

AUTOREFERAT
(w języku polskim)
Dr inż. Barbara Bielowicz

Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Al. Mickiewicza 30-059 Kraków
Kraków 2018

1. ŻYCIORYS NAUKOWY

1.1 Dane osobowe:

Imię i Nazwisko **Barbara Bielowicz, rodowe Styrnol**

1.2. Wykształcenie:

- 2001 – 2006 Studia jednolite magisterskie – kierunek górnictwo i geologia, ukończona specjalność Geologia i Prospekcja Złóż w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska w Katedrze Geologii Złożowej i Górniczej.
- Lipiec 2006 uzyskanie tytułu magistra inżyniera, praca obroniona z wyróżnieniem. Praca magisterska na temat: "*Analiza mineralogiczna produktów wzbogacania rud Cu-Mo-W*", promotor prof. dr hab. inż. Adam Piestrzyński,
- 2006 – 2011 Studia Doktoranckie w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska w Pracowni Złóż Węgla w Katedrze Geologii Złożowej i Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie,
- 2010 – 2011 Studia Podyplomowe w zakresie Bezpieczeństwa i Higieny Pracy w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii, AGH.
- Styczeń 2012 Uzyskanie tytułu Doktora inżyniera Nauk o Ziemi w dyscyplinie Geologia. Temat rozprawy doktorskiej *Schemat nowej technologicznej klasyfikacji węgla brunatnego w myśl zasad międzynarodowych*, promotor prof. Marian Wagner, praca wyróżniona.

1.3 Zatrudnienie i przebieg pracy zawodowej.

- Październik 2011-wrzesień 2012 zatrudniona na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii w Katedrze Górnictwa Podziemnego na stanowisku asystenta
- Styczeń 2012 Staż przemysłowy w Dziale Geologii i BHP w KWK Jas-Mos, Polska
- Październik 2012-wrzesień 2016 zatrudniona w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na Wydziale Geologii,

- Geofizyki i Ochrony Środowiska, w Katedrze Geologii
Złożowej i Górniczej, na stanowisku asystenta
- 2014 urlop macierzyński
- Od października 2016 zatrudniona w Akademii Górniczo-Hutniczej im.
Stanisława Staszica w Krakowie, na Wydziale Geologii,
Geofizyki i Ochrony Środowiska, w Katedrze Geologii
Złożowej i Górniczej, na stanowisku adiunkta
- Wrzesień-grudzień 2016 Staż naukowy w Instytucie Gospodarki Surowcami
Mineralnymi, Kraków

1.4 Organizacje

- Od 2013 Członek The International Committee for Coal and Organic Petrology.
- Od 2015 Członek The Society for Organic Petrology.

1.5 Stypendia i nagrody

- 2016 Stypendium naukowe dla wybitnego młodego naukowca przyznawane przez Ministra
Nauki i Szkolnictwa Wyższego na 3 lata
- 2017 Indywidualna Nagroda Rektora AGH III stopnia
- 2016 Indywidualna Nagroda Rektora AGH II stopnia
- 2015 Indywidualna Nagroda Rektora AGH III stopnia
- 2014 Indywidualna Nagroda Rektora AGH II stopnia
- 2013 Indywidualna Nagroda Rektora AGH I stopnia
- 2009 InnoGrant – Program wspierania innowacyjnej działalności doktorantów w ramach
działania ZPORR (IROP Acts 2.6.)

2. Wskazanie osiągnięcia

2.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Wpływ budowy petrograficznej węgla brunatnego na jego przydatność w procesie zgazowania

2.2 Cykl publikacji powiązanych tematycznie stanowiących osiągnięcie naukowe

Publikacje wiodące

- [P1] Barbara BIELOWICZ *Petrographic composition of Polish lignite and its possible use in a fluidized bed gasification process* International Journal of Coal Geology 2013 t. 116–117, s. 236–246 **IF 3.313** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2013): **35**
- [P2] Barbara BIELOWICZ *Charakterystyka odmian technologicznych węgla brunatnego do zgazowania naziemnego w reaktorze fluidalnym* Przegląd Górniczy; 2013 t. 69 nr 4, s. 1–9. (lista B czasopism MNiSW, 2013): **6**
- [P3] Barbara BIELOWICZ *Litotyp węgla jako jeden z wyznaczników przydatności węgla brunatnego w czystych technologiach węglowych* Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; 2016 nr 94, s. 79–90. (lista B czasopism MNiSW, 2016): **9**
- [P4] Barbara BIELOWICZ *Petrographic characteristics of lignite gasification chars* International Journal of Coal Geology; 2016 t. 168, z 1, s. 146–161. **IF 4.783** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016): **40**
- [P5] Barbara BIELOWICZ, Jacek R. Kasiński *The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits* International Journal of Coal Geology; 2014 t. 131, s. 304–318, **IF 3.381** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2014): **35, Udział 60%**
przedruk
Barbara BIELOWICZ, Jacek R. Kasiński *Reprint of “The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits”* International Journal of Coal Geology; 2015 vol. 139 s. 191-205, **IF 3.381** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2014): **35, Udział 60%**

- [P6] Barbara BIELOWICZ *The suitability of polish ortho-lignite deposits for clean coal technologies* Gospodarka Surowcami Mineralnymi= Mineral Resources Management, 2016 t. 32 z. 4, s. 109–127 **IF 0.481** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016): **15**
- [P7] Barbara BIELOWICZ *Wstępna ocena możliwości wykorzystania węgla brunatnego ze złoża Gubin w procesie zgazowania*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego / Państwowy Instytut Geologiczny, 2012 nr 448 (1) s. 195–199. punktacja lista B czasopism MNiSW, 2012) **4.00**
- [P8] Barbara BIELOWICZ *Change of the petrographic composition of lignite during the ex-situ lignite gasification* Fuel : the science and technology of fuel and energy. — 2017 t. 206, s. 219–229. **IF 3.357** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2017): **40**
- [P9] Barbara BIELOWICZ *Charakter petrograficzny węgla brunatnego ze złoża Turów przeznaczonego do zgazowania otworowego w instalacji doświadczalnej ex situ* Górnictwo Odkrywkowe; 2015 t. 56 nr 2, s. 73–78. (lista B czasopism MNiSW, 2015): **7**
- [P10] Barbara BIELOWICZ *Qualitative and chemical characteristics of mineral matter in the selected lignite deposits in light of their suitability for clean coal technologies / E3S Web of Conferences* 2016 t. 10 art. no. 00002, s. 1–6. LF (lista czasopism MNiSW, 2016): **15**
- [P11] Barbara BIELOWICZ *The influence of chemical composition of ash on the coal gasification* 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, www.sgemviennagreen.org, SGEM2017 Vienna GREEN Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-28-7 / ISSN 1314-2704, 27 - 29 November, 2017, Vol. 17, Issue 43, 545-552 pp; DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S19.069– oczekiwanie na indeksację na WoS, wg punktacji MNiSW z 2016 – **15 pkt.**
- [P12] Barbara BIELOWICZ 2017 *The content of toxic elements in chars after the gasification of lignite* W: SGEM 2017 : 17th international multidisciplinary scientific geoconference : 27-29 Novemeber 2017, Vienna, Austria : conference proceedings. Vol. 17, Energy and clean technologies. Iss. 43, Recycling, air pollution and climate change, modern energy and power sources, Sofia : ISBN: 978-619-7408-28-7. S. 513–519 DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S19.065, oczekuje na indeksację w WoS, wg punktacji MNiSW z 2016 – **15 pkt.**

Sumaryczny IF publikacji stanowiący osiągnięcie naukowe wg WoS: 18,696

Sumaryczna ilość punktów wg MNiSW na dzień publikacji: 241

Opracowania uzupełniające

[P13] Barbara BIELOWICZ *Zmiana struktury wybranych macerałów węgla brunatnego w procesie zgazowania w oparciu o badania spektroskopowe Ramana*. Przemysł Chemiczny, w druku, **IF 0,385**, punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016):**15**

[P14] Barbara BIELOWICZ *The suitability of Polish lignite for CO₂ gasification*, Clean Technologies and Environmental Policy, w druku, **IF 2.337** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016):**20**

[P15] Barbara BIELOWICZ, Michał Raszowski, Natalia Maciejończyk. *Petrographic composition of the ex-situ lignite gasification residues*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental, **IF 0.555** punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016):**20**, udział 60%

2.3 Komentarz autorski do zbioru publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Wprowadzenie

Węgiel brunatny, będący jednym z podstawowych surowców energetycznych, jest głównie wykorzystywany w procesie spalania bezpośrednio po wydobyciu ze złoża. Z myślą o ochronie środowiska naturalnego i ograniczeniu emisji CO₂ do atmosfery, poszukiwane są nowoczesne metody jego wykorzystania. Jedną z czystych technologii węglowych jest jego zgazowanie. Proces zgazowania jest znany od dziesiątek lat, jednak w ostatniej dekadzie obserwuje się intensywne badania nad jego efektywnością i budowane są nowe instalacje. Także w Polsce prowadzone są badania nad możliwością zgazowania węgla. Prace te prowadzą zarówno instytuty badawcze jak i przedsiębiorstwa energetyczne. Zgazowanie jest procesem wysokotemperaturowym (powyżej 800°C), w którym poprzez działanie na węgiel czynnikiem zgazującym – którym może być powietrze, tlen, para wodna lub dwutlenek węgla – w warunkach podwyższonej temperatury i ciśnienia rozpadają się wiązania chemiczne w strukturze molekularnej węgla i powstaje mieszanina gazowa: pary wodnej, tlenu, tlenku węgla i wodoru – zwana syngazem. Skład chemiczny wyprodukowanego syngazu zależy od typu i jakości zastosowanego węgla, czynników zgazujących, warunków zgazowania (szybkość ogrzewania, czas pobytu, temperatura, ciśnienie), a także konfiguracji instalacji. Powstały syngaz jest wykorzystywany jako źródło energii przez jego spalanie lub jako materiał do produkcji różnorodnych substancji chemicznych i paliw płynnych czy też gazowych (Collot, 2006). Dlatego też najnowsze czyste technologie węglowe w głównej mierze opierają się na różnych formach zgazowania. Proces zgazowania

może być prowadzony: 1) w instalacjach naziemnych po wcześniejszej konwencjonalnej eksploatacji węgla i 2) jako podziemne zgazowanie węgla, gdzie proces zachodzi bezpośrednio w pokładzie węgla i na powierzchnię wydobywany jest tylko syngaz.

