

Autoreferat

Dr inż. Radosław Pomykała
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

**Wniosek o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
w dziedzinie nauk technicznych**

Spis treści:

1. Imię i Nazwisko:.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):	4
4.1. a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,	4
4.2. b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),.....	4
4.3. c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	5
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych	24
5.1. Badania sekwestracji CO ₂ w zawiesinach i mieszaninach wiążących.....	25
5.2. Badania wpływu temperatury na właściwości zawiesin i mieszanin wiążących.....	27
5.3. Badania właściwości materiałów odpadowych oraz ich mieszanin dla określenia metod ich odzysku	28
6. Osiągnięcia organizacyjne, popularyzatorskie i dydaktyczne	29
6.1. Działalność dydaktyczna	29
6.2. Osiągnięcia organizacyjne i popularyzatorskie w tematyce odpadów komunalnych oraz biogazu	31

1. Imię i Nazwisko

— Radosław Pomykała

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **Stopień naukowy doktora nauk technicznych – 2006 rok** w dyscyplinie: Górnictwo i Geologia Inżynierska. Rozprawa doktorska pt.: „Właściwości zawiesin popiołowodnych z ditlenkiem węgla stosowanych w profilaktyce pożarowej”, promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Czaja, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. Wydział Górnictwa i Geoinżynierii. Wyróżnienie pracy doktorskiej.
- **Dyplom ukończenia studiów podyplomowych 2008–2009: Zarządzanie Środowiskiem, Główny Instytut Górnictwa, Katowice.**
- **Dyplom ukończenia studiów magisterskich – 2001 rok**, kierunek Zarządzanie i Marketing, specjalność: Zarządzania i Marketing w Przemśle, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii (dawniej: Wydział Górniczy), Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- **Dyplom ukończenia studiów magisterskich (5-letnich) – 2000 rok**, kierunek: Górnictwo i Geologia, specjalność: Technika Podziemnej Eksploatacji Złóż, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii (dawniej: Wydział Górniczy), Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

- od 10.2006 adiunkt na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademia Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców,
- 2001–2006 asystent na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademia Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

4.1. a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Cykl publikacji w zakresie:

Właściwości oraz kierunki zagospodarowania odpadów / stałych ubocznych produktów zgazowania węgla

4.2. b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

A1) Mazurkiewicz M., Pomykała R., 2011, Wybrane właściwości odpadów ze zgazowania węgla. Przegląd Górniczy nr 1–2, s. 100–103. **Punktacja MNiSW: 7.**

Mój wkład (80%) polegał na przygotowaniu i częściowym przeprowadzeniu badań, analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

A2) Mazurkiewicz M., Tkaczewska E., Pomykała R., Uliasz-Bocheńczyk A., 2012, Preliminary determination of the suitability of slags resulting from coal gasification as a pozzolanic raw material. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t.28, no 4, pp. 5–14. **IF=0,342, Punktacja MNiSW: 15**

Mój wkład (30%) w powstanie tego artykułu polegał na rozpoznaniu literaturowym zagadnienia, przygotowaniu próbek do badań, przeprowadzeniu badań składu ziarnowego oraz udziale w przygotowaniu wniosków.

A3) Pomykała R., 2013, Properties of waste from coal gasification in entrained flow reactors in the aspect of their use in mining technology. Archives of Mining Sciences, vol. 58 no. 2, s. 375–393. **IF=0,608, Punktacja MNiSW: 20.**

A4) Pomykała R., 2014, The mechanical properties of coal gasification slag as a component of concrete and binding mixtures. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 23 no. 4, s. 1403–1406. **IF=0,871, Punktacja MNiSW: 15.**

A5)Pomykała R., Mazurkiewicz M., 2015, Properties of coal gasification wastes essential to determining their impact on the environment. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 24 no. 5, s. 2147–2155. **IF=0,871, Punktacja MNiSW: 15**

Mój wkład (80%) w powstanie tego artykułu polegał na zaplanowaniu badań, przygotowaniu i częściowym przeprowadzeniu badań (składu ziarnowego, straty prażenia), analizie wyników oraz udziale w przygotowaniu wniosków.

A6)Pomykała R., 2015, Właściwości ubocznych produktów zgazowania węgla wytworzonych w reaktorach fluidalnych instalacji badawczych. Wyd. AGH, seria Monografie nr 313, Kraków. **Punktacja MNiSW: 20.**

Łączny **IF** dla cyklu publikacji: **2,692**; Łączna punktacja **MNiSW: 92.**

4.3. c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wstęp

Problematyka odpadów z procesu zgazowania oraz możliwości ich zagospodarowania zainteresowała mnie z uwagi na własne wcześniejsze badania odpadów energetycznych oraz doniesienia publikacyjne o dynamicznym rozwoju tej technologii przetwarzania węgla.

Prowadzone przeze mnie studia literaturowe w zakresie problematyki zgazowania węgla starałem się kierować na obszary dotyczące powstających odpadów. Ich celem było: rozpoznanie właściwości odpadów z procesu zgazowania, porównanie ich do odpadów powstających w procesie spalania polskich węgla w krajowych instalacjach przemysłowych, wstępne rozpoznanie możliwości zagospodarowania odpadów ze zgazowania węgla w dostępnych technologiach przy spełnieniu wymagań środowiskowych.

W tym czasie zwróciłem uwagę, że pomimo bogatej literatury przedmiotu, zdecydowana większość publikacji koncentruje się wokół zagadnień dotyczących samego procesu zgazowania, jego parametrów czy efektywności, na opisie metod oraz rodzajów instalacji, czy też na rodzajach stosowanych paliw i ich właściwościach. W zakresie najbardziej mnie interesującym, a dotyczącym odpadów powstających w procesie zgazowania, najliczniej reprezentowane były publikacje dotyczące składu chemicznego substancji mineralnej zawartej w paliwie. Opisywane badania w tym zakresie miały na celu określenie wpływu składu substancji mineralnej na ich właściwości termiczne (temperatury

charakterystyczne oraz reologię stopionej substancji mineralnej) istotne dla przebiegu i parametrów procesu zgazowania. Często opisywane były również metody modyfikacji tych właściwości, a także wpływ tych wszystkich czynników na właściwości powstających odpadów. Szczególnie to ostatnie zagadnienie uznałem za interesujące dla wstępnego określenia możliwości zagospodarowania takich materiałów.

Przeprowadzone przeze mnie rozpoznanie literatury w tym zakresie pozwoliło mi sformułować tezę o możliwości efektywnego zagospodarowania odpadów z procesu zgazowania węgla w warunkach polskich tzn. z uwzględnieniem zarówno właściwości samych materiałów pochodzących z krajowych węgli, polskich wymagań środowiskowych jak i dostępnych technologii.

Tezę tę oparłem z jednej strony na doniesieniach publikacyjnych opisujących wyniki badań podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych odpadów ze zgazowania powstających w instalacjach zagranicznych, z drugiej – na porównywaniu tych danych do właściwości odpadów energetycznych ze spalania węgla kamiennego i brunatnego powstających w polskich elektrowniach zawodowych.

Weryfikacja tej tezy na podstawie samych danych literaturowych okazała się niemożliwa. Dostępne w literaturze opisy właściwości odpadów ze zgazowania węgla obejmowały, najczęściej, jedynie podstawowe właściwości chemiczne i fizyczne tych materiałów. Zdecydowanie rzadziej pojawiały się informacje na temat właściwości technologicznych samych odpadów ze zgazowania oraz metod i kierunków ich zagospodarowania. Spowodowane było to w dużej mierze dynamicznym rozwojem metod i technologii zgazowania, wymuszającym prowadzenie większości badań w instalacjach laboratoryjnych lub o skali półprzemysłowej. W takich warunkach powstające ilości jednorodnych odpadów są zwykle zbyt małe dla prowadzenia badań technologicznych.

Jednocześnie zwróciłem uwagę, że opisywane w literaturze odpady powstające w procesie zgazowania znacznie różnią się właściwościami, co wynika zarówno z różnorodności stosowanych paliw jak i rodzajów oraz parametrów stosowanych procesów i technologii zgazowania.

W takiej sytuacji rozpoczęto starania o pozyskanie próbek odpadów ze zgazowania wytworzonych w instalacjach w skali przemysłowej, dla przeprowadzenia własnych badań. Zakończyły się one sukcesem – pozyskano próbkę popiołu oraz dwie próbki żużli w ilości od 5 do 8 kg, pochodzące ze zgazowania węgla w dwóch europejskich instalacjach wykorzystujących reaktory dyspersyjne – z Puertollano IGCC Plant należącej do Elcogas S.A. w Hiszpanii oraz Buggenum IGCC Plant należącej do Nuon Power w Holandii.

W późniejszym czasie otrzymano również 30 kg żużla ze zgazowania węgla również w reaktorze dyspersyjnym z Nakoso IGCC Power Plant w Japonii.

Badania tych materiałów prowadziłem w ramach projektu pt. „Badania żużli z instalacji wysokotemperaturowego zgazowania węgla w aspekcie ich wykorzystania w technologiach górniczych” nr N N524 372934 realizowanego pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Macieja Mazurkiewicza. Wyniki tych badań opisane zostały w publikacjach A1–A4.

Kolejny, najważniejszy etap moich badań w zakresie właściwości oraz kierunków zagospodarowania odpadów / ubocznych produktów zgazowania węgla, był możliwy dzięki realizacji projektu pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”. W ramach tego projektu, będącego zadaniem badawczym nr 3 Krajowego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych NCBiR, realizowana była, po kierownictwem prof. dr hab. inż. Macieja Mazurkiewicza Część Tematu Badawczego (Cz.T.B.) nr 2.2.5: „Badania właściwości oraz sposobów zagospodarowania stałych produktów ubocznych z procesu zgazowania”, którego byłem głównym wykonawcą. W ramach tego projektu przeprowadziłem kilka serii badań materiałów – ubocznych produktów zgazowania polskich węgla w instalacjach pilotowych pracujących z wykorzystaniem złoża fluidalnego. Wyniki tych badań opisane zostały w artykułach **A4** i **A5** oraz, najszerzej – w monografii **A6**.

