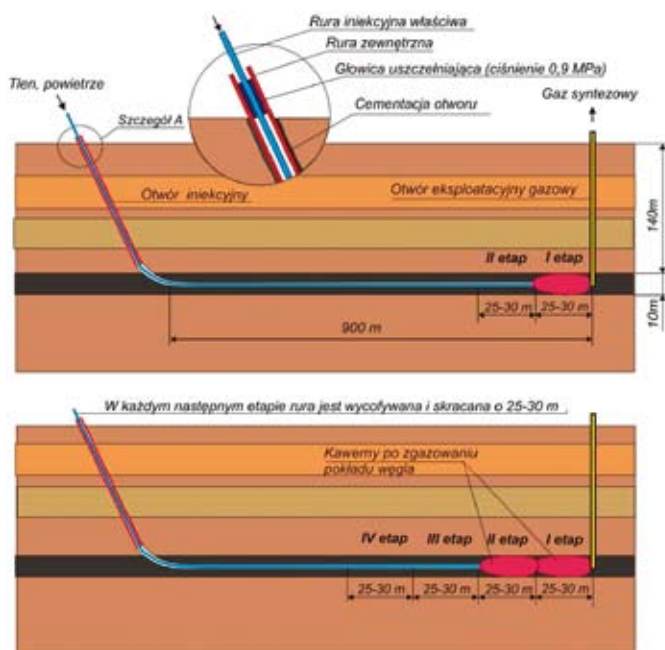
Rys. 4. Profil litologiczny skał w rejonie złoża Chinchilla (Queensland – Australia) [6]



Rys. 5 Zakład doświadczalny Chinchilla – Australia [6]

W 2011 r. w Chinchilli uruchomiono podziemny gazogenerator piątej generacji składający się z dwóch otworów, z których jeden jest otworem poziomym (kierunkowym) o długości ok. 900 m, za pomocą którego podawana jest mieszanina czynników zgazowującego (tlen i powietrze). Rura wprowadzająca medium zgazowujące jest stopniowo wycofywana (podciągana), dzięki czemu uzyskuje się postęp strefy zgazowania. Drugi z otworów jest otworem pionowym stałym i służy do odbioru gazu. Temperatura gazu na otworze gazowym wynosi poniżej 300°C i zmniejsza się w czasie wraz z oddalaniem się strefy zgazowania. Podawany czynnik zgazowujący (mieszanka tlenu i powietrza) zatłaczany jest pod ciśnieniem ok. 0,9 MPa. Uzyskany gaz charakteryzuje się raczej niską wartością opałową 4,5–5,7 MJ/Nm³. Informację, że instalacja doświadczalna pozwala na zgazowanie ok. 100 t węgla dziennie, należy zweryfikować osiąganą dzienną produkcją 4–5 baryłek paliwa płynnego z wykorzystania instalacji naziemnej – syntezy Fischera–Tropscha.

Schemat działania georeaktora jest identyczny jak w klasycznym modelu podziemnego zgazowania (Rys. 6).



Rys. 6. Schemat ideowy podziemnego zgazowania węgla Chinchilla (opracowanie własne). a) schematyczne przedstawienie procesu; b) prowadzenie procesu w Stacji Badawczej Chinchilla

Istotną różnicą, względem powszechnie prezentowanych modeli podziemnego zgazowania, jest:

- ciśnieniowe prowadzenie procesu zgazowania, co pozwala na uzyskanie lepszych efektów zgazowania; w tym celu instalacje wprowadzające media zgazowujące posiadają głowice uszczelniające, pozwalające na szczelne odcięcie kawerny zgazowania od powierzchni
- własny system wiercenia otworów kierunkowych o zmiennej średnicy: otwór iniekcyjny jest uzbrojony i orurowany, natomiast otwór produkcyjny w obrębie pokładu węgla jest otworem bosym
- zapożyczony z przemysłu naftowego agregat do wprowadzania do systemu UCG stalowych rur iniekcyjnych ciągłych (bez szwu), rozwijanych z bębna (Rys. 7) umożliwiają stopniowe wycofywanie i skręcanie na głowicy otworu iniekcyjnego rurociągu podającego media zgazowujące.