Na przebieg procesu zgazowania w obu przypadkach, oprócz parametrów samej instalacji zgazowującej, mają wpływ własności technologiczne, chemiczne i petrograficzne węgla. O ile badania nad możliwością zgazowania węgla kamiennego i węgla brunatnego twardego są powszechne, to analizy dla węgla brunatnego miękkiego, który to występuje w Polsce, są już rzadkością. Prace nad zgazowaniem węgla brunatnego miękkiego są prowadzone zwłaszcza w USA, Chinach, Niemczech i Turcji. Jako członkowi organizacji petrograficznych: ICCP i TSOP, zwrócono uwagę że problem wpływu budowy petrograficznej węgla niskouwęglonego na przebieg procesu zgazowania wymaga radykalnego rozwiązania. Dlatego też w ramach komisji III ICCP powołano grupę roboczą dotyczącą zgazowania węgla, której jestem współprzewodniczącą razem z Profesorem Nicolą Wagner z RPA.

Na podstawie wcześniejszych badań oraz dostępnej literatury postawiłam tezę, iż **na podstawie podstawowych badań petrograficznych możliwe jest określenie przydatności węgla brunatnego w procesie zgazowania**. W celu realizacji zadania badawczego zastosowałam szereg metod badawczych. Podstawową metodą była charakterystyka litotypów węgla i mikroskopia w świetle odbitym, która jest szeroko stosowana dla charakterystyki węgla brunatnego. Mikroskopię optyczną uzupełniłam elektronową mikroskopią skaningową (SEM), spektrofotometrią Ramana, dyfraktometrią rentgenowską, analizą chemiczną oraz analizą techniczną węgla. Ze względu na różne wymagania w zależności od zastosowanej technologii zgazowania prace stanowiące dorobek habilitacyjny można podzielić na tematy dotyczące:

- 1) naziemnego zgazowania węgla brunatnego, głównie w instalacji fluidalnej,
- 2) podziemnego zgazowania węgla brunatnego.

Schemat przydatności węgla brunatnego do procesu zgazowania oparty na składzie petrograficznym

Wstępny schemat przydatności węgla brunatnego do różnych kierunków użytkowania oparty na składzie petrograficznym został zawarty w dokumencie Instrukcja Ministerstwa Gospodarki i Energetyki nr 3/1982 (GW-KB 94/82, 1982). Jednakże dokument ten dotyczy technologii, które zostały zaniechane, takich jak np. brykietowanie czy upłynnianie węgla brunatnego. Należy zwrócić uwagę, że w instrukcji tej zaznaczono także, że w procesie

zgazowania niepożądane są składniki zżelifikowane, zhomogenizowane, ze skłonnością do występowania w nich spękań oraz macerały obojętne w tym procesie (inertne, substancja mineralna). Z drugiej strony ważna jest tu jak najwyższa zawartość składników z dobrze zachowanymi tkankami roślinnymi, a także o gąbczasto porowatej masie podstawowej z częścią zupełnie rozłożonych tkanek. W oparciu o instrukcję nr 3 swoje schematy przydatności do zgazowania ciśnieniowego oparte na mikrolitotypach przedstawiła Szwed-Lorenz (Szwed-Lorenz, 2001, 1991). Dotychczas nie spotkałam się w literaturze światowej z podobnymi schematami, dlatego uznałam, że diagram przydatności do zgazowania ze względu na skład petrograficzny w znacznym stopniu ułatwiłby wstępną ocenę surowca i możliwości jego użytkowania.

Pierwszy etap prac polegał na określeniu litotypów węgla brunatnego i ich wpływu na proces zgazowania [P1-3]. W tym celu wykorzystałam różne litotypy węgla brunatnego. Następnie przeprowadziłam ich mikroskopową analizę macerałową. W oparciu o badania statystyczne oraz analizę korelacji i regresji zauważyłam, że skład macerałowy w litotypach węgla ma wpływ na szybkość reagowania (ubytek masy w trakcie ogrzewania)(Fig. 1) i skład chemiczny produkowanego syngazu [P14]. W składzie petrograficznym prób ze złóż polskich dominują macerały grupy huminitu, które charakteryzują się wyższą zawartością tlenu i mniejszą ilością pierwiastka C w porównaniu do grupy macerałów grupy inertynitu i liptynitu (Cronauer et al., 1992). W węglu brunatnym miękim, bo taki był badany, jest jeszcze stosunkowo duża ilość grup alifatycznych. Stosunki atomowe H/C i O/C oraz ilość grup metoksyłowych zmniejszają się w wyniku procesów biochemicznych, podczas gdy wzrasta aromatyczność i zawartość grup karboksylowych (Russell and Barron, 1984). Jednocześnie należy podkreślić, że liczne grupy fenolowe w węglu pochodzącym z ligniny z niedużą zawartością grup alifatycznych są typowe dla huminitu (Stankiewicz et al., 1996). Taki skład chemiczny sprzyja procesowi zgazowania. Zauważyłam, że węgiel brunatny już w temperaturze 600°C ulega znacznej konwersji. Najszybciej reaguje ten węgiel, który jest porowaty i składa się w znacznej części z ksylytu. Jest to związane z faktem, że łatwiej ulegają rozbiciu jego wiązania chemiczne. Jednocześnie ksylyt charakteryzuje się większym udziałem składników alifatycznych. Niżej uwęglony węgiel ksylytowy jest w znacznym stopniu zbudowany z tekstynitu. Tekstynit składa się z substancji humusowych oraz pozostałości celulozy i ligniny. W procesie zgazowania ze względu na wysoką zawartość celulozy i żywicy, tekstynit jest źródłem smoły i gazu (Süss et al., 1968). W węglu ksylytowym o wyższym stopniu uwęglenia (bardziej zżelifikowanym) dominującym składnikiem jest ulminit. Ulminit produkuje mniejsze ilości smoły i gazu oraz większe ilości karbonizatu niż

tekstynit (Kurtz, 1981). Jednocześnie w wyniku przeprowadzonego eksperymentu należałoby stwierdzić, że zarówno teksynit jak i ulminit są składnikami węgla, które przyspieszają proces zgazowania i są w nim pożądane. Najślabiej reaguje węgiel ze znacznym udziałem macerałów podgrupy detrohuminitu, a zwłaszcza atrynitu. Atrynit składa się głównie z substancji humusowych oraz resztek celulozy i ligniny. Niższa podatność na konwersję macerałów detrohuminitu została zaobserwowana także przez (Shibaoka, 1982; Süß et al., 1968), którzy stwierdzili, że składniki te produkują mało ekstraktów. Zauważyłam także wpływ składu petrograficznego na skład produkowanego syngazu. Najbardziej niekorzystnymi z uwagi na skład produkowanego syngazu są duże ilości macerałów grupy inertynitu, głównie semifuzynitu. Macerały te podnoszą zawartość niepożądanego CO i CO₂. W wyniku eksperymentu stwierdziłam, że najlepiej reagują i najszybciej ulegają konwersji węgle z dużą ilością słabo zżelifikowanego ksylitu i małą ilością popiołu.

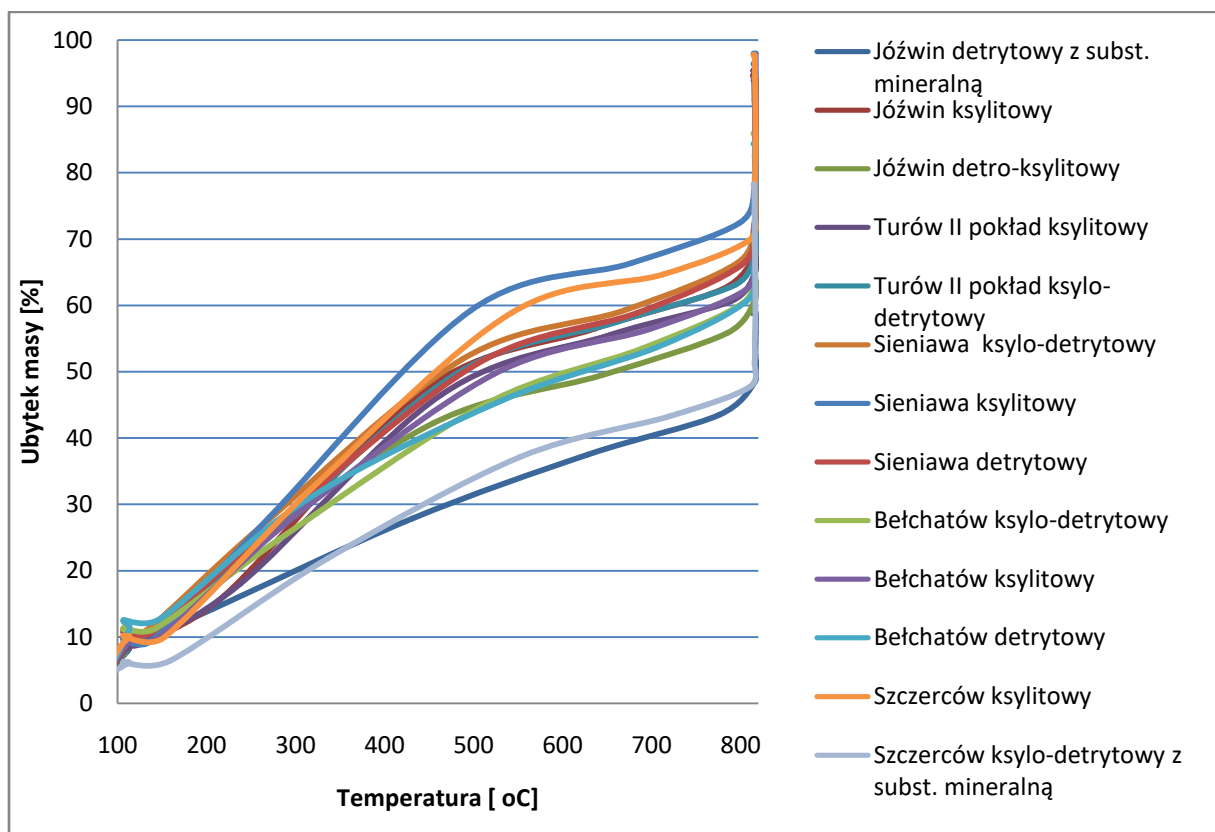


Fig.1. Ubytek masy węgla brunatnego w ogrzewanej atmosferze CO₂.