W omawianych publikacjach w odniesieniu do tych materiałów często używany jest termin „stałe produkty uboczne”, niekiedy wymiennie z terminem „odpady stałe”. W świetle ustawy o odpadach (Dz.U. 2013 nr 0 poz. 21) terminy te są ściśle zdefiniowane i rozdzielne, a najważniejsze różnice pomiędzy nimi, w odniesieniu do podobnych materiałów – popiołów i żużli z procesu spalania, dotyczą przede wszystkim ich gospodarczego wykorzystania. Przyjęcie konwencji używania terminu „stałe produkty uboczne” w odniesieniu do materiałów, które nie są obecnie wykorzystywane w Polsce może budzić pewne zastrzeżenia. Wynika to jednak z postawionego celu realizowanych badań zmierzających do zaproponowania realnych możliwości gospodarczego wykorzystania (odzysku) tych materiałów.

Cel naukowy

Cel naukowy cyklu publikacji dotyczył badań właściwości stałych ubocznych produktów zgazowania węgla i koncentrował się wokół takich zagadnień:

- Charakterystyka odpadów / produktów ubocznych z procesu zgazowania węgla na podstawie ich właściwości fizycznych i chemicznych, istotnych dla określenie możliwości ich odzysku
- Określenie właściwości produktów ubocznych z procesu zgazowania węgla istotnych dla określenia ich wpływu na środowisko
- Analiza oraz wskazanie kierunków zagospodarowanie odpadów / produktów ubocznych z procesu zgazowania węgla
- Rozpoznanie i analiza czynników wpływających na właściwości ubocznych produktów zgazowania węgla

Na kolejnych etapach badań porównywano poszczególne materiały pochodzące z procesów zgazowania, pomiędzy sobą, a także do odpadów energetycznych pochodzących z procesu spalania węgla w polskich elektrowniach zawodowych. Uwzględniano przy tym zarówno rodzaj samych materiałów, oraz węgla z którego zostały wytworzone, jak i procesy w których to nastąpiło.

Przedmiot badań – odpady / produkty uboczne procesu zgazowania węgla

Przedmiotem badań i analiz były dwa rodzaje odpadów / produktów ubocznych. Pierwszą grupę stanowiły żużle oraz popiół, wytworzone w zagranicznych instalacjach wyposażonych w reaktory dyspersyjne. Badania te realizowano w ramach projektu „Badania żużli z instalacji wysokotemperaturowego zgazowania węgla w aspekcie ich wykorzystania w technologiach górniczych nr N N524 361038, a ich opis zawierają publikacje **A1–A4**.

W jednej z publikacji (**A2**), w wąskim zakresie opisane zostały również wybrane właściwości żużla wytworzonego w wyniku podziemnej próby zgazowania węgla brunatnego w wyrobiskach kopalni Wieczorek w ramach projektu HUGE (Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe) realizowanego przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

Druga część cyklu – publikacje **A5** i **A6**, a w szczególności monografia (**A6**), zawiera opis badań, których przedmiotem były materiały wytworzone w krajowych instalacjach pilotowych wyposażonych w reaktory fluidalne.

Tło podejmowanych działań przedstawione zostało w części teoretycznej monografii (**A6**), w rozdziale 2. Omówiono tam rodzaje instalacji zgazowania węgla, charakteryzując przy tym trzy najbardziej popularne rodzaje reaktorów, a także schemat powstawania w nich stałych produktów ubocznych. Zwrócono szczególną uwagę na czynniki, które mogą istotnie wpływać na ich właściwości. Wśród nich, oprócz konstrukcji samych reaktorów omówiono wpływ warunków powstawania produktów ubocznych ze szczególnym uwzględnieniem temperatury procesu zgazowania oraz właściwości termicznych substancji mineralnej zawartej w paliwie.

To właśnie od temperatury, a ściślej od relacji temperatury procesu oraz właściwości termicznych (temperatur charakterystycznych) substancji mineralnej zawartej w węglu zależy stopień jej przeobrażenia, a tym samym późniejsze właściwości fizyczne i chemiczne produktów ubocznych. W tym aspekcie istotny jest skład chemiczny substancji mineralnej zawartej w węglu, a zwłaszcza udział wybranych grup składników określających „podatność” na oddziaływanie temperatury. W tym kontekście, w zależności od rodzaju procesu zgazowania (i jego temperatury), rozpatrywana jest problematyka aglomeracji popiołu, możliwości tworzenia się odkładów czy też właściwości reologicznych roztopionego żużla (w reaktorach dyspersyjnych). Nie bez znaczenia jest, w związku z tym przydatność konkretnych węgli do określonych rodzajów procesów, a jednocześnie możliwość optymalizacji i modyfikacji ich właściwości termicznych.

Cele badań obu rodzajów ubocznych produktów były do siebie zbliżone i mieszczące się w zakresie celu naukowego cyklu. Różne były jednak rodzaje i ilości produktów ubocznych, a także nieco odmienny był również zakres badań, co wynikało m.in. ze specyfiki projektów, w ramach których realizowano badania.

Popioły i żużle ze zgazowania węgla w reaktorach dyspersyjnych oraz żużel z podziemnego zgazowania węgla

Popioły i żużle wytwarzane w reaktorach dyspersyjnych stanowią obecnie na świecie największą grupę odpadów z procesu zgazowania węgla. Jest to konsekwencją bardzo dużej popularności tego typu instalacji, głównie w Stanach Zjednoczonych i Chinach. Pomimo tego, jak dotąd żaden reaktor dyspersyjny, w skali przemysłowej jeszcze w Polsce nie pracuje. Ta

sytuacja może jednak ulec zmianie w niedalekiej przyszłości. Przeprowadzone badania dotyczyły materiałów pochodzących z trzech tego typu instalacji:

- Puertollano IGCC Plant należącej do Elcogas S.A. — do badań dostarczono żużel pochodzący ze zgazowania (oznaczenie EGS),
- Buggenum IGCC Plant należącej do Nuon Power Buggenum – do badań dostarczono popiół lotny oraz żużel pochodzący ze zgazowania (oznaczenie BGS lub S2 – żużel, BGA lub A2 – popiół),
- Nakoso IGCC Power Plant, której operatorem jest Joban Joint Power Co Ltd. — do badań dostarczono żużel pochodzący ze zgazowania (oznaczenie MHI, MI lub S3).

W publikacji (A2) wraz właściwościami żużla z elektrowni Nakoso (oznaczenie tam: MI) omówione zostały wybrane właściwości jeszcze jednego materiału – żużla powstałego w wyniku podziemnej próby zgazowania węgla, przeprowadzonej w kopalni podziemnej w ramach projektu HUGE realizowanego przez Główny Instytut Górnictwa (oznaczenie BA).

Odpady ze zgazowania węgla wytworzone w instalacjach pilotowych bazujących na reaktorach fluidalnych.

W wyniku pracy instalacji pilotowych podczas trzech lat realizacji projektu **„Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”** finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: **„Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”** wytworzone zostało kilka rodzajów materiałów, pochodzących z różnych procesów oraz instalacji. Z uwagi na czas powstawania pogrupowane zostały one w trzy serie. Szczegółowy opis samych materiałów oraz prowadzonych badań zawarty został w monografii (A6).

Dwie pierwsze serie (materiały serii I oraz materiały serii II) obejmowały niewielkie ilości (od kilkudziesięciu do kilkuset gram) różnych materiałów powstałych podczas badań wstępnych – prób bezpośredniego zgazowania węgla w instalacjach pilotowych ze złożem fluidalnym. Do procesu zgazowania wykorzystano dwa węgle kamienne z kopalni Janina oraz Wieczorek, a także węgiel brunatny z kopalni Bełchatów.

W ramach serii I, w instalacji należącej do Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla (IChPW), powstały karbonizaty – półprodukty nadające się do dalszego przetwarzania na cele energetyczne. W instalacji wielkolaboratoryjnej należącej do Politechniki Częstochowskiej (PCz), w ramach serii I oraz II, wytworzonych zostało kilkadziesiąt próbek popiołów lotnych

i dennych powstałych w procesach bezpośredniego zgazowania oraz spalania węgla z kopalń Janina oraz Bełchatów.

W serii III wytworzone zostały produkty uboczne wytworzone dwuetapowo. W pierwszym etapie trzy rodzaje węgla poddano procesowi zgazowania w instalacji pilotowej należącej do IChPW. W efekcie tego wytworzone zostały karbonizaty, czyli półprodukty o znacznej zawartości węgla (powyżej 40%). W drugim etapie karbonizaty te zostały spalone w instalacji pilotowej należącej do PCz. Dodatkowo, dla celów porównawczych, w instalacji PCz wytworzone zostały popioły lotne i denne w wyniku bezpośredniego spalania węgla z tych samych serii, które wykorzystano do zgazowania. Tym samym powstało łącznie 12 różnych materiałów: 6 popiołów lotnych oraz 6 popiołów dennych, z czego połowę, czyli 3 popioły lotne i 3 denne stanowiły produkty pochodzące pośrednio z procesu zgazowania węgla (dokładnie: ze spalania karbonizatów ze zgazowania węgla). Pozostałe materiały – analogicznie również 3 popioły lotne i 3 denne – pochodziły z procesu bezpośredniego spalania węgla.

Charakterystyka odpadów / produktów ubocznych z procesu zgazowania węgla na podstawie ich właściwości fizycznych i chemicznych, istotnych dla określenia możliwości ich odzysku

Charakterystyka wytworzonych produktów ubocznych, pochodzących z różnych procesów i instalacji wymagała przeprowadzenia szeregu badań podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych. Badano m.in. gęstość, skład ziarnowy, skład chemiczny i skład fazowy, a także analizowano właściwości termiczne oraz mikrostrukturę wybranych materiałów.

Odpady ze zgazowania węgla wytworzone w instalacjach pilotowych bazujących na reaktorach fluidalnych.