Obecny światowy postęp w zakresie elektroniki i informatyki wykorzystano do opracowania technologicznych systemów kontrolno-pomiarowych i systemów sterowania procesem oraz systemów monitoringu procesu zgazowania i jego wpływu na środowisko.



Rys. 7. System uzbrojenia otworu iniekcyjnego instalacji UCG [1]
Oznaczenia: 1 – zbiorniki z mediami technologicznymi; 2- urządzenie do uzbrajania otworów; 3 – maszt do wprowadzania rur iniekcyjnych; 4 – system mieszania gazów iniekcyjnych; 5 – głowica otworu iniekcyjnego

Zasadniczymi kryteriami, wg których należy oceniać stopień opamowania tej technologii, są warunki bezpieczeństwa powszechnego w otoczeniu gazogeneratora UCG i oddziaływania na środowisko, mierzone standardami europejskimi. Odnosi się wrażenie, że zagrożenia te są niedostrzegane i niedoceniane przez autorów prowadzących badania w Chinchilli. Warunki geologiczne złóż węgla w Australii są bardziej przyjazne eksploatacji systemem komorowo-filarowym bez zawalu stropu, co istotnie nie powoduje zagrożenia osiadaniem terenu lub wydostaniem się na powierzchnię gazów produkowanych w georeaktorze. Skutkuje to jednak bardzo małym wskaźnikiem wykorzystania złoża, który w warunkach polskich przepisów jest nie do zaakceptowania.

Wnioski i rekomendacje dotyczące australijskich doświadczeń w podziemnym zgazowaniu węgla

1. Najstarszą i pierwszą komercyjną instalacją podziemnego zgazowania węgla jest reaktor Angrenskaja w Uzbekistanie, gdzie w ZSRR rozwijano ją od połowy XX wieku. Udoskonalona posłużyła do opracowania technologii tzw. piątej generacji zastosowanej w Chinchilli. W przypadku Linc Energy zmiennym jest fakt, że firma w prawie 14-letniej działalności, mimo zainwestowania olbrzymich środków finansowych w badania naukowe, dokładając postęp technologiczny w tej dziedzinie, nigdzie jak dotychczas nie uruchomiła instalacji prowadzącej działalność w skali komercyjnej, a w ostatnich dwóch latach notuje ujemne wyniki na działalności operacyjnej.
2. Mimo tych osiągnięć, technologia UCG zaprezentowana na instalacji Chinchilla w Australii nie może być jeszcze uważana za technologię nadającą się do wykorzystania komercyjnego, a tym bardziej efektywnej substytucji tradycyjnego wydobywania węgla kamiennego lub brunatnego z jego jednoczesną zamianą na paliwo płynne lub gazowe, zwłaszcza dla polskich warunków geologicznych i hydrogeologicznych oraz uwarunkowań miejscowych; w Polsce nie ma żadnego złoża o warunkach zbliżonych do warunków australijskich, ponieważ:
 - a) instalacja w Chinchilli zbudowana jest na złożu o idealnych dla tej technologii parametrach górnictwowych, geologicznych i środowiskowych, na które składają się:
 - grubość pokładu ok. 10 m i głębokość zalegania ok. 140 m
 - jakość węgla w zgazowywanym pokładzie:

– ciepło spalania w granicach	21–23 MJ/kg
– wilgotność całkowita	10,1%
– zawartość popiołu	19,3%
– zawartość części lotnych	<40,0%
– zawartość części nielotnych	ok. 34%.
 - młody wiek węgla – dolna i środkowa jura, dla których kinetyka zgazowania jest wg współczesnych badań o wiele wyższa niż karbońskich węgli kamiennych