W oparciu o przeprowadzone eksperymenty zaproponowałam schemat przydatności węgla do zgazowania fluidalnego [P1] (Fig.2). W celu określenia przydatności węgla do zgazowania fluidalnego z uwagi na skład petrograficzny należy także uwzględnić wymagania dla tej technologii. Jednym z podstawowych założeń jest maksymalna optymalna zawartość popiołu

w stanie suchym na poziomie 20%, co dla węgla brunatnego daje mniej więcej 10-15% substancji mineralnej w analizie petrograficznej. Według zaproponowanego schematu (Fig.2) za bardzo przydatny do procesu zgazowania fluidalnego uznaje się węgiel, który w swoim składzie ma co najmniej 80% macerałów grupy huminitu i mniej niż 20% sumy macerałów grupy inertynitu i substancji mineralnej. Maksymalna zawartość substancji mineralnej i macerałów grupy inertynitu została ustalona na podstawie analizy wyników wydajności zgazowania w fluidalnych reaktorach w warunkach laboratoryjnych. Za węgiel przydatny do zgazowania uznano taki, który w analizie petrograficznej ma poniżej 30% substancji mineralnej i inertynitu, a także mniej niż 50% macerałów grupy liptynitu. Problematiczną przydatnością charakteryzuje się węgiel brunatny w którym jest do 50% substancji mineralnej z inertynitem i do 50% liptynitu. Nieprzydatny do zgazowania fluidalnego jest węgiel z zawartością substancji mineralnej i inertynitu powyżej 50%.

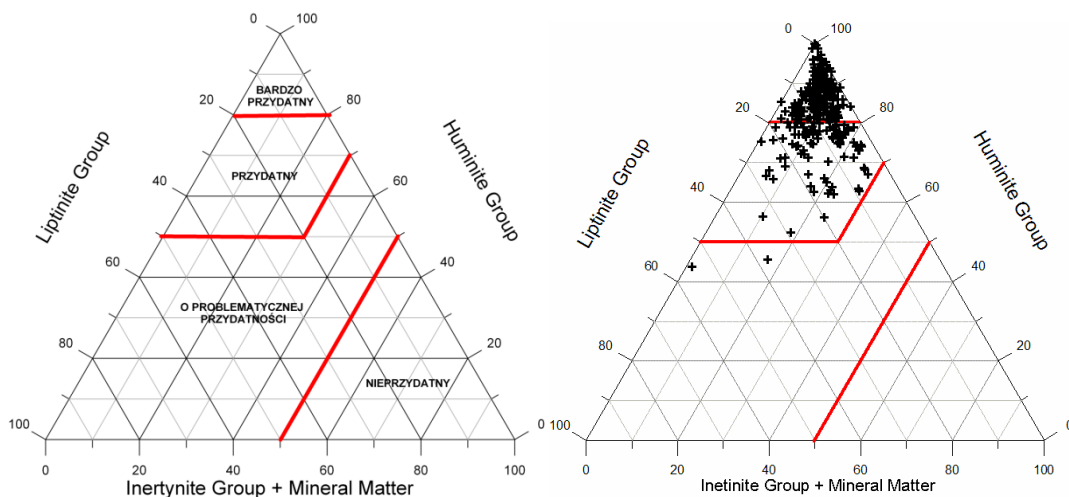


Fig. 2 Diagram przydatności węgla brunatnego do procesu zgazowania fluidalnego oraz ocena przydatności polskiego węgla brunatnego do zgazowania fluidalnego na podstawie składu petrograficznego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdziłam, że w polskich złożach miękkiego węgla brunatnego występuje głównie węgiel humusowy. Węgiel bitumiczny oraz półbitumiczny występują w mniejszych ilościach i nie są obecnie przedmiotem selektywnej eksploatacji. W krajowych złożach występują więc cztery podstawowe litotypy węgla humusowego: węgiel detrytowy, ksylo-detrytowy, detroksylitowy oraz ksylitowy. Węgiel fuzynowy występuje w postaci cienkich wkładek w obrębie innych litotypów węgla o grubości do około 5cm [P3]. Węgiel półbitumiczny i bitumiczny tworzą większe nagromadzenia (wkładki o miąższości do

30 cm) w obrębie badanych pokładów węgla humusowego jedynie w złożach Bełchatów, Szczerców, Turów i Gubin. Zestawiając wszystkie regiony występowania węgla brunatnego w Polsce, można zauważyć, że prawie wszystkie złoża w nich występujące wykazują przydatność do naziemnego zgazowania fluidalnego ze względu na ich budowę petrograficzną [P1] (Fig.2). Problematiczną przydatność wykazują partie złóż z węglem bitumicznym. W swojej pracy zwróciłam także uwagę na fakt, że w procesie przygotowania węgla do procesu zgazowania (mielenia) niekorzystne są ksylity włókniste, które w polskim miękkim węglu brunatnym występują w podrzędnych ilościach. Jedynie w regionie konińskim podwyższona ich zawartość może być problematyczna w procesie przygotowania węgla do zgazowania fluidalnego [P1, P2, P3].

Przemiany petrograficzne węgla brunatnego w trakcie zgazowania fluidalnego

Według Wall (Wall et al., 2002) i Ladner (Ladner, 1988) zgazowanie węgla zachodzi w dwóch etapach następujących po sobie, a mianowicie: (1) szybka piroliza odgazowująca węgiel i powstawanie karbonizatu (2) zgazowanie karbonizatu. Piroliza przebiega między 350°C a 800°C, a jej szybkość zależy od prędkości ogrzewania, wielkości cząstek, ciśnienia i reakcji z czynnikiem zgazowującym. Do oceny stopnia przeobrażenia węgla brunatnego w trakcie zgazowania zbadalam skład petrograficzny węgla i powstałego karbonizatu [P4]. Temperatura zgazowania w przeprowadzonym eksperymencie była w zakresie 850-950°C, czyli głównie miała miejsce tu piroliza węgla.

Klasyfikację petrograficzną karbonizatów przeprowadziłam według zaleceń ICCP (Lester et al., 2010). W badanym karbonizacie dominują cząstki o grubszych ściankach (crassinetwork) i intertoidy, które w sumie stanowią ok. 70% obj. Taki skład karbonizatu jest związany z budową chemiczną węgla poddanego zgazowaniu. W przypadku węgla o niskim stopniu uwęglenia skupienia aromatyczne są głównie agregatami jedno- i dwupierścieniowymi. Jednocześnie makrocząsteczki węgla niskouwęglonego posiadają całkowicie nieregularne kształty, co uniemożliwia jakiegokolwiek uporządkowanie struktury tych węgli (wysoka porowatość i izotropia własności, mała liczba skondensowanych pierścieni aromatycznych, dużo heteroatomów). Van Heek i Muhlen (van Heek and Mühlen, 1987) przedstawiają zachowanie się tlenowych grup funkcyjnych podczas pirolizy węgla. W temperaturze około 350°C zanikają grupy karboksylowe (COOH), do temperatury 500°C zanikają grupy karbonylowe (CO), a w zakresie temperatur 350 - 500 °C wskutek kondensacji grup

hydroksylowych wzrasta udział grup eterowych (C-OH). Te ostatnie są stabilne i jako jedyne pozostają w węglu powyżej 500°C. Dlatego też przypuszcza się, że właśnie grupy eterowe są głównym budulcem powstałego karbonizatu. W badanym materiale mało jest cząstek węglowych charakterystycznych dla zgazowania w wysokich temperaturach - o ściankach cienkich i bardzo dużej porowatości. Reakcje zachodzą tylko na reaktywnej powierzchni karbonizatu. Stopień porowatości (mezopory, mikropory) jest ważnym czynnikiem w przypadku karbonizatu. Różne rodzaje macerałów powodują powstawanie różnych cząstek węglowych w karbonizacie. Fuzynit, ze względu na swoją niereaktywną naturę w procesie zgazowania, nie wykazuje znacznych zmian w strukturze podczas pirolizy, co jest zbieżne z badaniami van Heek i Muhlen (van Heek and Mühlen, 1987, 1985) oraz Zhuo i in. (Zhuo et al., 2000). Także inne macerały grupy inertynitu nie zmieniają swojego pierwotnego charakteru w procesie zgazowania. Wynika to z budowy tych macerałów, które w składzie mają małą ilość grup karboksylowych i karbonylowych [P4]. W innych procesach chemicznej przeróbki węgla, jak na przykład koksowanie wykazano, że częściowo macerały grupy inertynitu, głównie semifuzynitu mogą być reaktywne (Kruszewska and Misz, 1999; Kruszewska, 1998). Jednakże należy tutaj zaznaczyć, że reaktywność węgla w procesie zgazowania jest głównie związana z procesami zachodzącymi na powierzchni cząstek.