Skład ziarnowy materiałów pochodzących z instalacji pilotowych okazał się zbliżony do popiołów i żużli wytworzonych w kotłach fluidalnych instalacji zawodowych, w procesach spalania węgla. Zaobserwowano bardzo duże podobieństwo pomiędzy materiałami powstałymi w tym samym procesie oraz instalacji. Widoczne jest to szczególnie wśród materiałów serii III – krzywe składu ziarnowego popiołów ze spalania węgla oraz ze spalania karbonizatów są do siebie wyraźnie podobne. Znacznie większy wpływ na uziarnienie materiałów miało miejsce ich wytworzenia (różnice pomiędzy popiołami lotnymi a dennymi), a także rodzaj użytego węgla – widoczne są różnice w uziarnieniu popiołu pochodzącego z

węgla brunatnego w porównaniu do uziarnienia popiołów wytworzonych w węgli kamiennych (A6, ss. 51–64).

Analizując mikrostrukturę produktów ubocznych procesu zgazowania pochodzących z różnych serii pomiarowych dokonać można wstępnej oceny stopnia ich przeobrażenia. Zauważalna jest nieregularna powierzchnia ziaren, często wysoka ich porowatość, a także obecność zarówno produktów przemiany materii w postaci np. cząstek glinokrzemianów, jak i niespalonego węgla. Cechy te można uznać za typowe dla popiołów wytworzonych w złożu fluidalnym, z zastrzeżeniem jednak, że obecność niespalonego węgla świadczy o niedoskonałości procesów przetwórstwa termicznego w instalacjach pilotowych (A6, ss. 64–74).

Dla wszystkich badanych materiałów bardzo istotne okazało się określenie strat prażenia, ponieważ ich wielkość jest często ważnym kryterium kwalifikującym (lub nie) do dalszego zagospodarowania. Tym bardziej, że większość analizowanych materiałów charakteryzowała się wyższą lub znacznie wyższą stratą prażenia w porównaniu do materiałów (popiołów lotnych i dennych) pochodzących z instalacji zawodowych. W przypadku materiałów serii III, wynikało to przede wszystkim z mniejszej efektywności procesu spalania fluidalnego w instalacji pilotowej, szczególnie węgla kamiennych oraz karbonizatów wytworzonych ze zgazowania tych węgla. Skutkowało to powstaniem popiołów lotnych o wysokiej stracie prażenia (od 15 do nawet 39% przy 700°C), bardzo ograniczającej możliwość ich dalszego wykorzystania (A6, ss. 76–77).

Wielkość strat prażenia w istotny sposób wpłynęła również na gęstość materiałów. Gęstość popiołów lotnych, dla których strata prażenia w temperaturze 1000°C wynosiła od 15 do 39%, kształtowała się w zakresie od 1,9 do 2,3 g/cm³. Materiały o najniższej stracie prażenia charakteryzowały się gęstością w zakresie od 2,4 do 2,7g/cm³, co można uznać za wynik typowy dla tego typu materiałów, szczególnie uwzględniając fakt, że były to głównie popioły denne, w których zanotowano większy udział SiO₂ (w porównaniu do popiołów lotnych), świadczący o obecności materiału złożowego (A6, ss. 77–85).

Porównanie wyników analizy termicznej popiołów lotnych potwierdziło wyraźnie niższe wartości strat prażenia w przypadku popiołów powstałych w wyniku bezpośredniego spalania. Zaobserwowano ponadto nieco inny przebieg krzywych termograwimetrycznych oraz kalorymetrii skaningowej. Może to być istotna wskazówka dla optymalizacji tego typu procesów termicznych w przyszłości (A6, ss. 74–77).

Ocena różnic pomiędzy popiołami pochodzącymi z różnych procesów była również istotnym elementem analizy składów fazowych badanych materiałów. Popioły lotne i denne

wytworzone w złożu fluidalnym charakteryzowały się bogatym składem fazowym, szczególnie w porównaniu do niemal wyłącznie amorficznych żużli powstających w reaktorach dyspersyjnych.

Wyraźne różnice w składzie fazowym zauważalne są przy porównaniu materiałów pochodzących z węgla brunatnych i kamiennych oraz pomiędzy popiołami lotnymi a dennymi. W popiołach dennych zaobserwowano zanieczyszczenia pochodzące ze skały płonnej – skalenie i minerały ilaste, oraz typowy dla tego typu materiałów – kwarc. W popiołach lotnych, szczególnie pochodzących z węgla kamiennego zidentyfikowano krzemionkę o charakterze, w znacznym stopniu, amorficznym, a także pył węglowy. W obu rodzajach popiołów widoczny jest anhydryt (A6, ss. 64–74).

W przypadku popiołów dennych pochodzących z węgla brunatnego kopalni Bełchatów oprócz faz krzemianowych zaobserwowano występowanie krzemianu wapnia, tlenku wapnia oraz minerałów węglanowych i siarczanowych.

Na podstawie analizy składu fazowego materiałów serii III zdecydowanie trudniej wskazać wpływ procesu przetwórstwa termicznego. Na obserwowane różnice wpływ mają inne, wymienione wcześniej czynniki (rodzaj węgla oraz rodzaj popiołu), co uniemożliwia ich uogólnienie.

Popioły i żużle ze zgazowania węgla w reaktorach dyspersyjnych oraz żużel z podziemnego zgazowania węgla

W ramach charakterystyki ubocznych produktów zgazowania pochodzących z reaktorów dyspersyjnych przeprowadzono badania właściwości podstawowych, takich jak gęstość, skład chemiczny oraz skład ziarnowy. W tym zakresie badano również skład fazowy oraz stratę prażenia.

Dwa pierwsze parametry są zbliżone do wyników uzyskiwanych dla popiołów pochodzących ze spalania polskich węgla. Wyniki badań uziarnienia, jako właściwości w największym stopniu zależnej od technologii termicznego przetwarzania oraz samej instalacji, wskazały na znacznie większą zawartość grubszych ziaren (powyżej 100µm) w popiele lotnym z instalacji Buggenum w porównaniu do krajowych popiołów lotnych (pochodzących z procesu spalania w polskiej energetyce zawodowej), a także do omawianych popiołów lotnych wytworzonych w instalacjach badawczych (A6 s. 60).

Żużle z procesu zgazowania dyspersyjnego nie mają bezpośredniego odpowiednika wśród odpadów wytwarzanych w Polsce. Ich skład ziarnowy porównywano do składu fluidalnych popiołów dennych serii III z instalacji pilotowych, wyraźnie drobniejszych (A6

s.55). Zbliżony uziarnieniem okazał się za to żużel hutniczy (**A1, A3**), a także żużel z próby podziemnego zgazowania (**A2**).

Zdecydowane różnice pomiędzy żużlami z reaktorów dyspersyjnych a wszystkimi innymi odpadami energetycznymi oraz żużlami z podziemnego zgazowania, dotyczą składu fazowego. Żużle z reaktorów dyspersyjnych, z uwagi na technologię ich wytwarzania wymagającą dokładnego stopienia substancji mineralnej, charakteryzują się strukturą całkowicie amorficzną (**A1, A2**).

Wszystkie odpady wytworzone w reaktorach dyspersyjnych, oraz żużel z próby zgazowania podziemnego, charakteryzowały się stratą prażenia nie przekraczającą 1% (**A1, A2**).

Określenie właściwości produktów ubocznych z procesu zgazowania węgla istotnych dla określenia ich wpływu na środowisko

Ocena potencjału niekorzystnego oddziaływania produktów ubocznych pochodzących z instalacji pilotowych jest przedmiotem artykułu (**A5**), oraz w rozszerzonej formie – w monografii (**A6** ss. 98–110). Omówienie wybranych badań w tym kierunku, dla popiołu i żużli ze zgazowania węgla w instalacjach dyspersyjnych znajduje się w publikacjach **A1** i **A3**.

Wśród badań produktów ubocznych, za właściwości szczególnie istotne dla określenia wpływu tych materiałów na środowisko uznano: uziarnienie, szczególnie w zakresie identyfikacji najmniejszych cząstek, zawartość niespalonego węgla, wymywalność zanieczyszczeń chemicznych, zawartość radionuklidów oraz zawartość metali ciężkich.

Zawartość najmniejszych ziaren, w szczególności frakcji respirabilnej (<5 µm) oraz związane z tym ryzyko zapylenia dotyczy przede wszystkim popiołów lotnych. W tym zakresie stwierdzono, że skład ziarnowy badanych materiałów jest zbliżony popiołów lotnych obecnych na rynku. Oznacza to, że stosowanie takich materiałów wymaga zachowania odpowiednich środków i metod ochrony przed zapyleniem. Największy udział najdrobniejszych ziaren odnotowano w popiołach lotnych pochodzących z przetwórstwa węgla brunatnego (**A6** s. 62).

Wymywalność zanieczyszczeń chemicznych jest niewątpliwie jednym z najbardziej kluczowych badań determinujących możliwość wykorzystania odpadów energetycznych. Ocenę w tym zakresie przeprowadzono dla materiałów wszystkich serii, w oparciu o wymagania normy górniczej (PN-G-11011:1998 – określającej wymagania dla materiałów podsadzkowych) oraz *rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie*

warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2014 poz. 1800).

W wyniku przeprowadzonej analizy wymywalności zanieczyszczeń chemicznych w popiołach z instalacji pilotowych, stwierdzono w kilku przypadkach przekroczenia dopuszczalnych limitów w zakresie pH oraz zawartości siarczanów (**A6** ss. 101–106). Jest to charakterystyczne również dla znacznej części odpadów energetycznych obecnych na rynku, szczególnie pochodzących z instalacji ze złożem fluidalnym. Cechy te nie są przeszkodą w wykorzystaniu takich materiałów w wybranych technologiach np. górniczych, pod warunkiem zachowania odpowiednich metod aplikacji. Wyraźnie różne pod względem wymywalności okazały się odpady ze zgazowania węgla w reaktorach dyspersyjnych. Odczyn pH eluatów wodnych tych materiałów oznaczono na poziomie poniżej 6,5, a dla jednego z żużli wartość pH wyniosła poniżej 4. Zaobserwowano również przekroczenia dopuszczalnych wartości dla zawartości niklu (**A1**). Niewątpliwie przyczyną takiego stanu rzeczy są różnice we właściwościach użytego paliwa.