- korzystny układ warstw nadległych (Rys. 4), w tym obecność:
 - bezpośrednio nad pokładem dwóch warstw utworów ilastych
 - grubej, ok. 40 m, mocnej serii piaskowcowej
 - szczelny nadkład czwartorzędowy
 - brak horyzontów wodonośnych.
 - b) zakład UCG zlokalizowany jest w bezludnym obszarze (najbliższe osady ludzkie znajdują się w odległości ok. 30 km), a w rejonie eksperymentu prowadzona jest częściowo działalność rolniczo-leśna
 - c) przestrzenne zagospodarowanie terenu w Australii nie jest obwarowane ostrymi wymaganiami środowiskowymi.
3. Odrębnym zagadnieniem jest skala i efektywność tego rodzaju zastosowań. Linc Energy Ltd. nie udostępniła jak dotychczas żadnych danych ekonomiczno-finansowych związanych z budową i eksploatacją instalacji, a tylko potwierdza fakt, że instalacje takie są na etapie studiów wykonalności.
4. Uwzględniając wyniki produkcyjne jedynej funkcjonującej na świecie przemysłowej instalacji UCG w Angrenie – Uzbekistan, gdzie osiągnięto maksymalną wydajność 10 000 m³/godz. gazu syntezowego o bardzo niskiej jakości wynoszącej ok. 3,5 MJ/m³ (gaz ziemny ma kaloryczność 38 MJ/m³) bardzo trudno wyobrazić sobie instalację przemysłową, która będzie w stanie dostarczyć rocznie przynajmniej 1 mld m³ gazu o parametrach gazu ziemnego. Jeden milion ton węgla może dać ok. 370 mln m³ gazu syntezowego. Zatem dla osiągnięcia 1 mld m³ gazu syntezowego należałoby w ciągu roku zgazować i przeprowadzić metanizację co najmniej 3 mln ton węgla. Zakładając za specjalistami z Linc Energy, że kawerna po zgazowaniu ma szerokość 2–3 grubości zgazowywanego pokładu, aby uzyskać taką ilość gazu należałoby w technologii Linc Energy zgazować rocznie węgiel zgromadzony w obrębie kawerny o długości zależnej od grubości pokładu (Tab. 2)

Tablica 2

Długość kawerny po zgazowaniu złoża w zależności od grubości pokładu dla zgazowania 3 mln ton węgla w roku

Grubość pokładu, m	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Długość kawerny dla zgazowania 3 mln ton węgla, km	42,3	18,75	10,5	6,75	4,65	3,45	2,7	2,1	1,65

- Oznacza to, że konieczne będzie wykonanie co najmniej takiej długości otworów zgazowujących w pokładzie (lateralnych). Dla pokładów cienkich odległość między kolejnymi otworami zgazowującymi wynosić będzie od 9 do 15 m.
5. Biorąc pod uwagę czynniki wpływające na koszty UCG, na obecnym etapie badań nie jest możliwa ocena efektywności instalacji komercyjnej bez identyfikacji wcześniej wymienionych czynników.
6. Linc Energy prezentując wyniki badań monitoringu otoczenia podziemnego gazogenerators Chinchilla zapewnia o pełnym – w ich technologii – bezpieczeństwie w zakresie braku osiadania powierzchni i ewentualnej emisji zanieczyszczeń do środowiska, co jest prawdziwe na obecnym poziomie eksperymentu w warunkach australijskich (jeden otwór i jedna kawerna po zgazowaniu). Nie ma natomiast prognoz, co będzie, kiedy front zgazowania będzie się przesuwał i poszerzał o setki metrów, co musi doprowadzić do zawału stropu nad gazogeneratorem i w konsekwencji do osiadania skał nadległych, potem rozszczelnienia ośrodka i nieuniknionych problemów z przedostaniem się produktów zgazowania do ekosystemu; chyba, że pojedyncze kawerny po zgazowaniu będą wykonywane w znacznej odległości od siebie.
7. Na tle powyższych wniosków, polski projekt PZW w złożu Polanka Wielkie Drogi oferowany przez Linc Energy rodzi wiele pytań:
- a) Jaki będzie stopień wykorzystania złoża, jeżeli na polu eksploatacyjnym szerokości ok. 600 m planuje się tylko 10 georeaktorów, czyli w jednym panelu zostanie zgazowany pas o szerokości ok. 10 m, natomiast pozostawiony filar złożowy będzie miał ok. 50 m?