Teorię o niereaktywności inertynitu w procesie zgazowania potwierdza przeprowadzona analiza własności spektralnych Ramana czterech macerałów węgla brunatnego i odpowiadającym im cząstek węglowych w karbonizacie powstałym w procesie zgazowania [P13]. Podstawowym w strukturze materiału węglowego jest pasmo G grafitowe ($\sim 1580 \text{ cm}^{-1}$) w krystalicznym graficie (Tuinstra and Koenig, 1970). W zaburzonej strukturze grafitu, czyli na przykład w węglu i karbonizatach obserwuje się także inne pasma zwane pasmami D (od 1100 do 1500 cm^{-1}) (Tuinstra and Koenig, 1970). W węglu na ogół obserwuje się dwa podstawowe pasma G i D₁ (1350-1380 cm^{-1}) (Schwan et al., 1996; Tuinstra and Koenig, 1970). W trakcie pomiarów parametrów ramanowskich stwierdzono obecność dwóch głównych pasm G i D₁. Ich położenie było różne dla różnych macerałów węgla brunatnego i cząstek węglowych (Figura 1-4). Dla grafitu pik G o liczbie falowej 1580 cm^{-1} odpowiada drganiom rozciągającym E_{2g} heksagonalnego pierścienia grafitu i wiązaniom alkenu C=C (Li et al., 2006). Obecność pasma D₁ wskazuje na defekty w sieci krystalicznej grafitu oraz jest związane z obecnością skondensowanych pierścieni benzenowych (Li et al., 2006; Schwan et al., 1996).

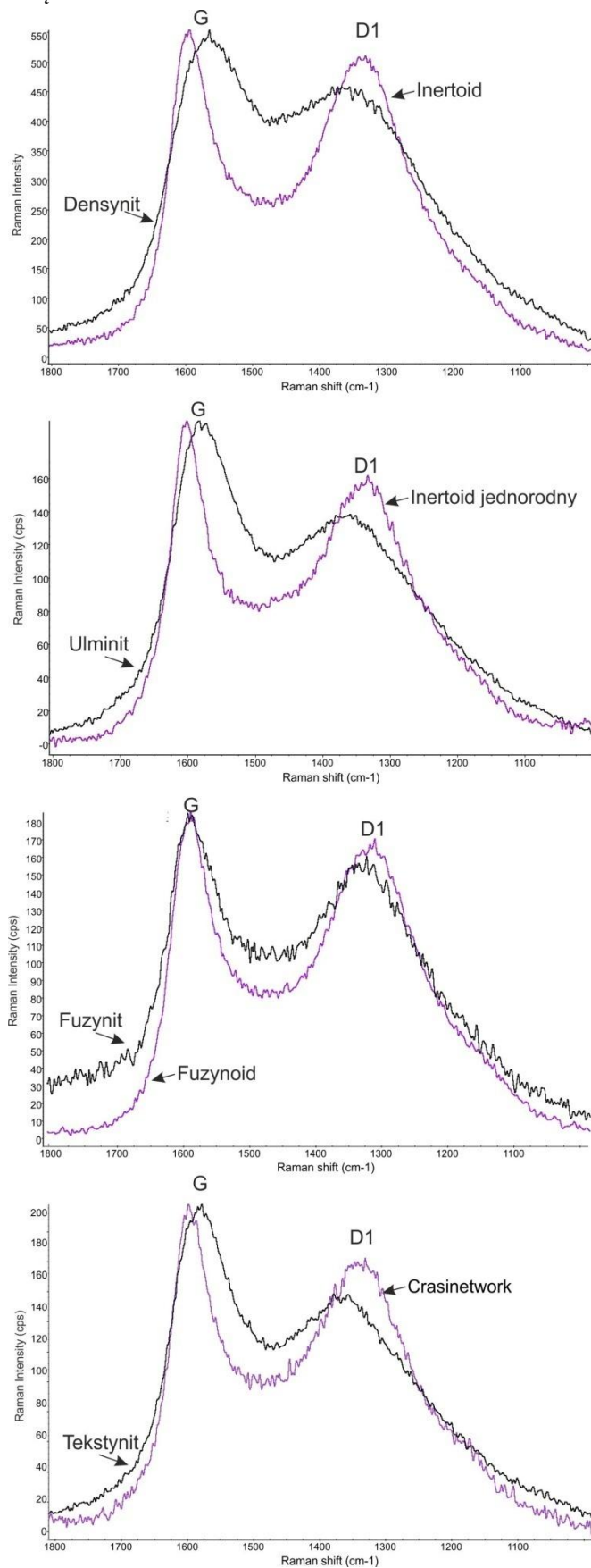


Fig. 3 Widma ramanowskie i ich dekonwolucja dla wybranych macerałów węgla brunatnego i ich odpowiedników w karbonizacie.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że widma dla pasm G i D₁ w macerałach węgla brunatnego i odpowiadającym im cząstkach karbonizatu znacznie się

różnią (Fig. 3). W karbonizacji pasmo G przesunięte jest w stronę wyższej liczby falowej, a pasmo D_1 w stronę niższej liczby falowej, przy czym przesunięcia te są większe dla macerałów o mniej uporządkowanej strukturze. Najmniejsze przesunięcia w pikach widm G i D_1 są obserwowane dla pary fuzynit-fuzynoid. Różnice w zachowaniu poszczególnych macerałów podczas zgazowania są pochodną ich budowy chemicznej. Fuzynit, który występuje w węglu brunatnym, jest macerałem powstałym przez zwęglenie tkanki ligninocelulozowej, dlatego też jego własności spektralne są podobne do fuzynoidu, który występuje w karbonizacji. W trakcie zgazowania wyraźnie maleje szerokość połówkowa pasm G i D_1 we wszystkich obserwowanych cząstkach węglowych. Jednocześnie zwiększa się stosunek intensywności pasm D_1/G , przy czym zmiany te są najslabsze dla fuzynitu i fuzynoidu. Analiza wykazała, że w trakcie zgazowania znacząco maleje stopień zaburzeń w strukturze węgla. Jednocześnie wielkość kryształitów w sposób ciągły wzrasta, a struktura mikrokrystaliczna w węglu jest coraz bardziej doskonała. W oparciu o prezentowane parametry spektralne, w szczególności iloraz I_{D_1}/I_G oraz położenie pasm D_1 i G, można śledzić przeobrażenia strukturalne węgla, które mają miejsce w trakcie zgazowania. Możliwe jest także wstępne prognozowanie zachowania się poszczególnych macerałów w trakcie tego procesu.

Podsumowując, w procesie zgazowania biorą udział głównie macerały grupy huminitu i liptynitu, które w budowie chemicznej wykazują większy udział węglowodorów alifatycznych. Macerały grupy liptynitu, takie jak rezynit, w trakcie zgazowania uwalniają grupy karboksylowe, co objawia się silną porowatością i pęcznieniem. Podobne zjawisko obserwuje się w przypadku tekstynitu. Macerały o małej porowatości, głównie ulminit, nie zwiększa znacząco swojej porowatości i w karbonizacji mają postać inertoidu. Biorąc pod uwagę efektywność procesu zgazowania należy zwrócić uwagę, że tylko niewielki procent (niecałe 2%) węgla pozostał w formie niezmięnionej po zgazowaniu fluidalnym w gazogeneratorze.

Przemiany petrograficzne w trakcie zgazowania podziemnego

Na podstawie znajomości budowy geologicznej formacji węglonośnej paleogenu i neogenu na Niżu Polskim opracowałam założenia i parametry do kryterialnej weryfikacji bazy surowcowej miękkiego węgla brunatnego dla potrzeb podziemnego zgazowania (UCG) węgla w Polsce [P5]. Różnice w stosunku do doświadczeń światowych w tym zakresie wynikają z faktu, że w Polsce dysponujemy wyłącznie zasobami miękkiego węgla brunatnego (ortho-

lignite), a węgiel zgazowany podziemnie na świecie to prawie wyłącznie odmiana węgla brunatnego twardego (meta lignite i subbituminous coal).

Kryteria technologiczno-złożowe dla określenia potencjalnej bazy złożowej polskiego miękkiego węgla brunatnego przydatnej do podziemnego zgazowania zostały opracowane w oparciu o przeprowadzone do tej pory eksperymenty światowe z uwzględnieniem warunków geologiczno-górnich panujących w Polsce. Sformułowane kryteria znalazły zastosowanie do wstępnej weryfikacji zasobów miękkiego węgla brunatnego w polskich złożach [P5, P6, P7]. Ponieważ kryteria geologiczno-złożowe są uzupełnione wymogami z zakresu ochrony środowiska (m.in. parki narodowe Natura 2000), ochrony wód podziemnych stanowiących rezerwuary wody pitnej, a także zabudowy powierzchniowej i odległości punktów zgazowania w stosunku do zabudowy, dróg transportu i linii przesyłowych, nastąpiła bardzo znaczna redukcja zasobów węgla nadających się do podziemnego zgazowania w Polsce. W pracy [P5] zamieszczono efekty tak przyjętej weryfikacji. Wytypowane złoża zostały podzielone na złoża spełniające założone kryteria i spełniające je warunkowo. Mało jest w Polsce miejsc, które spełniają ustalone kryteria bezpiecznej przydatności do zgazowania podziemnego. W oparciu o przeprowadzoną weryfikację do budowy instalacji UCG wytypowano złoża Ścinawa-Głogów, Gostyń, Krzywiń, Węglewice i Kamieńsk.

Na podstawie przeprowadzonej analizy postanowiono przeprowadzić eksperyment polegający na zgazowaniu węgla brunatnego w instalacji ex-situ, która naśladowałaby warunki panujące w złożu (Kapusta et al., 2016). Zgazowany w reaktorze węgiel brunatny reprezentowany był przez węgiel ksylo-detrytowy, a także węgiel bitumiczny lub półbitumiczny [P8, P9]. Duża zawartość węgla bitumicznego podwyższa zawartość wodoru w węglu. Także ciepło spalania węgla bitumicznego jest wyższe. Taki skład pozytywnie wpływa na proces zgazowania. W badanej próbie mało jest węgla fuzynowego, który niekorzystnie wpływa na proces zgazowania. Węgiel fuzynowy uznawany jest za składnik niereaktywny i szkodliwy w procesie zgazowania. Ponadto analiza chemiczno-technologiczna wykazała, że pokład ma dobre własności technologiczne - na uwagę zasługuje niska popielność i wysokie ciepło spalania. Ogólnie profilowany pokład wykazał dużą przydatność do produkcji gazu syntezowego, co potwierdziły wyniki uzyskane w trakcie próby zgazowania w reaktorze ex-situ.