Badania zawartości radionuklidów wykazały, że uboczne produkty zgazowania węgla, wytworzone w instalacjach pilotowych, a także te wytworzone w zagranicznych instalacjach zgazowania, spełniają krajowe wymagania stawiane materiałom dla górnictwa i budownictwa. Aktywność właściwa tych materiałów zależy przede wszystkim od rodzaju węgla, rodzaju popiołu (jej wartości były nieco wyższe w popiołach lotnych) oraz, w mniejszym stopniu od rodzaju procesu przetwórstwa termicznego (**A3**, **A6** ss. 106–107).

Zawartość metali ciężkich w składzie chemicznych produktów ubocznych z instalacji pilotowych porównywano z wartościami dopuszczalnymi przewidzianymi dla gruntów grupy C zgodnie z *rozporządzeniem w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi* (Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1359). Wymagania te zostały spełnione przez wszystkie produkty uboczne pochodzące z procesu zgazowania. Zdiagnozowany pojedynczy przypadek przekroczenia limitu w zakresie zawartości chromu dotyczył popiołu dennego ze spalania węgla brunatnego. Dodatkowo badania wskazały na różnice w zawartości poszczególnych metali dla materiałów różnego typu (popiołów lotnych i dennych) oraz pochodzących z różnych procesów.

W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono cech ubocznych produktów zgazowania, które wskazywałyby na podwyższone zagrożenie środowiskowe związane z ich ewentualnym zagospodarowaniem, w porównaniu do obecnie dostępnych na rynku odpadów energetycznych. Tym samym celowe i możliwe stało się poszukiwanie kierunków

zagospodarowania tych materiałów wśród obecnie stosowanych technologii. Takie badania podjęto.

Analiza oraz wskazanie kierunków zagospodarowanie odpadów / produktów ubocznych z procesu zgazowania węgla

Przedmiotem trzeciego obszaru badań była analiza właściwości technologicznych ubocznych produktów zgazowania oraz mieszanin z ich udziałem, koniecznych dla określenia możliwych kierunków przyszłego zagospodarowania. Materiałami do badań były popiół i żużle z procesu zgazowania węgla w zagranicznych instalacjach wyposażonych w reaktory dyspersyjne (A3–A4), a także popioły lotne i denne serii III – wytworzone w instalacjach pilotowych bazujących na złożu fluidalnym (A6 ss. 111–153).

W wyniku prowadzonych badań ocenione zostały przede wszystkim możliwości zastosowania ubocznych produktów zgazowania w technologiach, które wybrano na podstawie analizy ich właściwości chemicznych i fizycznych oraz dotychczasowej praktyki w zakresie wykorzystania popiołów pochodzących z procesu spalania węgla. Prowadzone badania dotyczyły właściwości istotnych dla zagospodarowania odpadów w technologiach górniczych oraz jako składników mieszanin wiążących, które mogą znaleźć zastosowanie w górnictwie, budownictwie specjalnym, drogownictwie lub też geoinżynierii.

Zakres prowadzonych badań dla poszczególnych materiałów wynikał bezpośrednio z ich charakterystyki oraz pozyskanych ilości.

Technologie górnicze

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania i analizy właściwości mieszanin pod kątem stosowania ich w technologiach górniczych. Zasadniczo w górnictwie podziemnym możliwe jest wykorzystanie odpadów energetycznych w podsadzce hydraulicznej oraz zestalanej, a także jako składników mieszanin doszczelniających oraz różnego rodzaju spoiw wiążących.

Podsadzka hydrauliczna

Podsadzka hydrauliczna stosowana jest tam, gdzie zachodzi konieczność ochrony warstw stropowych oraz samej powierzchni przed nadmiernym osiadaniem oraz towarzyszącymi mu deformacjami. Mieszanina materiałów mineralnych (najczęściej piasku kwarcowego) transportowana jest rurociągami do otamowanej przestrzeni powstałej w wyniku wybrania węgla (lub innych surowców). Wypełniając tę przestrzeń możliwe jest

znaczne ograniczenie deformacji powierzchni (z ok. 70% do 15% grubości wybranej warstwy).

W technologii podsadzki hydraulicznej istnieje możliwość zastąpienia piasku podsadzkowego innymi materiałami, w tym pochodzącymi z procesów przetwórstwa termicznego, pod warunkiem spełnienia wymagań normowych. Tego typu badania oraz wdrożenia były wcześniej prowadzone z wykorzystaniem popiołów dennych ze spalania węgla w kotłach fluidalnych również z moim udziałem.

Podsadzkę hydrauliczną można uznać za technologię zanikającą w odniesieniu do podziemnego górnictwa węglowego. Jest ona obecnie wykorzystywana jedynie w kilku ścianach eksploatacyjnych, ze względu na wysokie koszty.

Badania możliwości zastosowania w tej technologii odpadów pochodzących z procesów zgazowania węgla przeprowadzono dla żużli z instalacji zagranicznych wyposażonych w reaktory dyspersyjne (A3) oraz popiołów dennych serii III wytworzonych w pilotowych instalacjach ze złożem fluidalnym (A6 ss. 116–119). Wymagania dla materiałów stosowanych w technologii podsadzki hydraulicznej zostały zdefiniowane m.in. dla takich właściwości jak wymywalność zanieczyszczeń chemicznych, zawartość radionuklidów, które zostały omówione wcześniej, a także dla składu ziarnowego z naciskiem na zawartość ziaren mniejszych niż 0,1 mm, wodoprzepuszczalności oraz ściśliwości.

W przeciwieństwie do popiołów lotnych, zarówno żużle z instalacji fluidalnych jak i pochodzące z reaktorów dyspersyjnych spełniają założone kryteria normowe, określające maksymalną zawartość ziaren poniżej 0,1 mm na poziomie mniejszym niż 20%. Również w przypadku badań wodoprzepuszczalności oraz ściśliwości zostały spełnione wymagania normowe dla samych materiałów jak i dla ich mieszanin z piaskiem podsadzkowym.

Tym samym potwierdzono możliwość zastosowania badanych materiałów (popiołów dennych oraz żużli) w technologii podsadzki hydraulicznej jako materiałów podsadzkowych trzeciej klasy.

Podsadzka zestalana i mieszaniny doszczelniające

Mieszaniny stosowane w górnictwie podziemnym do doszczelniania zrobów zawałowych oraz jako podsadzka zestalana obecne są w polskich kopalniach węgla kamiennego od lat osiemdziesiątych i, w przeciwieństwie do podsadzki hydraulicznej, stosowane na szeroką skalę. Ich podstawową cechą jest wykorzystanie takich materiałów jak popioły lotne pochodzące z procesów spalania węgla, a także innych materiałów

drobnoziarnistych, tzn. takich, które w połączeniu z wodą tworzą trudno sedymentujące zawiesiny.

Wyniki prowadzonych badań porównywano zarówno do wymagań normowych, jak i do wyników uzyskiwanych dla zawiesin z udziałem popiołów pochodzących ze spalania węgla w instalacjach przemysłowych. Wymagania stawiane materiałom przeznaczonym do zastosowania w technologii zawiesinowej, podobnie jak w przypadku podsadzki hydraulicznej, obejmują, omówione wcześniej właściwości, takie jak zawartość radionuklidów oraz wymywalność zanieczyszczeń chemicznych. Badania o największym znaczeniu dla spełnienia wymagań normowych (normy PN-G-11011:1998 „Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania”) oraz decydujących o przydatności do stosowania w konkretnej technologii – podsadzki zestalanej lub do doszczelniania zrobów, obejmują takie właściwości jak określenie ilości wody nadosadowej, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie oraz rozmakalność – stanowiącej porównanie wytrzymałości na ściskanie próbek sezonowanych 24 godziny w wodzie do wytrzymałości próbek ściskanych w stanie suchym. Dodatkowo bada się również konsystencję zawiesin, w tym rozlewność oraz właściwości reologiczne (lepkość i granicę płynięcia lub inne parametry w zależności od przyjętego modelu reologicznego), a także czas wiązania, ściśliwość i wodoprzepuszczalność.

Badania właściwości technologicznych zawiesin drobnoziarnistych przeprowadzono dla mieszanin sporządzonych z udziałem popiołu lotnego oraz zmielonych żużli z reaktorów dyspersyjnych (**A3**), a także popiołów lotnych serii III wytworzonych w instalacjach pilotowych bazujących na złożu fluidalnym (**A6** ss. 119–132). Żużle z reaktorów dyspersyjnych zmielone zostały tak, aby składem ziarnowym odpowiadać popiołom lotnym (95% ziaren jest mniejsza niż 0,1 mm).

Ze wszystkich materiałów przygotowywano zawiesiny w taki sposób, aby ich rozlewność mieściła się zakresie 170–300 mm, przy czym preferowana wartość tego parametru dla zastosowań górniczych mieści się zwykle w przedziale 180–260 mm. Dla uzyskania takiej konsystencji może być wymagany różny stosunek części stałych do wody – s/w (tym samym udział części stałych w zawiesinie) w zależności od właściwości zastosowanych materiałów. W przypadku mielonych żużli wartość wskaźnika s/w wynosiła od 1,5 do 3,0 (**A3**), tyle, co w przypadku popiołów powstających w wyniku spalania węgla w kotłach pyłowych. Dla popiołu lotnego z reaktora dyspersyjnego wartość s/w mieściła się w zakresie od 0,7 do 1,25, czyli podobnie jak dla krajowych popiołów lotnych z kotłów fluidalnych. Stosunek części stałych do wody dla popiołów lotnych serii III, wytworzonych w

instalacjach pilotowych wynosił od 0,35 do 0,85, przy czym najniższe wartości dotyczyły popiołów pochodzących z węgla brunatnego (A6 s. 180). Takie różnice wynikają zarówno ze składu ziarnowego, kształtu i struktury ziaren jak też ze składu chemicznego (m.in. zawartość CaO w popiołach z węgla brunatnego Bełchatów sięgała 30%) i świadczą pośrednio o wodozadności poszczególnych materiałów.