- b) Gdzie Linc Energy zamierza zbudować fabrykę do metanizacji otrzymanego syngazu?
- c) Co z bezpieczeństwem powszechnym, skoro georeaktory planuje się w bezpośrednim sąsiedztwie obszarów gęsto zaludnionych?
- d) Czy istotnie na powierzchni nie będzie żadnych osiadań, skoro wszystkie teorie geomechaniczne wskazują, że nad wyrobiskiem o dowolnej wysokości i leżącym na głębokości H, zawsze wystąpi osiadanie terenu. Przykładowo, wg teorii Bruggsa, wartość osiadania w osi tunelu wyniesie:

$$h = w \left(\frac{2,2}{2,2 + \sqrt{\frac{H}{100}}} \right) \quad (1)$$

gdzie:

w – wysokość wyrobiska (kawerny po zgazowaniu równa grubości pokładu), m

H – głębokość stropu tunelu, m

h – głębokość niecki osiadania, m.

W przypadku pełnego ściśnięcia wyrobiska o wysokości w=5 m leżącego na głębokości 300 m, na powierzchni powstanie niecka obniżeniowa o kształcie krzywej Gaussa, mająca w najgłębszym miejscu głębokość h wynoszącą aż 2,79 m.

Podsumowanie

Analizując dwa zgoła odmienne przypadki, ale dotyczące tego samego zagadnienia, można stwierdzić, że:

- a. zgazowanie w reaktorach powierzchniowych jest możliwe i, jak dowodzi firma Sasol, może być źródłem wielu produktów, w tym paliw płynnych dla motoryzacji i lotnictwa zawodowego oraz całego szeregu półproduktów, jak olefiny, woski, parafiny czy metanol przydatnych do dalszego przetwórstwa i dających pokaźne zyski na działalności operacyjnej
- b. zgazowanie powierzchniowe przynosi w Sasol pozytywne efekty ekonomiczne, gdy cena tony węgla nie przekracza 20 USD/tonę, a jednocześnie cena ropy naftowej jest wyższa od 80 USD/baryłkę
- c. podziemne zgazowanie węgla jest ciągle w sferze prac badawczych i mimo wielkiego postępu w tej technologii, na obecnym etapie nie można stwierdzić komercyjnej przydatności do pozyskania energii o konkurencyjnych kosztach względem wydobycia węgla klasyczną technologią górniczą
- d. przy próbach przeniesienia technologii wypracowanej na złożach o bardzo korzystnej budowie geologicznej (vide warunki w Australii, czy Afryce Południowej) do warunków polskich należy pamiętać, że:
 - polskie węgle kamienne (z półkuli północnej) są zupełnie inne od węgla z półkuli południowej, różniąc się zasadniczo ilością maceratów węglowych, między innymi wityrnytu i inertynitu, co według ekspertów Sasol ma duże znaczenie zarówno w przebiegu procesu zwykłego spalania jak i zgazowania
 - polskie węgle, zwłaszcza płytko zalegające, występują w formacjach skalnych silnie zawodnionych, co będzie mieć zasadniczy wpływ na proces rozpalenia złoża i przebieg zagazowania; przykładowo silnie zawodnionych węgla brunatnych ze złoża Sieniawa nie udało się rozpać w próbie podziemnego zgazowania, gdyż wykonane otwory zasilane były wodą pod dużym ciśnieniem hydrostatycznym
 - Polska nie posiada złóż węgla kamiennego zalegającego w rejonach bezludnych, jak to ma miejsce w Chinach, Australii czy Afryce Południowej; cały obszar polskich zagłębi węglowych, zwłaszcza w obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, to tereny gęsto zaludnione, a podziemne zgazowanie prowadzone pod tymi terenami, z racji na technologiczną konieczność obecności w procesie dużych ilości tlenu węgla, może być wielkim zagrożeniem dla Człowieka oraz innych istot żywych.