Na podstawie badań petrograficznych można stwierdzić, że węgiel brunatny ulega przemianom termicznym w wyniku procesu zgazowania. Wyraźne są strefy tych przemian, które są ściśle związane z temperaturą panującą w reaktorze. Wyróżniłam strefę węgla wysuszonego, strefę węgla odgazowanego i strefę z koksem. W wyniku badań

mikroskopowych prób stwierdzono w nich występowanie zarówno składników nieprzereagowanych, zaliczanych do typów solid i mineroid, oraz składników zgazowanych, zaliczanych do typów inertoid, mixed dense i mixed porous. W żadnej z badanych próbek nie odnotowano najsilniej przereagowanych składników, zaliczanych do typów crassinetwork, tenuinetwork, crassisphere i tenuisphere [P8, P15]. Badania wykazały, że najbardziej zasobne w składniki zgazowane są próby pobrane w sąsiedztwie kanału ogniowego i u stropu powstałej w trakcie zgazowania kawerny – w próbach tych udział składników zgazowanych zawiera się w przedziale od 72,6 do 83,2%. W obrębie całości pozostałości po zgazowaniu przeważały składniki niezgazowane, stanowiące średnio 60,7% jej składu. W strefie węgla wysuszonego składniki nieprzereagowane stanowiły 100% składu badanej próby.

W trakcie obserwacji zwróciłam uwagę, że węgiel w dużej części pokładu został tylko wysuszony i częściowo odgazowany. W strefie odgazowania zachodził głównie proces pirolizy. W eksperymencie piroliza jest rozumiana jako termiczny rozkład składników substancji organicznej w zakresie temperatur 200-600°C przy braku powietrza lub tlenu; jej rezultatem jest tworzący się gaz syntezowy oraz mieszanina nieprzereagowanego karbonizatu (składniki nielotne) i popiołu. Co ciekawe, węgiel bitumiczny uległ przeobrażeniom w mniejszym stopniu. Obserwuje się jego wysuszenie i częściowe odgazowanie. Miejscami występuje na nim cienka warstwa koksiku. Wśród przeobrażeń węgla najczęściej obserwowałam powstanie fuzynu i koksiku. Największe zmiany zaobserwowano bezpośrednio przy kawernie i w kanale ogniowym. Tutaj obserwowane jest typowe zgazowanie, gdzie temperatura dochodzi do 1000°C, a pozostałością jest popiół.

Porównanie uśrednionego składu macerałowego poddanego zgazowaniu węgla i uśrednionego udziału niezmiennych macerałów w obrębie karbonizatu typu solid umożliwiło określenie macerałów, które najczęściej ulegały przereagowaniu w trakcie eksperymentu. Były to kolejno: korpohuminit, macerały grupy liptynit, tekstynit i żelinit.

Na podstawie wyników badań SEM i XRD stwierdzono, że substancja mineralna uległa przeobrażeniom jedynie w obrębie kanału ogniowego – w próbce pobranej z tego obszaru stwierdzono obecność nowych faz mineralnych: mullitu, trydymitu i hercynitu. W pozostałych próbach stwierdzono obecność typowych minerałów współwystępujących z węglem brunatnym: minerałów ilastych, siarczków Fe, kwarcu, kalcytu, syderytu.

Wpływ substancji mineralnej w węglu brunatnym na proces zgazowania

Węgiel składa się z materii organicznej, nieorganicznej i wody (Taylor and Glick, 1998). Materia organiczna określana jest jako macerały, a materia nieorganiczna to najczęściej minerały. W węglu substancja mineralna występuje osobno lub jest związana z macerałami (Ward, 2002). Substancja mineralna może stanowić 50% wag. węgla i może występować w różnych formach. Zawartość i skład substancji mineralnej mają znaczący wpływ na przebieg zgazowania, ponieważ niektóre minerały mogą działać jako katalizatory, a inne jako inhibitory, podczas gdy duża zawartość substancji mineralnej powoduje spadek sprawności instalacji (Van Dyk et al., 2009; Wall et al., 2002). Dopuszczalna zawartość substancji mineralnej w węglu uzależniona jest więc od technologii zgazowania. W tym kontekście szczególnie ważnymi parametrami dla określenia przydatności kopaliny do zgazowania są: popielność, skład tlenkowy i temperatura topnienia popiołu (Higman et al., 2008). Według badań Czechowskiego i Kidawy (Czechowski and Kidawa, 1991) oraz Sekine i in. (Sekine et al., 2006) zawartość Ca, K i Na wzmacnia szybkość reakcji. Uważa się, że substancja alkaliczna rozproszona w macerałach działa jako katalizator, a reaktywność jest niezależna od stopnia uwęglenia zgazowanego węgla i zależy jedynie od rodzaju materii mineralnej. Z drugiej strony krzem (Si) i glin (Al) powodują zwolnienie, a czasem wręcz stłumienie procesu zgazowania (Sekine et al., 2006). Jak wykazały badania, istnieje wyraźny związek między wskaźnikiem alkaliczności (Sakawa et al., 1982) a reaktywnością węgla w procesie zgazowania (Skodras and Sakellaropoulos, 2002). Dodatkowo stwierdzono, że tlenki, głównie: SiO_2 , CaO oraz tlenki żelaza mogą niekorzystnie wpływać na materiały ogniotrwałe reaktora, powodując jego korozję (Collot, 2006). Istotnym parametrem jest temperatura topnienia popiołu, która określa zastosowaną technologię oraz wpływa na przebieg procesu zgazowania (Higman et al., 2008; van Dyk et al., 2006). Parametr ten może być skorelowany w funkcji zawartości SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O i K_2O w popiele (Van Dyk, 2006). Zasadowość lub kwasowość popiołu może służyć do korelowania temperatury topnienia ze składem chemicznym. Dlatego też analiza zmienności składu chemicznego popiołu z węgla jest jednym z kluczowych oznaczeń, jakie należy wykonać przy określeniu możliwości użytkowania surowca w określonej technologii zgazowania [P2, P6, P10]. Analiza taka ma także wpływ na wykorzystanie pozostałości po zgazowaniu węgla. Na tej podstawie przeprowadziłam szczegółową analizę składu chemicznego substancji mineralnej w węglu brunatnym oraz popiele [P2, P10, P11]. Na podstawie wymagań dotyczących maksymalnej zawartości popiołu w węglu do zgazowania stwierdziłam, że większość złóż

węgla ma zawartość popiołu w stanie suchym poniżej 25%. Węgiel do procesu zgazowania powinien mieć poniżej 25% popiołu w stanie suchym. Na tej podstawie zasadne są dalsze badania nad przydatnością węgla w poszczególnych technologiach zgazowania. W pierwszej kolejności zbadalam możliwość zastosowania wskaźnika zasadowości-kwasowości R (base-acid ratio R) wyznaczonego na podstawie wzoru (Su et al., 2003):

$$R = (CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2)$$

jako parametru klasyfikującego przydatność węgla do zgazowania. Założyłam, że węgiel który ma popiół z R w przedziale 0,4-1,6 może być wykorzystany w reaktorach dyspersyjnych z płynnym odbiorem popiołu. Taka wartość R gwarantuje temperaturę topnienia popiołu poniżej 1300°C. Charakter popiołu w zależności dla wskaźnika R większego niż 1 uznałam za alkaliczny. Stwierdziłam, że alkaliczny charakter popiołu jest bardziej typowy dla tych pokładów węgla, gdzie występują węglany, siarczki, siarczany i fosforany. Zauważyłam, że popiół alkaliczny jest związany głównie z węglem ksyliowym, co może mieć związek z środowiskiem tworzenia się torfu drzewnego i rodzajem substancji mineralnej w tym środowisku. W głównej mierze są to takie minerały jak piryt, markasyt, kalcyt i aragonit. Alkaliczny popiół jest głównie obserwowany w złożach Sieniawa oraz Bełchatów i Szczerców. Złoża Bełchatów i Szczerców charakteryzują się podwyższonymi zawartościami CaO, co jest związane z występującą w ich obrębie kredą jeziorną. Jednocześnie na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziłam, że węgiel z wszystkich badanych złóż może być użyty w procesie zgazowania ze złożem fluidalnym.