Popioły i mielone żużle z reaktorów dyspersyjnych cechowały się właściwościami pozwalającymi zakwalifikować je jedynie, jako potencjalne składniki mieszanin do doszczelniania zrobów (A3). Przyczyną były wartości wytrzymałości na ściskanie poniżej 0,5 MPa. Takie wyniki świadczą m.in. z niskiej aktywności pucolanowej, co potwierdziły również badania opisane w publikacjach A1 i A2.

Badania właściwości zawiesin przygotowanych z udziałem popiołów lotnych wytworzonych w instalacjach pilotowych wskazały na znaczne różnice pomiędzy zawiesinami pochodzącymi z różnych węgli. Zawiesiny sporządzone z węgla brunatnego kopalni Bełchatów charakteryzowały się wysoką wodozadnością, krótkimi czasami wiązania oraz wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach przekraczającą 3 MPa. Tym samym spełnione zostały wymagania normowe pozwalające na zastosowanie takich zawiesin nie tylko do doszczelniania zrobów ale i do podsadzki zestalanej.

Popioły lotne pochodzące ze spalania w instalacjach pilotowych węgla kamiennych oraz karbonizatów ze zgazowania tych węgla są zdecydowanie odmienne. Zawiesiny przygotowane z ich udziałem pomimo podobnej konsystencji co zawiesiny z udziałem popiołów z węgla brunatnego odznaczają się znacznie dłuższymi czasami wiązania, przekraczającymi zwykle 14 dni, oraz znikomą wytrzymałością na ściskanie. Tego typu materiały nie powinny być, przynajmniej samodzielnie stosowane w technologii podsadzki zawiesinowej.

W tym miejscu należy jednak zaznaczyć, że z uwagi na ponadprzeciętną stratę prażenia dla tych popiołów, wynikającą z niskiej efektywności pracy instalacji pilotowej, nie można pozyskanych próbek tych materiałów traktować, jako w pełni reprezentatywnych dla przyszłych przemysłowych zastosowań. Ponadto zastosowanie w technologiach górniczych kopalń węgla kamiennego, materiału o wysokiej zawartości niespalonego węgla nie jest wskazane zarówno ze względu na warunki bezpieczeństwa jaki i na potencjalną wartość energetyczną takich materiałów

Technologie budowlane

Badania możliwości zastosowania odpadów pochodzących ze zgazowania węgla w technologiach budowlanych zostały przeprowadzone w zakresie określonym zarówno na podstawie wyników badań właściwości tych materiałów, jak również pozyskanych ich ilości. W pierwszej kolejności analizowano właściwości materiałów pod kątem wymagań wybranych norm budowlanych. Na tym etapie wyeliminowano możliwość zastosowania popiołów lotnych jako klasycznych dodatków do betonów z uwagi na ograniczenia normy PN-EN 450-1: *Popiół lotny do betonu*, m.in. w zakresie pochodzenia popiołu, straty prażenia czy też zawartości SiO_3 .

Dalsze badania dotyczyły głównie właściwości mieszanin spoiwowych oraz zapraw, przeznaczonych do wykorzystania m.in. w budownictwie drogowym i specjalnym (np. podziemnym). Na tym etapie z dalszych badań wyłączone zostały popioły lotne serii III wytworzone w instalacjach pilotowych, a pochodzące z węgla kamiennego (zarówno ze spalania węgla jak i karbonizatów z tych węgla). Przyczyną była wysoka strata prażenia tych próbek (powyżej 30%) spowodowana prawdopodobnie niską efektywnością pracy instalacji pilotowej.

Zaczyny popiołowo-cementowe

Badania właściwości zaczynów przeprowadzono z udziałem mielonego żużla ze zgazowania węgla w reaktorze dyspersyjnym instalacji Nakoso (**A4**) oraz popiołów lotnych serii III pochodzących z węgla brunatnego, a wytworzonych w polskich instalacjach pilotowych (**A6** ss. 137–144).

Zaczyny wzorcowe przygotowywano z udziałem cementu (portlandzkiego lub hutniczego) pozostałe – poprzez zastępowanie cementu odpadem w ilości od 25 do 75%. Z uwagi na wspomnianą już wysoką wodożądność popiołów lotnych serii III pochodzących z węgla brunatnego, nie było możliwe przygotowanie próbek zaczynów w pełni porównywalnych udziałem części stałych do zaczynów wzorcowych. Z tego powodu za kryterium porównawcze przyjęto konsystencję (rozlewność), wychodząc z założenia o potrzebie podobnej aplikacyjności przygotowywanych zaczynów.

Zestaw badań był podobny, jak w przypadku zawiesin popiołowo-wodnych i obejmował określenie konsystencji (poprzez określenie rozlewności oraz właściwości reologicznych), czasu wiązania, a także właściwości mechanicznych – wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie oraz wytrzymałości na rozciąganie w próbie łamania.

Przy podobnej konsystencji zaczyny z udziałem mielonego żużla charakteryzowały się wysoką wytrzymałością na ściskanie: od 20 do 40 MPa (od 40 do 80% wytrzymałości zaczynów cementowych). Zaczyny z udziałem popiołów z instalacji pilotowych odznaczały się wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach, w granicach od 6 do 13 MPa, oraz dwukrotnie dłuższym czasem wiązania (do 16h) niż zaczyny wzorcowe. Należy jednak podkreślić, że wyniki te otrzymano dla zawiesin o znacznie niższej zawartości części stałych w porównaniu do zaczynów cementowych (nawet 3 raz mniej stosując popiół ze spalania węgla z kopalni Bełchatów i ok. 4. razy mniej – popiół ze spalania karbonizatu ze zgazowania tego węgla).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono możliwość przygotowania zaczynów popiołowo-cementowych we wszystkich analizowanych recepturach, oraz zastosowania ich w technologiach budownictwa drogowego oraz specjalnego, w szczególności podziemnego.

Zaprawy i betony

Druga część badań dotyczyła określenia możliwości zastosowania odpadów pochodzących z procesu zgazowania węgla w technologiach budowlanych, dotyczyła zapraw i mieszanek betonowych, w których jako składniki zastosowano materiały o grubszym niż popioły lotne, uziarnieniu. W tym celu w pierwszej kolejności przygotowywano mieszaniny wzorcowe na bazie cementu oraz kruszywa naturalnego – piasku. W następnych krokach piasek zastępowano częściowo oraz w całości materiałem odpadowym – żużlem (A4) lub popiołami dennymi (A6 ss. 144–152).

Betony przygotowane z udziałem 25, 50, 75 oraz 100% żużla z reaktora dyspersyjnego z instalacji Nakoso w stosunku do całości kruszywa, odznaczały się nieco niższą (do 10%) wytrzymałością na ściskanie, oraz wyraźnie niższą wytrzymałością na zginanie w próbie łamania – ok. 40%, rosnącą wraz czasem sezonowania próbek.

Mieszaniny wiążące z udziałem popiołów dennych z instalacji pilotowych, z uwagi na różne ilości dostępnego materiału, przygotowywano w dwóch etapach. W pierwszym użyto wszystkich sześciu rodzajów popiołów dennych, które dodawano do zapraw, w połowie zastępując w nich piasek. Wytrzymałość na ściskanie takich próbek, niemal we wszystkich przypadkach była wyższa niż mieszaniny wzorcowej z udziałem piasku jako kruszywa naturalnego. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie w próbie łamania wskazały na różnice w zakresie $\pm 15\%$ w stosunku do próbek wzorcowych. Warto odnotowania jest, że niższe wyniki uzyskiwano dla próbek z udziałem popiołów dennych pochodzących ze spalania karbonizatów ze zgazowania węgla.

W drugim etapie badań przygotowano zaprawy, w których popioły denne stanowiły 33% i 66% kruszywa. W tym celu zastosowano popioły denne pochodzące z węgla brunatnego oraz ze spalania karbonizatów z węgla kamiennego kopalni Wieczorek. Wyniki testów potwierdziły wzrost wytrzymałości na ściskanie wraz ze zwiększaniem udziału popiołów dennych. Tendencja ta, choć w mniejszym stopniu, była obserwowana również dla wytrzymałości na zginanie.

Potwierdza to możliwość zastosowania ubocznych produktów zgazowania jako składników zapraw i betonów, a także, w większości przypadków, pozytywny ich wpływ na właściwości wytrzymałościowe takich mieszanin.

Rozpoznanie i analiza czynników wpływających na właściwości ubocznych produktów zgazowania węgla

Określenie, jakie czynniki i w jakim stopniu wpływają na właściwości popiołów i żużli ze zgazowania węgla jest zadaniem bardzo trudnym z uwagi na złożoność zagadnienia. Przez podobieństwo do procesu spalania oraz powstających w wyniku tego procesu odpadów, możliwe jest wstępne podzielenie takich czynników na grupy dotyczące rodzaju paliwa, rodzaju i parametrów procesu, miejsca wytworzenia oraz stosowanych dodatków i stosowanych metod odsiarczania, odazotowania etc.

Niewątpliwie, i potwierdziły to również badania, największy wpływ na właściwości powstających odpadów ma rodzaj instalacji i miejsce ich powstawania. W ten sposób przeprowadzamy podstawowy podział na popioły lotne, popioły denne żużle etc. W następnej kolejności uwzględnia się rodzaj paliwa (np. popioły z węgla brunatnego, węgla kamiennego, biomasy) oraz jego właściwości, od których zależy również zakres stosowania metod modyfikacji parametrów paliwa, odpadów czy emisji (np. stosowanie dodatków modyfikujących parametry termiczne substancji mineralnej, sorbentów, czy też dodawanie do odpadów produktów odsiarczania spalin). Są to zagadnienia znane w odniesieniu do odpadów energetycznych z procesu spalania.