Podsumowując przedstawiony materiał, widać wyraźnie, że zgazowanie naziemne jest technologią w pełni dojrzałą i gotową do stosowania. Nie oznacza to, że dalsze badania nie są potrzebne. Wręcz przeciwnie – jak pokazuje praktyka badawcza Sasol – zakład ten jest bardzo dynamicznym centrum badań naukowych, w których uczestniczą specjaliści z całego świata.

Mniej liczne prace badawcze nad podziemnym zgazowaniem węgla wskazują na możliwość prowadzenia tego procesu pod kontrolą. Jednak ograniczona skala prowadzonych badań, bardzo niska kaloryczność uzyskanego gazu, konieczność skomplikowanych procesów oczyszczania gazu syntezowego, niedostępność do kawern po zgazowaniu i brak możliwości oceny stopnia wykorzystania złoża, brak pełnego rachunku ekonomicznego i ekologicznego dla tej metody oraz wiele innych niewyjaśnionych problemów, na dzień dzisiejszy nie pozwalają na pełną rekomendację tej metody jako substytutu pozyskiwania energii na drodze klasycznego wydobycia węgla i jego spalania.

Praca wykonana w ramach Zadania Badawczego nr 3 finansowanego przez NCBiR na podstawie Umowy nr SP/E/3/7708/10.

Literatura

- Blinderman M. S., Jones R. M.: The Chinchilla IGCC Project to Date: UCG and Environment, 2002 Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2002. CA.
- Blinderman M. S., Saulov D. N., Klimenko A. Y.: Forward and reverse combustion linking in underground coal gasification. Energy 33, Elsevier, 2008.
- Collings J.: Umysł nad materią. The Sasol Story: A half-century of technological innovation. Wydawnictwo Sasol. www.sasol.com.
- Czaja P.: Czarna Afryka, czarny węgiel i złote paliwo. O zgazowaniu węgla w koncernie Sasol – RPA – słów kilka. Przegląd Górniczy nr 11. 2014
- Sasol Technology R&D 2013. Better together .. we deliver. Broszura informacyjna Kncernu. Dostępna na stronie internetowej: www.sasol.com.
- Strona internetowa http://www.lincenergy.com/company_history.php UCG Explained; 02 UCG Corporate Series, Linc Energy. Strona inter-

netowa: http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/Zgazowanie/Sklad_gazu_ze-zgazowania_wegla.pdf. Strona internetowa: <http://www.sasol.com/extras/sasol-facts-pres-2/>

- Technology in motion. Fuels technology. Broszura informacyjna Sasol Technology R&D. Dostępna na stronie internetowej: www.sasol.com.

Prof. dr hab. inż. Piotr CZAJA jest absolwentem Technikum Górnictwa Odkrywkowego w Krakowie (1967) oraz Akademii Górniczo-Hutniczej - Wydział Górniczy w Krakowie (1973). Dyscyplina naukowa: górnictwo i geologia inżynierska, specjalności: budownictwo podziemne, górnictwo, geomechanika górnicza, materiałoznawstwo budowlane. Pracuje na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH od 1973 r. obecnie na stanowisku prof. nadzwyczajnego. Jest posiadaczem stopnia Generalny Dyrektor Górniczy I stopnia.