W celu oszacowania wpływu, dystrybucji oraz ewentualnego zmniejszenia emisji substancji szkodliwych dla środowiska w ocenie potencjalnego paliwa do zgazowania należy uwzględnić również zawartość pierwiastków śladowych w węglu oraz pozostałościach po tym procesie (karbonizacie, popiele) (Bielowicz, 2012). Pierwiastki śladowe w węglu związane są z substancją mineralną jak i organiczną (Dai et al., 2014). Dlatego też wykonałam szczegółowe badania chemiczne zgazowanego węgla brunatnego i powstałego w trakcie zgazowania fluidalnego karbonizatu [P12]. W trakcie przeprowadzonych testów zgazowania fluidalnego węgla brunatnego ze złoża Szczerców w instalacji doświadczalnej w IChPW w Zabrze stwierdzono, że proces ten nie wpłynie negatywnie na środowisko. Zawartość pierwiastków toksycznych takich jak As, Hg, Cd, Th i U była niższa niż klark oznaczony przez Ketris i Yudovich (Ketris and Yudovich, 2009). Także w powstałym karbonizacie zawartość wymienionych pierwiastków jest niższa niż klark dla węgla brunatnego i jego

popiołu ((Ketriss and Yudovich, 2009). Zauważyłam, że zawartości arsenu, toru i uranu są wyższe w karbonizacie. Większa koncentracja tych składników wiąże się z ich kumulacją w pozostałościach po procesach termicznego przekształcenia węgla w procesie zgazowania. Z drugiej strony zaobserwowano niższe zawartości w rtęci i kadmu w karbonizacie w porównaniu z ilością tych pierwiastku w węglu. Zarówno rtęć jak i kadm charakteryzują się dużą lotnością (Matl and Wagner, 1995). W przypadku usuwania rtęci z gazu procesowego stosowane są reaktory ze stałym złożem sorbentu, którym najczęściej jest węgiel aktywny impregnowany siarką (Chmielniak et al., 2015). Dlatego też należy uznać, że pierwiastki śladowe nie stanowią zagrożenia dla środowiska w procesie zgazowania naziemnego.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę wszystkie otrzymane wyniki należy potwierdzić postawioną tezę, iż metody petrograficzne umożliwiają wstępne określenie przydatności węgla do zgazowania, a analiza petrograficzna pozostałości po zgazowaniu dodatkowo pozwala na określenie efektywności samego procesu. Skład petrograficzny w zakresie poszczególnych macerałów, grup macerałów, rodzaju substancji mineralnej oraz charakter litologiczny określany makroskopowo mają decydujący wpływ na przebieg procesu zgazowania. Właściwości węgla wyjściowego decydują o stopniu tworzenia się zwęglonych cząstek, których morfologię można prognozować, podobnie jak w przypadku spalania, na podstawie litotypów węgla surowego. Cząstki zwęglone są formą pośrednią pomiędzy węglem surowym a koksikiem i powstają w trakcie szybkiego odgazowania w wysokiej temperaturze. Własności tych zwęglonych cząstek mają znaczący wpływ na przebieg procesów pirolizy i zgazowania. Schemat petrograficznej oceny przydatności do zgazowania może służyć jako wstępne kryterium kwalifikujące badany węgiel zarówno do procesu naziemnego, jak i podziemnego zgazowania. Należy zaznaczyć, że proponowana przeze mnie klasyfikacja jest oparta na grupach macerałów, przez co nie wymaga dogłębnych i kosztownych analiz petrograficznych. Takie rozwiązania mogą być pomocne przy planowaniu instalacji pilotowej i typowaniu złóż do zgazowania węgla brunatnego. Uzyskane wyniki są unikalne w skali kraju, a także na arenie międzynarodowej.

Literatura

- Bielowicz, B., 2012. A new technological classification of low-rank coal on the basis of Polish deposits. *Fuel* 96, 497–510. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.066>
- Chmielniak, T., Sobolewski, A., Tomaszewicz, G., 2015. CO₂-Enhanced coal gasification. Experience of the Institute for Chemical Processing of Coal Zgazowanie węgla przy wykorzystaniu CO₂ jako czynnika zgazowującego. Doświadczenia IChPW. *PRZEMYSŁ CHEMICZNY* 1, 16–22. <https://doi.org/10.15199/62.2015.4.1>
- Collot, A.-G., 2006. Matching gasification technologies to coal properties. *International Journal of Coal Geology* 65, 191–212. <https://doi.org/10.1016/J.COAL.2005.05.003>
- Cronauer, D.C., Joseph, J.T., Davis, A., Quick, J.C., Luckie, P.T., 1992. The beneficiation of Martin Lake Texas lignite. *Fuel* 71, 65–73. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(92\)90194-S](https://doi.org/10.1016/0016-2361(92)90194-S)
- Czechowski, F., Kidawa, H., 1991. Reactivity and susceptibility to porosity development of coal maceral chars on steam and carbon dioxide gasification. *Fuel Processing Technology* 29, 57–73. [https://doi.org/10.1016/0378-3820\(91\)90017-7](https://doi.org/10.1016/0378-3820(91)90017-7)
- Dai, S., Seregin, V. V., Ward, C.R., Jiang, J., Hower, J.C., Song, X., Jiang, Y., Wang, X., Gornostaeva, T., Li, X., Liu, H., Zhao, L., Zhao, C., 2014. Composition and modes of occurrence of minerals and elements in coal combustion products derived from high-Ge coals. *International Journal of Coal Geology* 121, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.11.004>
- GW-KB 94/82, 1982. 10. Instrukcja Nr 3 Ministerstwa Gospodarki i Energetyki z dnia 10 listopada 1982 w sprawie zakresu i metodyki badań węgla brunatnego.
- Higman, C., van der Burgt, M., 2008. *Gasification*, Gulf Professional Pub./Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8528-3.X0001-6>
- Kapusta, K., Wiatowski, M., Stańczyk, K., 2016. An experimental ex-situ study of the suitability of a high moisture ortho-lignite for underground coal gasification (UCG) process. *Fuel* 179, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.093>
- Ketris, M.P., Yudovich, Y.E., 2009. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology* 78, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.01.002>
- Kruszewska, K., Misz, M., 1999. Inertynit w procesach koksowania i spalania w świetle badań mikroskopowych. *Zeszyty Naukowe. Górnictwo / Politechnika Śląska* z. 243, 81–89.
- Kruszewska, K.J., 1998. The reactivity of pseudovitrinite in some coals. *Fuel* 77, 1655–1661. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)00088-X](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)00088-X)
- Kurtz, R., 1981. Eigenschaften der rheinischen Braunkohle und ihre Beurteilung als Roh-und Brennstoff. *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal.* 29, 381–426.
- Ladner, W.R., 1988. The products of coal pyrolysis: properties, conversion and reactivity. *Fuel Processing Technology* 20, 207–222. [https://doi.org/10.1016/0378-3820\(88\)90021-5](https://doi.org/10.1016/0378-3820(88)90021-5)
- Lester, E., Alvarez, D., Borrego, A.G., Valentim, B., Flores, D., Clift, D.A., Rosenberg, P., Kwiecinska, B., Barranco, R., Petersen, H.I., Mastalerz, M., Milenkova, K.S., Panaitescu, C.,

- Marques, M.M., Thompson, A., Watts, D., Hanson, S., Predeanu, G., Misz, M., Wu, T., 2010. The procedure used to develop a coal char classification—Commission III Combustion Working Group of the International Committee for Coal and Organic Petrology. *International Journal of Coal Geology* 81, 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.10.015>
- Li, X., Hayashi, J. Li, C.Z., 2006. FT-Raman spectroscopic study of the evolution of char structure during the pyrolysis of a Victorian brown coal. *Fuel* 85, 1700–1707. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.03.008>
- Matl, K., Wagner, M., 1995. Analiza występowania pierwiastków rzadkich, rozproszonych i śladowych w ważniejszych krajowych złożach węgla brunatnego, in: Stryszewski, M. (Ed.), *Eksploatacja Selektywna Węgla Brunatnego i Kopalini Towarzyszących Wraz z Uwarunkowaniami Techniczno-Ekonomicznymi i Korzyściami Ekologicznymi*. Centrum CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Russell, N.J., Barron, P.F., 1984. Gelification of victorian tertiary soft brown coal wood. II. Changes in chemical structure associated with variation in the degree of gelification. *International Journal of Coal Geology* 4, 119–142. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(84\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0166-5162(84)90011-9)
- Sakawa, M., Sakurai, Y., Hara, Y., 1982. Influence of coal characteristics on CO₂ gasification. *Fuel* 61, 717–720. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(82\)90245-9](https://doi.org/10.1016/0016-2361(82)90245-9)
- Schwan, J., Ulrich, S., Batori, V., Ehrhardt, H., Silva, S.R.P., 1996. Raman spectroscopy on amorphous carbon films. *Journal of Applied Physics*. <https://doi.org/10.1063/1.362745>
- Sekine, Y., Ishikawa, A., Kikuchi, E., Matsukata, M., Akimoto, A., 2006. Reactivity and structural change of coal char during steam gasification, in: *Fuel*. pp. 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.05.025>
- Shibaoka, M., 1982. Behaviour of huminite macerals from Victorian brown coal in tetralin in autoclaves at temperatures of 300–380 °C. *Fuel* 61, 265–270. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(82\)90123-5](https://doi.org/10.1016/0016-2361(82)90123-5)
- Skodras, G., Sakellaropoulos, G. P., 2002. Mineral matter effects in lignite gasification. *Fuel Processing Technology* 77–78, 151–158. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(02\)00063-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(02)00063-2)
- Stankiewicz, B.A., Krüge, M.A., Mastalerz, M., 1996. A geochemical study of macerals from a Miocene lignite and an Eocene bituminous coal, Indonesia. *Organic Geochemistry* 24, 531–545. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(96\)00038-1](https://doi.org/10.1016/0146-6380(96)00038-1)
- Su, S., Pohl, J.H., Holcombe, D., 2003. Fouling propensities of blended coals in pulverized coal-fired power station boilers. *Fuel* 82, 1653–1667. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00071-1](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00071-1)
- Süss, M., Budde, K., Müller, W.D., 1968. Rohstoffliche Einflussfaktoren auf die Güte des BHT-Kokes aus Niederlausitzer Braunkohlen. *Freiberger Forschungsh. A* 423, 59–70.
- Szwed-Lorenz, J., 2001. Studium zmienności petrologicznej II dolnomiocenkiego pokładu węglowego w Polsce, *Prace naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*. Oficyna Wydawn. Politechn., Wrocław.