Podczas prowadzonych badań stale obecne było jednak pytanie o wpływ procesu przetwórstwa termicznego na właściwości takich powstających odpadów. Innymi słowy: w jaki sposób sam proces zgazowania oddziałuje na właściwości wytwarzanych odpadów w porównaniu do procesu spalania. Odpowiedź na to pytanie pozwoliłaby łatwiej przygotować się do zagospodarowania produktów ubocznych w momencie ich zaistnienia na rynku. Jest to o tyle trudne, że wymaga badania materiałów, w jak największym stopniu do siebie podobnych, aby wyeliminować wpływ innych, omówionych wyżej czynników.

Łatwiejszym sposobem i często jedynym dostępnym, jest zastosowanie metody pośredniego porównania. Polega ona ocenie właściwości różnych materiałów, pochodzących z różnych instalacji pomiędzy sobą oraz w świetle konkretnych wymagań: środowiskowych lub technologicznych. Takie działania podjęte zostały w odniesieniu do wszystkich badanych materiałów i są głównym wątkiem omawianego osiągnięcia.

W odniesieniu do materiałów wytworzonych w instalacjach pilotowych (A6) możliwe było pójście o krok dalej – zastosowanie porównania bezpośredniego. Metoda bezpośrednia jest trudniejsza do realizacji, ponieważ wymaga pozyskania materiałów różniących się jedynie procesem termicznym, w którym powstały. Porównywane były tu popioły lotne i denne ze spalania węgla do popiołów lotnych i dennych ze spalania karbonizatów ze zgazowania tych węgla. Wszystkie te procesy prowadzone były w instalacjach pracujących w oparciu o złożę fluidalne, z użyciem tych samych partii surowca.

Dzięki temu powstało sześć par materiałów, które porównywano zarówno w zakresie podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych, jak i właściwości technologicznych. Badania wykazały, że istnieją różnice pomiędzy materiałami pochodzącymi z procesu spalania a tymi z procesu zgazowania. Dotyczą one szeregu właściwości podstawowych, w tym składu fazowego, wymywalności zanieczyszczeń chemicznych, zawartości radionuklidów, a także właściwości technologicznych mieszanin z ich udziałem, np. wodożądnością, konsystencją, czasu wiązania wytrzymałości na ściskanie.

Pomimo ograniczonego zakresu, wynikającego z ilości dostępnych materiałów oraz ich właściwości, badania te są unikalne w skali Kraju, i stanowią pierwszy istotny krok dla rozpoznania właściwości oraz wskazania kierunków zagospodarowania ubocznych produktów zgazowania wytwarzanych z polskich węgla w krajowych instalacjach.

Podsumowanie – osiągnięcia naukowe

Do osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.), zaliczam:

- Opracowanie charakterystyki popiołów i żużli wytworzonych w zagranicznych instalacjach wyposażonych w reaktory dyspersyjne w świetle krajowych wymagań środowiskowych oraz w porównaniu do odpadów energetycznych (popiołów i żużli) dostępnych na krajowym rynku.

- Opracowanie charakterystyki popiołów lotnych i dennych wytworzonych w instalacjach pilotowych pracujących w oparciu o złoża fluidalne w procesie zgazowania węgla pochodzących z polskich złóż, a także w procesie spalania karbonizatów powstałych w wyniku zgazowania tych węgla.
- Określenie właściwości fizycznych i chemicznych stałych produktów ubocznych ze zgazowania węgla w aspekcie możliwego oddziaływania na środowisko, w świetle wymagań normowych i regulacji krajowych.
- Zbadanie i określenie możliwości gospodarczego wykorzystania ubocznych produktów zgazowania węgla w technologiach górniczych oraz wybranych technologiach budownictwa i drogownictwa.
- Przeprowadzenie analizy i oceny wpływu metody przetwórstwa termicznego na wybrane właściwości produktów ubocznych, wytworzonych w procesie spalania węgla kamiennych i węgla brunatnego oraz materiałów powstałych w wyniku spalania karbonizatów ze zgazowania tych węgla.

Pomimo wykształcenie ściśle górniczego, a także stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dziedzinie „Górnictwo i geologia inżynierska”, od początku pracy naukowej bliskie były mi zagadnienia środowiskowe. Problematyka zagospodarowania odpadów oraz oddziaływania przemysłu na środowisko były przedmiotem większości moich publikacji oraz zadań wykonywanych w ramach projektów badawczych różnych typów, czy też prac dla przemysłu.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Moje zainteresowania naukowe od ukończenia studiów koncentrowały się wokół problematyki zagospodarowania odpadów górniczych i energetycznych w górnictwie. Przejawiały się one badaniami materiałów stosowanych w technologiach podszkawkowych – jako podszkawk hydraulicznej i zestalanej oraz mieszanin doszczelniających. Z czasem przedmiotem moich zainteresowań naukowych stały się również składniki i właściwości różnego typu mieszanin wiążących przeznaczonych do zastosowań budowlanych i geoinżynierskich. Moje badania w tym zakresie dotyczyły właściwości samych materiałów, właściwości mieszanin wiążących w stanie płynnym i zestalonym, wpływu warunków sezonowania, a także przydatności do stosowania w wybranych technologiach.

Zagadnienia, którym, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych poświęciłem najwięcej uwagi to:

- Badania sekwestracji CO₂ w zawiesinach i mieszaninach wiążących.
- Badania wpływu temperatury na właściwości zawiesin i mieszanin wiążących.
- Badania materiałów odpadowych różnych typów oraz mieszanin wiążących z ich udziałem.

5.1. Badania sekwestracji CO₂ w zawiesinach i mieszaninach wiążących

Moje zainteresowania naukowe w zakresie sekwestracji CO₂ rozpoczęły się podczas badań prowadzonych w zakresie zagadnień opisanych w mojej dysertacji doktorskiej. Jej przedmiotem były zawiesiny popiołowo-wodne stosowane w kopalniach podziemnych wraz z ditlenkiem węgla, co wspomagało ich działanie, jako środka profilaktyki pożarowej. Podczas badań zauważony został ubytek CO₂, związany z pochłanianiem go przez zawiesiny. Dla zbadania tego zjawiska, obejmującego zarówno rozpuszczania ditlenku węgla w wodzie jak i jego wiązanie chemiczne, zbudowane zostało stanowisko laboratoryjne, którego byłem projektantem. Badania w tym zakresie kontynuowałem podczas realizacji projektów badawczych pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Macieja Mazurkiewicza oraz dr hab. inż. Alicji Uliasz Bocheńczyk prof. AGH. Dotyczyły one pochłaniania i sekwestracji CO₂ oraz gazów spalinowych przez zaczyny cementowe oraz mieszaniny wiążące z udziałem odpadów energetycznych. W moim zakresie leżały badania dotyczące samego procesu pochłaniania, które realizowałem na stale rozbudowywanym stanowisku badawczym. W efekcie tych badań powstały publikacje, których jestem współautorem:

Przed uzyskanie stopnia doktora:

B1. Mazurkiewicz M., Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., Piotrowski Z., Pomykała R., 2005, Metody separacji i wychwytywania CO₂ (Methods for CO₂ separation and capture). *Polityka Energetyczna*, t. 8 z. spec. s. 527–538.

Mój wkład (20%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w przygotowaniu studium literatury.

B2. Mazurkiewicz M., Mokrzycki E., Piotrowski Z., Pomykała R., Uliasz-Bocheńczyk A. 2005, Sekwestracja CO₂ i możliwości jego współłokowania w zrobach kopalń podziemnych z popiołami (Sequestration of CO₂ and possibilities of its location into cavings of underground minings with ashes), *Przegląd Górniczy*, t. 61 nr 11 s. 42–48.

Mój wkład (20%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w określeniu możliwości lokowania CO₂ w zrobach oraz przygotowaniu programu badań, a także na przeprowadzeniu badań pochłaniania CO₂ przez zawiesiny popiołowo-wodne.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

- B3. Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., Piotrowski Z., Pomykała R. 2009, Estimation of CO₂ sequestration potential via mineral carbonation in fly ash from lignite combustion in Poland, Energy Procedia 1 (2009), s. 4873-4879. **Punktacja MNiSW: 2, artykuł w bazie WoS.**

Mój wkład (20%) w powstanie tego artykułu polegał na przygotowaniu i przeprowadzeniu badań pochłaniania CO₂ przez zawiesiny z udziałem popiołów lotnych oraz opracowaniu i analizie wyników.

- B4. Uliasz-Boczeńczyk A., **Pomykała R.** 2011, Mineral sequestration of CO₂ with the use of cement waste, Energy Procedia, vol. 4 spec. iss., s. 2855–2860. **Punktacja MNiSW: 10, artykuł w bazie WoS.**

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na przygotowaniu i przeprowadzeniu badań pochłaniania CO₂ przez zaczyny cementowe oraz opracowaniu i analizie wyników.

- B5. Uliasz-Boczeńczyk A., Gawlicki M., **Pomykała R.** 2012, Ocena możliwości sekwestracji ditlenku węgla w wodnych zawiesinach wybranych popiołów, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, t. 28 z. 2 s. 103–112. **Punktacja MNiSW: 15, IF = 0,342.**

Mój wkład (20%) w powstanie tego artykułu polegał na przygotowaniu i przeprowadzeniu badań pochłaniania CO₂ przez zawiesiny z udziałem popiołów lotnych oraz opracowaniu i analizie wyników.

- B6. Uliasz-Bocheńczyk A., Stryczek S., Mokrzycki E., **Pomykała R.** 2012, Określenie wpływu sekwestracji ditlenku węgla na właściwości technologiczne zaczynów cementowych celem bezpiecznego dla środowiska składowania geologicznego. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), t. 14, s. 875-884. **Punktacja MNiSW: 15, IF = 0,068.**

Mój wkład (10%) w powstanie tego artykułu polegał na przygotowaniu i przeprowadzeniu badań właściwości zaczynów w stanie płynnym (badanie rozlewności, ilości wody nadosadowej) z dodatkiem i bez dodatku CO₂ oraz udziale w przeprowadzeniu badań właściwości mechanicznych i opracowaniu wyników.