Autor ponad 160 publikacji naukowych oraz ponad 140 opracowań, raportów i projektów dla przemysłu z zakresu budownictwa podziemnego, ogólnych problemów górnictwa oraz właściwości materiałów stosowanych w budownictwie podziemnym. Autor i współautor 11 patentów krajowych.

Wieloletni nauczyciel akademicki na kierunkach: górnictwo i geologia, inżynieria środowiska, zarządzanie i inżynieria produkcji oraz budownictwo. W latach 2006-2008 Prodziekan Wydziału, od 2008 Dziekan Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH oraz członek Senatu.

Członek z wyboru Komitetu Górnictwa PAN oraz Komitetu Zrównoważonej Gospodarki Surowcami Mineralnymi PAN. Członek światowej organizacji profesorów górnictwa „Society of Mining Professors”. Członek Komitetów Naukowych czasopism: Acta Montanistica Slovakia, Journal of Anhui University of Science and Technology - Natural Science, Przegląd Górniczy oraz Wiadomości Górnicze. Członek Międzynarodowego Komitetu Organizacyjnego Światowych Kongresów Górniczych. Przewodniczący Stowarzyszenia Polski Komitet Światowego Kongresu Górniczego.

e-mail: czajap@agh.edu.pl

Aktualności z firm

News from the Companies

ZMIANY PERSONALNE

Nowy Członek Zarządu Rafinerii Nafty Jedlicze

Pan Krzysztof Topolski z dniem 18 listopada br. objął funkcję Członka Zarządu Rafinerii Nafty Jedlicze. Z Grupą Kapitałową Spółki Pan Krzysztof Topolski związany jest od 2009 r., a od 2012 r. zajmuje stanowisko Prezesa Zarządu jednaj ze Spółek Grupy RNJ: Konsorcjum Olejów Przepracowanych – Organizacja Odzysku Opakowań i Olejów SA, które będzie łączył z funkcją Członka Zarządu RNJ. (kk)

(<http://www.rnjsa.com.pl/>, 19.11.2014)

Nowy członek zarządu w BOP

Piotr Żehaluk obejmie stanowisko Członka Zarządu – Dyrektora ds. Produkcji w Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o. (BOP). Został on powołany do pełnienia tej funkcji przez PKN ORLEN SA i z dniem 1 listopada br. zastąpił Jerzego Nowalińskiego. (kk)

(<http://www.basellorlen.pl/>, 5.11.2014)

BADANIA I ROZWÓJ

„Porozumienie o współpracy” IChPW i AGH

W dniu 24 listopada br. w Krakowie, pomiędzy Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla a Akademią Górniczo-Hutniczą im. Stani-

śława Staszica, zostało podpisane „Porozumienie o współpracy”. Strony ustaliły m.in., że współpraca będzie realizowana wspólnie poprzez inicjowanie prac badawczo-rozwojowych ze wspólnego obszaru zainteresowań AGH i IChPW, uruchamianie i realizowanie projektów służących rozwijaniu i wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych, podejmowanie indywidualnych i wspólnych starań o pozyskiwanie funduszy z krajowych i europejskich źródeł finansowania na realizację tych przedsięwzięć, promocję współpracy pomiędzy AGH i IChPW, organizację wspólnych imprez i warsztatów promujących profil wykształcenia odpowiadający oczekiwaniom IChPW oraz zgodny z profilem kształcenia studentów, uzgadnianie tematów prac dyplomowych, organizację wspólnych konferencji i seminariów naukowych, konsultacje naukowe pomiędzy pracownikami AGH i IChPW oraz przygotowanie publikacji naukowych i zgłoszeń patentowych w dziedzinach wspólnych zainteresowań.

Sygnatariuszami „Porozumienia o współpracy” byli dyrektor dr inż. Aleksander Sobolewski (IChPW) oraz prorektor ds. współpracy, prof. dr hab. inż. Tomasz Szmuc (AGH). (kk)

(<http://www.ichpw.zabrze.pl/>, 27.11.2014)

Dokończenie na stronie 1039