- Szwed-Lorenz, J., 1991. Petrologiczna ocena polskich miękkich węgli brunatnych jako surowca do wielokierunkowego użytkowania. Wydawn. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Taylor, G.H., Glick, D.C., 1998. Organic petrology: a new handbook incorporating some revised parts of Stach's Textbook of coal petrology. Gebrüder Borntraeger.
- Tuinstra, F., Koenig, J.L., 1970. Raman Spectrum of Graphite. *The Journal of Chemical Physics* 53, 1126–1130. <https://doi.org/10.1063/1.1674108>
- van Dyk, J.C., 2006. Understanding the influence of acidic components (Si, Al, and Ti) on ash flow temperature of South African coal sources, in: *Minerals Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.06.018>
- van Dyk, J.C., Benson, S.A., Laumb, M.L., Waanders, B., 2009. Coal and coal ash characteristics to understand mineral transformations and slag formation. *Fuel* 88, 1057–1063. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.034>
- van Dyk, J.C., Melzer, S., Sobiecki, A., 2006. Mineral matter transformation during Sasol-Lurgi fixed bed dry bottom gasification - utilization of HT-XRD and FactSage modelling. *Minerals Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.03.008>
- van Heek, K.H., Mühlen, H.-J., 1987. Effect of coal and char properties on gasification. *Fuel Processing Technology* 15, 113–133. [https://doi.org/10.1016/0378-3820\(87\)90039-7](https://doi.org/10.1016/0378-3820(87)90039-7)
- van Heek, K.H., Mühlen, H.-J., 1985. Aspects of coal properties and constitution important for gasification. *Fuel* 64, 1405–1414. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(85\)90343-6](https://doi.org/10.1016/0016-2361(85)90343-6)
- Wall, T.F., Liu, G., Wu, H., Roberts, D.G., Benfell, K.E., Gupta, S., Lucas, J.A., Harris, D.J., 2002. The effects of pressure on coal reactions during pulverised coal combustion and gasification. *Progress in Energy and Combustion Science* 28, 405–433. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(02\)00007-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(02)00007-2)
- Ward, C.R., 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams. *International Journal of Coal Geology* 50, 135–168. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00117-9)
- Zhuo, Y., Messenböck, R., Collot, A.-G., Megaritis, A., Paterson, N., Dugwell, D.R., Kandiyoti, R., 2000. Conversion of coal particles in pyrolysis and gasification: comparison of conversions in a pilot-scale gasifier and bench-scale test equipment. *Fuel* 79, 793–802. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00194-5](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00194-5)

3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Przed doktoratem

Po ukończeniu w roku 2006 jednolitych studiów magisterskich podjęłam naukę na studiach doktoranckich na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH. Moim opiekunem był prof. dr hab. inż. Marian Wagner.

Wybrałam temat dotyczący zagadnień technologii i przetwórstwa kopalin, ze szczególnym uwzględnieniem użytkowania węgla, głównie w zakresie hydrogenacji i zgazowania – zagadnienie aktualne w krajach węglowych, a więc i w Polsce. Pracę doktorską obroniłam z wyróżnieniem w styczniu 2012 roku. W swojej rozprawie doktorskiej pod tytułem *Schemat nowej klasyfikacji technologicznej krajowego węgla brunatnego w myśl zasad międzynarodowych* zajęłam się głównie oceną jakości krajowego węgla brunatnego dla zaawansowanych technologii nowoczesnego przetwórstwa technologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów ochrony środowiska. Jest to temat rozwijany obecnie przez największe w świecie instytuty badawcze zajmujące się produkcją paliw - prace nad uniwersalną klasyfikacją tego surowca trwają w wielu krajach, między innymi w ramach ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology) i Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. W pracy szczególną uwagę zwróciłam na włączenie metod petrografii stosowanej, geochemii pierwiastków toksycznych oraz sorpcji gazów do oceny technologicznej węgla, także pod kątem jego wykorzystania w geologicznej sekwestracji CO₂. Efektem końcowym pracy jest utworzenie schematu klasyfikacji krajowego węgla w oparciu o zasady jego bezpiecznego użytkowania, co ma znaczenie dla środowiska przyrodniczego i racjonalnego wykorzystania tego surowca w przemyśle. Na badania prowadzone w ramach rozprawy doktorskiej został mi udzielony grant badawczy promotorski z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N525 462236 na lata 2009-2011, grant dziekański nr 15.11.140.037 oraz stypendium „InnoGrant – Program wspierania innowacyjnej działalności doktorantów” w ramach działania ZPORR. **Projekt badawczy promotorski:** *Schemat nowej technologicznej klasyfikacji krajowego węgla brunatnego w myśl zasad międzynarodowych*. Numer N N525 462236, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego realizowałam w latach 2009 - 2011 r. jako główny wykonawca. Głównym celem projektu było utworzenie ramowego schematu klasyfikacji technologicznej węgla brunatnego w pełni odpowiadającego współczesnym i przyszłym wymogom

międzynarodowym, określonym licznymi dokumentami obrazującymi obecny stan energetyki węglowej i jej przyszłość. Podjęta praca opierała się na szczegółowej analizie jakości technologicznej polskich zasobów węgla brunatnego, zawartych w aktualnym bilansie zasobów w odniesieniu do Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku (2009) i Europy oraz tzw. Zielonej Księgi: Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii (2006). Ramy proponowanej klasyfikacji obejmują zakres zmian jakości węgla brunatnego dla zaawansowanych technologii nowoczesnego przetwórstwa technologicznego (spalania, upłynniania i zgazowania) z uwzględnieniem aspektów ochrony środowiska. Ocena jakości tego surowca w ramach określonego kierunku jego użytkowania została scharakteryzowana poprzez wyróżnienie typów i klas. Wyniki projektu są zamieszczone w kilku artykułach z bazy Web of Science oraz były prezentowane na kilku konferencjach zagranicznych.

Zaproponowałam wprowadzenie nowych oraz poprawę obowiązujących parametrów podstawowej międzynarodowej klasyfikacji dotyczącej kopalnego węgla, a także projekt nowej normy klasyfikacyjnej węgla brunatnego, który przedstawiłam na 63rd Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) w Porto.

Nawiązałam także współpracę naukową z Głównym Instytutem Górnictwa oraz Ústav Geoniky AV ČR w Ostrawie (Republika Czeska).

Przed obroną doktoratu opublikowałam 17 publikacji w czasopismach krajowych i zagranicznych, a swoje badania prezentowałam na 14 konferencjach naukowych. Uczestniczyłam także w Szkoleniu „Geoscience Mathematics and Informatics” na Uniwersytecie Technicznym we Freibergu (Niemcy) oraz warsztatach w ramach 63rd Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) w Porto (Portugalia).

W 2011 roku ukończyłam także studia podyplomowe w zakresie Bezpieczeństwa i Higieny Pracy na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH w specjalności BHP w górnictwie. Posiadam certyfikat ISA -Audytor wewnętrzny systemu zarządzania BHP.

Uczestniczyłam także w projekcie badawczym kierowanym przez Prof. Dr hab. Inż. Mariana Wagnera pt. *Zmienność petrologiczno-sedymentologiczna i własności technologiczne kredy jeziornej w trzeciorzędowym złożu węgla brunatnego typu wapiennego zapadliska tektonicznego (na przykładzie złoża Szczerców)* nr 2 PO4D 058 28, finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, jako wykonawca, a także w pracach dla przemysłu, głównie PGE.

Po doktoracie

Po uzyskaniu stopnia doktora rozwijałam swoje zainteresowania naukowe, kontynuując jednocześnie prace rozpoczęte wcześniej. Swoją działalność naukową po uzyskaniu stopnia doktora mogę podzielić na następujące tematy:

1. Badania petrograficzne węgla, głównie brunatnego
2. Badania jakości węgla brunatnego
3. Analiza przydatności węgla brunatnego do zgazowania
4. Badanie składu chemicznego węgla, substancji mineralnej i popiołu, pierwiastki krytyczne w węglu.

Powyższe tematy były realizowane w ramach projektów badawczych:

- 2014-2018 r. **Kierownik projektu** w ramach Narodowego Centrum Nauki SONATA *Analiza wpływu budowy petrograficznej węgla humusowego na jego własności fizykochemiczne*, Umowa: UMO-2013/09/D/ST10/04045. Wykonywany w AGH.

Projekt w głównej mierze miał na celu zbadane współzależności pomiędzy własnościami petrograficznymi a fizykochemicznymi węgla w obrębie całego humusowego szeregu węglowego. W szczególności wykonałam analizę tych współzależności w odniesieniu do poszczególnych litotypów węgla brunatnego. Podstawową hipotezą badawczą było założenie, że budowa petrograficzna, w ujęciu makroskopowym rozumiana jako litotyp ma duży wpływ na takie właściwości węgla jak: reaktywność, porowatość, zdolności sorpcyjne i samozapalność. Na podstawie przeprowadzonych badań udowodniłam, że skład macerałowy i obecność różnych faz mineralnych w węglu wpływa na wymienione parametry fizykochemiczne. Wykazałam, że na własności sorpcyjne i porowatość nie wpływa stopień uwęglenia badanego materiału a jedynie jego budowa petrograficzna. Jednym z podstawowych założeń było stwierdzenie, że geneza węgla i środowiska gromadzenia roślinności węglotwórczej, rozumiane w ujęciu facjalnym, determinują budowę wewnętrzną, a w konsekwencji także cechy fizykochemiczne powstającego węgla. Pomimo faktu, że w literaturze jest wiele prac na temat budowy petrograficznej węgla jak i jego własności fizykochemicznych, to dotychczas nikt nie próbował wykonać analizy porównawczej dla poszczególnych litotypów węgla w całym humusowym szeregu węglowym. Dotychczasowe prace nie traktowały problemu kompleksowo. Przeprowadzona analiza pozwoliła w sposób całościowy opisać wpływ warunków powstawania pokładów węgla na jego własności fizykochemiczne. W głównej mierze określiłam mechanizmy powstawania zmienności cech

fizykochemicznych w trakcie procesu uwęglenia. Został zbadany także wpływ, jaki na te cechy ma zróżnicowana budowa petrograficzna węgla. Takie podejście jest nowatorskie, a zarazem konieczne do poznania podstawowych własności węgla. Dzięki przeprowadzonym badaniom podstawowym możliwe będzie w przyszłości skorzystanie z tych doświadczeń przy badaniach stosowanych i aplikacyjnych, co wpisuje się w trend światowy, w którym coraz częściej dla zaawansowanych technologii wykorzystuje się wyniki uzyskane w badaniach podstawowych.