5.2. Badania wpływu temperatury na właściwości zawiesin i mieszanin wiążących

Badania wpływu temperatury na właściwości zawiesin i mieszanin wiążących były przedmiotem projektu badawczego, którego byłem kierownikiem. Celem prowadzonych badań była analiza właściwości mieszanin oraz spoiw stosowanych w kopalniach podziemnych w warunkach podwyższonej temperatury. Najważniejsze publikacje w tym zakresie to:

C1. Pomykała, R. Kępys W., Łyko P. 2013, Wpływ temperatury oraz dodatku cementu na czas wiązania zawiesin popiołowo-wodnych (Effect of temperature and cement additive on setting time of fly ash-water suspensions). Rocznik Ochrona Środowiska, vol. 15, part 2, s: 1818–1833. **Punktacja MNiSW: 15, IF = 0,806.**

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na zaplanowaniu badań, udziale w przygotowaniu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych, opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

C2. Pomykała, R. Kępys W., Łyko P. 2014, The influence of high temperature on the properties of solidified suspension made of ash from fluidized combustion of lignite. Polish Journal of Environmental Studies; vol. 23 no. 4, s. 1407–1411. **Punktacja MNiSW: 15, IF = 0,871.**

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na zaplanowaniu badań, udziale w przygotowaniu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych, opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

C3. Pomykała R., Kępys W., Piotrowski Z., Łyko P. Grzywa A. 2015, The temperature influence on the properties of the fine-grained suspension used in underground workings, Archives of Mining Sciences, vol. 60 no. 4, s. 1053–1070. **Punktacja MNiSW: 14.**

Mój wkład (40%) w powstanie tego artykułu polegał na zaplanowaniu badań, udziale w przygotowaniu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych, opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

5.3. Badania właściwości materiałów odpadowych oraz ich mieszanin dla określenia metod ich odzysku

Tematykę oceny właściwości odpadów oraz rozpoznawanie i weryfikowanie metod ich odzysku traktuję jako wiodącą w mojej pracy naukowej. Prowadzone przeze mnie badania dotyczą różnych odpadów, najczęściej drobnoziarnistych. Do najważniejszych tematów podejmowanych w tym zakresie w ostatnich latach zaliczam badania odpadów mułowych z przeróbki węgla kamiennego, odpadów powstających w wyniku spalania węgla kamiennego, biomasy, osadów ściekowych, odpadów komunalnych jako składników zawiesin i mieszanin wiążących. Najważniejsze publikacje w tym zakresie to:

- D1. **Pomykała R.**, Stempkowska A., Łyko P. 2012, Rheological properties of slime waste from hard coal processing, AGH Journal of Mining and Geoengineering, vol. 36 no. 4 s. 149-158. **Punktacja MNiSW: 5.**

Mój wkład (40%) w powstanie tego artykułu polegał na zaplanowaniu badań, przygotowaniu i przeprowadzeniu części badań z wykorzystaniem badań reometru obrotowego w układzie cylindrycznym, analizie wyników oraz udziale w przygotowaniu wniosków.

- D2. Kępys W., **Pomykała R.** 2012: Wpływ dodatku granulatu z ubocznych produktów spalania odpadów komunalnych na właściwości zawiesin popiołowo-wodnych. Rocznik Ochrona Środowiska – Annual Set The Environment Protection, t. 14, s. 824–833. **Punktacja MNiSW: 15, IF = 0,068.**

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w przygotowaniu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych, opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

- D3. Kępys W., **Pomykała, R.**, Pietrzyk J. 2013: Właściwości popiołów lotnych z termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych (Properties of fly ash from thermal conversion of municipal sewage sludge). Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, R. 14 nr 1, s. 11–18., **Punktacja MNiSW: 5.**

Mój wkład (30%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w opracowaniu zakresu i metodyki badań, analizie wyników i przygotowaniu wniosków.

D4.Kępyś W., **Pomykała, R.** 2014, Research into the usefulness of ash from the co-combustion of lignite and biomass in mining technologies. Polish Journal of Environmental Studies; vol. 23 no. 4, s. 1381–1384. **Punktacja MNiSW: 5, IF = 0,871.**

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na zaplanowaniu badań, udziale w przygotowaniu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych, opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

D5.Kępyś W., **Pomykała, R.**, Pietrzyk J. 2014: Study of the properties of the ash-water suspension of the in incinerated sewage sludge ash. Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, R. 15, nr 1, s. 205–212. **Punktacja MNiSW: 5.**

Mój wkład (30%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w opracowaniu metodyki badań, analizie wyników i przygotowaniu wniosków.

D6.Kępyś W., **Piotrowski Z.**, **Pomykała R.**, Grzywa A. 2014, Application of fly ash from biomass in suspension technologies. Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, R. 15 nr 2, s. 251–255. **Punktacja MNiSW: 5.**

Mój wkład (25%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w opracowaniu zakresu badań, analizie wyników oraz przygotowaniu wniosków.

6. Osiągnięcia organizacyjne, popularyzatorskie i dydaktyczne

6.1. Działalność dydaktyczna

Od początku pracy na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii (dawniej: Wydziale Górniczym) prowadziłem zajęcia dla studentów kierunków Górnictwo i Geologia, Inżynieria Środowiska, Budownictwo oraz Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Zakres tematyczny prowadzonych dotychczas przeze mnie przedmiotów jest bardzo szeroki i obejmuje problematykę górnictwa, ochrony i inżynierii środowiska oraz gospodarki odpadami. Prowadzę zarówno wykłady jak i ćwiczenia audytoryjne, projektowe oraz laboratoryjne. Jestem autorem programów kilku przedmiotów, w tym w j. angielskim. W ostatnich 6 latach prowadziłem zajęcia z przedmiotów (pogrubioną czcionką zaznaczyłem te, dla których opracowałem programy):

- Zarys technologii eksploatacji i likwidacja kopalń podziemnych (wykład, ćwiczenia audytoryjne i projektowe),
- **Odpady w technologii górniczej** (wykład +ćwiczenia projektowe i laboratoryjne),
- Wybrane problemy likwidacji zakładów przemysłowych (ćwiczenia audytoryjne),
- Likwidacja pustek podziemnych(wykład +ćwiczenia projektowe),
- **Wpływ robót górniczych na powierzchnię** (wykład +ćwiczenia projektowe),
- Wpływ eksploatacji górniczej na środowisko (wykład +ćwiczenia projektowe),
- **Wykonywanie i przebudowa składowisk** (wykład + projekt),
- **Budowa składowisk odpadów i ich użytkowanie** (wykład +ćwiczenia projektowe),
- Czystsza produkcja (wykład, ćwiczenia audytoryjne i projektowe),
- Ochrona środowiska (wykład, ćwiczenia laboratoryjne),
- Podstawy inżynierii środowiska (wykład, ćwiczenia audytoryjne),
- **Mining & Engineering** (wykład + projekt, przedmiot w języku angielskim).

Znaczną część moich godzin dydaktycznych stanowią wykłady. W roku akademickim 2013/14 prowadziłem 174 godz. wykładów oraz 216 godz. ćwiczeń, a w roku 2014/15: 153 godz. wykładów oraz 210 godz. ćwiczeń.

Jestem promotorem i recenzentem kilkadziesiątu prac magisterskich i inżynierskich. W latach 2010–2015 byłem promotorem 12 obronionych prac magisterskich oraz 5 prac inżynierskich.

W latach 2007-2015 byłem opiekunem 20 referatów studenckich przygotowywanych w ramach corocznej Studenckiej Sesji Kół Naukowych. Kilukrotnie referaty moich podopiecznych były nagradzane w ramach swoich sesji: raz pierwszym miejscem oraz dwukrotnie trzecim

Jestem współautorem skryptu:

Sobczyk W. (red.) Laboratorium z ochrony środowiska, autorzy: Biedrawa A., Kęps W., Kowalska A., Pawul M., Pomykała R., Sobczyk W., Szymańska-Czaja M. Wydawnictwa AGH, 2010. Seria: Skrypty Uczelniane. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, nr SU 1715), ISBN: 978-83-7464-282-8 (Udział własny 15%).

Jestem laureatem dwóch nagród Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne: zespołowej II stopnia w 2011 r. oraz zespołowej III stopnia w 2015 r.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne i popularyzatorskie w tematyce odpadów komunalnych oraz biogazu

Istotny obszar mojej działalności o charakterze, w większym stopniu organizacyjno-popularyzatorskim, a w mniejszym naukowym, dotyczy problematyki zagospodarowania odpadów komunalnych oraz wytwarzania i wykorzystania biogazu. Aktywność w tym zakresie wynikała zarówno z udziału w projektach międzynarodowych, z prowadzenia przeze mnie zajęciach dydaktycznych w tym zakresie, jak i z własnych zainteresowań.

Pierwszy z projektów międzynarodowych, w których brałem czynny udział to: Integrated Urban Waste-Management Model (IUWMM) finansowany z programu INTERREG IIC, realizowany w latach 2005-2007. Projekt ten dotyczył szeroko rozumianej gospodarki odpadami komunalnymi ze szczególnym uwzględnieniem ośrodków miejskich. W ramach tego projektu brałem udział w przygotowaniu spotkań partnerów projektu, opracowaniu analiz i sprawozdań oraz przygotowaniu referatów konferencyjnych, raportu i monografii końcowej, w tym rozdziału:

- **Pomykała R.**, 2007, „Wybrane problemy optymalizacji systemów zbiórki odpadów komunalnych (Some problems of optimization of municipal solid wastes collection systems), w: Zarządzanie gospodarką odpadami w aspekcie aktualizacji planów gospodarki odpadami : praca zbiorowa pod red. Iwony Kuczyńskiej, Urząd Miasta Krakowa, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, ISBN 925903.