- 2011-2015 r. Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Zadanie Badawcze nr 3 pt.: *Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej* – Cz. T.B. 1.5.3 finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Zaawansowane *technologie pozyskiwania energii*”. Konsorcjum, AGH w Krakowie. Wykonawca projektu.

Realizowany projekt przyniósł efekt w postaci opracowania i weryfikacji w skali pilotowej procesów naziemnego i podziemnego zgazowania węgla. W ramach zadań projektu została opracowana dokumentacja procesowa układów stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych obejmujących instalacje zgazowania naziemnego i podziemnego. Jednym z kluczowych osiągnięć było także wyznaczenie strategicznych kierunków rozwoju czystych technologii węglowych wykorzystujących procesy zgazowania węgla dla zastosowań w energetyce i przemyśle chemicznym.

W ramach projektu uczestniczyłam w temacie badawczym nr 1. Do moich głównych zadań należało opracowanie szczegółowej bazy danych węgla krajowych dla procesu zgazowania, gdzie przeprowadziłam weryfikację kryterialną bazy surowcowej węgla brunatnych dla potrzeb zgazowania naziemnego i podziemnego z uwzględnieniem gospodarki złożem oraz wytypowaniem rejonu do projektu technologicznego instalacji pilotowej. Wynikiem tej pracy było opracowanie list rankingowych złóż węgla brunatnego przydatnych do zgazowania oraz kart złożowych dla wybranych złóż, a także wytypowanie rejonu do opracowania projektu technologicznego instalacji zgazowania podziemnego węgla brunatnego z wykorzystaniem techniki otworowej. W ramach pracy w projekcie zaproponowałam unikatową metodę petrograficzną oceny przydatności węgla do zgazowania już na etapie rozpoznawania złoża. Otrzymane wyniki badań były publikowane w kilku artykułach, między innymi w

International Journal of Coal Geology, oraz były prezentowane na kilku konferencjach naukowych i warsztatach w ramach 64rd Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) w Pekinie, Chiny, jednostka delegująca: AGH

- 2014 r. **Grant dziekański** *Charakterystyka petrograficzna węgla i pozostałości po jego zgazowaniu*, nr 15.11.140.493, **kierownik projektu**, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
- 2018 r. **Grant dziekański** *Badania chemiczno-petrograficzne karbonizatów*, nr 15.11.140.187, **kierownik projektu**, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Kontynuacją prac związanych z czystymi technologiami węglowymi były granty dziekańskie, które obejmowały zaawansowane badania petrograficzne pozostałości po procesie zgazowania węgla brunatnego. Pozostałości te, w postaci karbonizatu, powstały w wyniku zgazowania węgla ze złoża Szczerców w instalacji naziemnej w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. W IChPW wykonano testy zgazowania węgla brunatnego w ciśnieniowej instalacji pilotowej z wykorzystaniem CO₂ jako czynnika zgazowującego. Za pomocą mikroskopy elektronowej zbadano próbki karbonizatów, a skład macerałowy węgla ustalono na podstawie badań petrograficznych w świetle odbitym i fluorescencyjnym przy użyciu mikroskopu. Jak wynika z przeprowadzonej analizy petrograficznej, węgiel ze złoża Szczerców jest bardzo przydatny w procesie zgazowania fluidalnego. Wyniki badań zostały zamieszczone w artykule złożonym w czasopiśmie International Journal of Coal Geology.

- 2017 r. **Grant dziekański** *Klasyfikacja petrograficzna pozostałości po procesie zgazowania*. Wykonywany w AGH, **kierownik projektu** finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Z uwagi na brak klasyfikacji petrograficznej pozostałości po procesie zgazowania, podjęłam próbę dostosowania istniejącej klasyfikacji *The procedure used to develop a coal char classification* (Lester et al., 2010), która dotyczy pozostałości po spalaniu, do karbonizatów. W ramach działalności w komisji III ICCP, zaproponowałam ćwiczenie, które miało wykazać przydatność tej klasyfikacji. W ćwiczeniu wzięło udział kilkunastu naukowców z różnych krajów. Jak wykazała wstępna analiza uzyskanych wyników, istnieją duże rozbieżności w klasyfikacji poszczególnych cząstek węglowych karbonizatów.

- 2013 - 2017r. **Badania Statutowe** *Pierwiastki krytyczne w złożach węgla* nr 11.11.140.320 finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
Wykonawca.

W ramach projektu wykonałam analizę chemiczną i petrograficzną węgla i popiołów lotnych powstałych po spaleniu węgla kamiennego i brunatnego z polskich elektrowni. W głównej mierze skupiałam się na zawartości pierwiastków krytycznych w tych popiołach. Jak wykazały badania, analizowane popioły nie są wzbogacone w pierwiastki krytyczne, szkodliwe i promieniotwórcze. W ramach analizowanego zadania przeanalizowałam również skład chemiczny pozostałości po procesie zgazowania – karbonizatów, oraz udział pierwiastków promieniotwórczych w złożach węgla brunatnego.

W ramach działalności dydaktycznej prowadzonej na Wydziale Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH prowadzę zajęcia głównie z przedmiotów kierunkowych dla kierunku Górnictwo i Geologia oraz specjalności Geologia i Prospekcja Złóż. W latach 2013-2018 byłam promotorem 16 projektów inżynierskich oraz 13 prac magisterskich. Od 2017 roku jestem także promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr inż. Sandry Pawelec.

Współpraca naukowa z innymi instytucjami naukowymi i przemysłem:

- **University of the Witwatersrand Johannesburg, RPA**, współprowadzenie grupy roboczej Characterization of Gasification Products, International Committee for Coal and Organic Petrology razem z Prof. Nicolą J. Wagner
- **Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) in GEOZENTRUM Hannover, Niemcy**, współpraca w ramach grupy roboczej Identification of Dispersed Organic Matter, International Committee for Coal and Organic Petrology kierowanej przez Mrs. Jolantę Kus
- **Instituto Nacional del Carbon (INCAR-CSIC, Hiszpania)** współpraca w ramach grupy roboczej Identification and Petrographic Classification of Components in Fly Ashes, International Committee for Coal and Organic Petrology kierowanej przez Dr. Isabel Suárez Ruiz
- **TU Bergakademie Freiberg, Niemcy**, współpraca w ramach grupy roboczej Liquefaction Residues Classification Working Group, International Committee for Coal and Organic Petrology, kierowanej przez Dr Henny Gerschel
- **Ústav Geoniky AV ČR, Ostrava, Czechy**, współorganizacja Czech and Polish Conference Geology Of Coal Basins, współpraca przy badaniach jakości węgla
- **University of Belgrade, Department of Economic Geology**, współpraca z dr Draganą Životic - wspólne badania petrograficzne węgla brunatnego z Polski i Serbii

- **University of New South Wales, Sydney Australia**, współpraca w ramach grup roboczych Coal Bed Methane-CO₂ Sequestration i Shale Gas Studies, International Committee for Coal and Organic Petrology, badania substancji organicznej w mikroobszarze kierowane przez Dr. Lilę W. Gurbę
- **The National Technical University of Athens, School of Mining and Metallurgical Engineering** - ICCP Xylite Working Group, ustalenie klasyfikacji ksylitów.
- **Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze**, współpraca w projekcie „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” oraz w ramach wymiany doświadczeń. W ramach projektu wypracowano wspólne stanowisko co do jakości i składu petrograficznego węgla brunatnego przydatnego do procesu zgazowania naziemnego w instalacji ze złożem fluidalnym
- **Główny Instytut Górnictwa w Katowicach**, współpraca w projekcie „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” oraz przy określaniu parametrów jakościowych węgla. Badania jakości węgla brunatnego przed i po procesie zgazowania w reaktorze ex-situ.
- **Kopalnia Doświadczalna „Barbara”** w Mikołowie, współpraca w projekcie „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”. Wspólne badania jakości węgla i pozostałości po procesie zgazowania podziemnego.
- **PGE KWB Turów**, współpraca w projekcie „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”
- **PGE KWB Belchatów**, współpraca w ramach dokumentowania złoża węgla brunatnego „Szczerców”
- **Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA S.A.**, współpraca w ramach dokumentowania złoża węgla brunatnego „Złoczew”
- **Laboratorium Pomiarowo-Badawcze w Jastrzębiu-Zdroju**, współpraca w projekcie Sonata oraz w ramach wymiany doświadczeń
- **Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. w Krakowie** - Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego „DĘBY SZLACHECKIE” w kat. C1
- W latach 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2014, 2015 udział w projekcie badawczym „Pole Szczerców. Badanie i ocena zmienności parametrów jakościowych węgla z otworów rozpoznawczych i obserwacyjnych wg norm UE”. Towarzystwo Naukowe im. St.Staszica w Krakowie.

4. PARAMETRYCZNE PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO

Dorobek	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma
Publikacje			
Artykuły z listy JCR	1	12	13
Pozostałe artykuły	9	9	18
Monografie	0	1	1
Rozdziały w monografiach	0	1	1
Materiały konferencyjne z listy WoS	0	4 (*7)	4
Pozostałe materiały konferencyjne	11	18	29
Publikacje razem	21	45**	66**
Konferencje międzynarodowe	10	23	33
Konferencje krajowe	4	5	10
Kierownictwo projektów badawczych	0	4	4
Współdział w projektach badawczych jako wykonawca	2	2	4
Recenzje artykułów (czasopisma zagraniczne/krajowe)	0	16 (10/6)	16 (10/6)
Prace dla przemysłu i inne opracowania	5	5	10
Sumaryczny Impact Factor	0,135	27,053	27,188
Sumaryczna liczba punktów za publikacje wg MNiSW	27	500*	527
Liczba cytowań/ bez autocytowań wg bazy Web of Science (all database)	59/34		
Liczba cytowań/bez autocytowań wg bazy Scopus	76/46		
Indeks Hirscha wg bazy Web of Science	5		
Indeks Hirscha wg bazy Scopus	5		

* liczba publikacji niezaindeksowanych na WoS za rok 2017 i 2018

** bez publikacji niezaindeksowanych w WoS