Drugi z projektów międzynarodowych, w których brałem aktywny udział to projekt BIOMASTER (BIOMethane as Alternative Source for Transport and Energy Renaissance), finansowany w ramach programu Inteligentna Energia – Europa, a realizowany w latach 2011–2014 na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH. W projekcie tym uczestniczyło 17 partnerów z pięciu regionów (krajów): Austrii, Polski, Szwecji, Wielkiej Brytanii oraz Włoch. Liderem projektu był ISIS (Istituto di Studi per l’Integrazione dei Sistemi – Instytut Badań na Rzecz Integracji Systemów, obecnie pod nazwą: ISINNOVA – Institute of Studies for the Integration of Systems) z siedzibą w Rzymie, we Włoszech.

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie była lokalnym (krajowym) liderem projektu, w którym ze strony Polski brało udział również: Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania Sp. z o.o. w Krakowie oraz PGNiG Energia S.A. z Warszawy (do roku 2013).

Zakres tematyczny projektu dotyczył zagadnień związanych z pozyskiwaniem surowców do produkcji biometanu (oczyszczonego biogazu o wysokiej zawartości metanu), technologią jego produkcji, oczyszczaniem i wzbogacaniem biogazu oraz jego dystrybucji. Tym samym obejmował on wszystkie ogniwa tzw. łańcucha biometanu (waste to wheel), ze szczególnym uwzględnieniem możliwości wykorzystania biometanu jako paliwa w transporcie samochodowym.

Elementem szczególnie akcentowanym ze strony AGH było wytwarzanie biogazu z substratów zawierających wydzielone frakcje odpadów komunalnych, a także rozwój rynku biometanu stosowanego jako paliwo w pojazdach silnikowych, w pierwszej kolejności, należących do producentów tego paliwa, w tym przedsiębiorstw komunalnych.

Projekt zorganizowany był w taki sposób, że każdy z regionów brał udział wszystkich aktywnościach, a każdy raport przygotowywany był wspólnie przez przedstawicieli liderów regionalnych (w Polsce – AGH).

W ramach projektu przeprowadzona została analiza warunków rozwoju produkcji biogazu w Małopolsce obejmująca potencjał produkcji biogazu z różnych substratów, a także dostępnych technologii i metod produkcji biogazu. Analizowano możliwości oczyszczania i uzdatniania biogazu, wtłaczania biogazu (biometanu) do krajowej sieci gazowniczej, standardy jakości dla biometanu w zależności od systemu jego dystrybucji, rozwiązania techniczne w zakresie magazynowania gazu w pojazdach samochodowych oraz możliwości przystosowania różnych typów silników do paliwa biometanowego.

Mój udział w realizacji projektu BIOMASTER był bardzo szeroki i obejmował działania organizacyjne, bieżącą koordynację prac w zakresie realizacji projektu na szczeblu krajowym, merytoryczne współautorstwo w przygotowaniu wielu analiz, opracowań i ponad 30 merytorycznych raportów projektowych oraz 2 raportów finansowych, a także działalność publikacyjną i popularyzatorską.

W zakresie działań o charakterze koordynacyjnym i organizacyjnym wraz z zespołem AGH brałem czynny udział w:

- utworzeniu sieci interesariuszy projektu Biomaster w Polsce – grupy kilkudziesięciu firm i instytucji współpracujących w zakresie realizacji celów projektu,
- organizacji 8 seminariów tematycznych w Krakowie, Poznaniu i Warszawie,

- organizacji dwóch międzynarodowych spotkań partnerów projektu w Krakowie,
- uczestnictwie w 6 spośród 8 międzynarodowych spotkań partnerów projektu, w tym w ramach komitetu sterującego.
- organizacji Krajowej Konferencji Finałowej projektu BIOMASTER pod Patronatem Honorowym Ministra Gospodarki, Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Marszałka Małopolski oraz JM Rektora AGH, 14 kwietnia 2014 r. w Krakowie.

Spotkania sieci interesariuszy stanowiły najważniejsze narzędzie w promocji idei BIOMASTER, współpracy pomiędzy różnymi podmiotami oraz wsparcia rozwoju rynku biogazu/biometanu. Każde z organizowanych spotkań koncentrowało się na określonym temacie. Spotkania były realizowane w konwencji: część seminaryjna, w której zaproszeni eksperci prezentowali swoje prace i doświadczenia dotyczące różnych obszarów rynku biogazu/biometanu, oraz część praktyczna/warsztatowa – podsumowująca temat przewodni spotkania. Podczas takich spotkań pełniłem często rolę moderatora oraz

Moje działania o charakterze popularyzatorskim i naukowym obejmowały czynny udział w kilkunastu polskich i zagranicznych konferencjach, seminariach i warsztatach dotyczących biogazu, biometanu i CNG w całej Polsce. Najważniejsze wystąpienia konferencyjne to:.

- Pomykała R. Biometan jako paliwo w środkach transportu, projekt „Biomaster”. Konferencja: Gaz ziemny paliwem przyszłości w pojazdach, Kraków 22–23 września 2011.
- Mazurkiewicz M., Pomykała R., Kuczyńska I., Łyko P., Bilnicki W., Księżakowski M., Biogaz z odpadów jako alternatywne paliwo dla pojazdów. International Scientific-Technical Conference BIOGAS AS VEHICLE FUEL, October 19th-20th 2011, Rzeszów
- Pomykała R. The use of biogas as a fuel for transport in Poland, Perspectives, opportunities and barriers. Conference: Anaerobic Digestion of Solid Biomass and Biowaste, Berlin February 2012.
- Pomykała R. Biomethane for Transport: Biomaster Malopolska. Biogas Poland Conference. Warsaw 15 May 2012.
- Pomykała R. Możliwości zastosowania biogazu w transporcie – projekt BIOMASTER, Konferencja: Biogaz praktyczne aspekty inwestycji w zieloną energię, Warszawa 25 października 2012 r.

Najważniejsze artykuły dotyczące tematyki projektu BIOMASTER, z moim udziałem to:

- Kuczyńska I., **Pomykała R.**, Nogaj A., 2011, Odpady w produkcji biogazu, Cz. 1. Recykling nr 9, s. 26–28.

Mój wkład (30%) polegał na udziale w analizie właściwości oraz możliwości pozyskania wybranych odpadów organicznych jako substratów do produkcji biogazu.

- Kuczyńska I., Nogaj A., **Pomykała R.**, 2011, Odpady w produkcji biogazu, Cz. 2. Recykling nr 10, s. 23–26.

Mój wkład (30%) polegał na udziale w analizie właściwości oraz możliwości pozyskania wybranych odpadów organicznych jako substratów do produkcji biogazu.

- Kuczyńska I., Mazurkiewicz M., **Pomykała R.**, 2011, „Perspektywiczne rozwiązania: gospodarka odpadami biodegradowalnymi w gminie (Perspectivesolutions: bio-waste management in municipality), Przegląd Komunalny: Gospodarka Komunalna i Ochrona Środowiska, nr 10, s. 38–39.

Mój wkład (30%) polegał na analizie możliwości wytwarzania i wykorzystania paliwa gazowego (biogazu i biometanu) na bazie odpadów organicznych.

- **Pomykała R.** Biogaz paliwem dla transportu. Recykling nr 11, 2011 s. 45.

Komunikat w czasopiśmie dotyczący realizacji projektu BIOMASTER.

- **Pomykała R.**, Kuczyńska I. Biogaz z odpadów paliwem dla transportu – bariery i perspektywy. Energetyka Gazowa nr 1, 2012 s. 34–39.

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na udziale w analizie możliwości rozwoju rynku biogazu w Polsce.

- Łyko P., **Pomykała R.** Zastosowanie biogazu z odpadów jako paliwa dla pojazdów. Współczesne problemy energetyki. Praca zbiorowa pod red. Sławomira Stelmacha i Krzysztofa Pikonia. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, Gliwice 2013. S. 155–160.

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na studium literaturowym w zakresie wykorzystania biogazu jako paliwa dla pojazdów silnikowych w wybranych krajach europejskich

- **Pomykała R.**, Łyko P. Biogaz z odpadów (bio)paliwem dla transportu – bariery i perspektywy. Chemik : nauka-technika-rynek, R. 67 nr 5, 2013, s. 454–457.

Punktacja MNiSW: 5.

Mój wkład (50%) w powstanie tego artykułu polegał na analizie wymagań i warunków rozwoju rynku biogazu w Polsce dla poszczególnych etapów procesu jego wytwarzania i wykorzystania, a także na opracowaniu wniosków.

- Śliwka M., Łyko P., **Pomykała R.**, 2014, Ocena rynku CNG przez użytkowników pojazdów NGV jako potencjalnych odbiorców biometanu. Logistyka nr 4, CD nr 6, s. 4974–4980. **Punktacja MNiSW: 10.**

Artykuł w wersji elektronicznej. Mój wkład (30%) w powstanie tego artykułu polegał na przygotowaniu oraz analizie wyników badań ankietowych w zakresie możliwości wykorzystania biometanu przez użytkowników pojazdów zasilanych paliwem gazowym.

- Łyko P., Śliwka M., **Pomykała R.**, 2014, Zastosowanie CNG i biometanu w transporcie – dobre praktyki z wybranych krajów Unii Europejskiej. Logistyka nr 4, CD nr 6, s. 4628–4632. **Punktacja MNiSW: 10.**

Artykuł w wersji elektronicznej. Mój wkład (30%) w powstanie tego artykułu polegał na studium literaturowym dotyczącym warunków rozwoju rynku biometanu w krajach europejskich.

- Łyko P., Śliwka M., **Pomykała R.**, 2015, Biometan jako odnawialne paliwo w transporcie — Biomethane as a renewable fuel in transport. Logistyka nr 4, CD 3, s. 9412–9417.

Artykuł w wersji elektronicznej. Mój wkład (30%) w powstanie tego artykułu polegał na opracowaniu koncepcji i zakresu artykułu oraz udziale w opracowaniu wniosków.

Kuchów 2.09.2016.
Radosław Pomykała