

Problem osadów ściekowych staje się **problemem całego społeczeństwa i całych pokoleń**. Już dziś prognozuje się (wg. Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych), iż w roku 2020 wyprodukowanych zostanie w Polsce milion ton suchej masy odpadów (przy dzisiejszym poziomie wynoszącym ok. 700 tys ton). Mając na względzie to, co czeka eksploatatorów oczyszczalni po roku 2012, kiedy to składowanie osadów na składowiskach odpadów zostanie drastycznie ograniczone, jest oczywiste, iż konieczny jest rozwój metod termicznych zagospodarowania osadów ściekowych. Zgazowanie osadów ściekowych ma spośród wszystkich metod termicznych (spalanie, współspalanie, zgazowanie i piroliza) najwięcej zalet. Zaliczyć tu należy przede wszystkim wielokierunkowość zastosowania powstałego gazu. Może on być spalany w kotłach energetycznych, piecach przemysłowych, silnikach spalinowych oraz turbinach gazowych. Bardzo ważną cechą gazu ze zgazowania jest stosowanie go jako paliwa obniżającego emisję tlenków azotu ze spalania paliw kopalnych.

Zgazowanie osadów ściekowych (w przeciwieństwie do innych form biomasy stałej jak np. drewno, odpady rolnicze i uprawy energetyczne) jest wciąż procesem niedostatecznie rozpoznany. Istnieje potrzeba rozwoju zgazowania osadów ściekowych w szczególności w reaktorach w złożu stałym, które w swej istocie są jednostkami małymi (<10MW). Tego typu jednostki są szczególnie ważne patrząc na "lokalny" charakter utylizacji osadów ściekowych i potrzebę ich unieszkodliwienia w miejscu ich wytworzenia. Jednocześnie myśląc o wykorzystaniu gazu ze zgazowania osadów ściekowych, niezbędne jest poznanie podstawowych własności palnych tego gazu. Gaz ze zgazowania osadów ściekowych stanowi mieszaninę H_2 , CO , CH_4 , H_2O i N_2 . Różnorodność składu i zmienność wartości opałowej jest dziś główną barierą powszechnego zastosowania gazu ze zgazowania osadów ściekowych. Z tego względu bardzo ważnej jest określenie wpływu tej zmienności na systemy spalania, gdzie ten gaz mógłby być utylizowany. W tym celu niezbędna jest znajomość normalnej prędkości spalania. Jest to parametr wpływający na projektowanie palników, komór spalania i zabezpieczeń przeciwybuchowych. Istnieje duża potrzeba wyznaczania tej wielkości dla szerokiego zakresu zmian składu gazu ze zgazowania osadów ściekowych, gdyż systemy spalania muszą być projektowane dla takich parametrów, które zapewnią stabilną pracę.

Podstawowym celem naukowym projektu jest eksperymentalne oraz numeryczne wyznaczenie normalnej prędkości spalania gazu z procesu zgazowania granulatów osadów ściekowych o różnych własnościach w reaktorze ze złożem stałym. Cel ten może być rozbity na kilka hipotez, które zostaną zweryfikowane w ramach planowanych badań:

Hipoteza 1: Istnieje pewien przedział stosunku nadmiaru powietrza, przy którym wartość opałowa gazu ze zgazowania osadów ściekowych będzie najwyższa. Postulowany przedział uzależniony jest od rodzaju osadu ściekowego. Teoretycznie, zwiększona ilość powietrza doprowadzona do procesu powinna powodować dopalenie paliwa (wzrost CO_2 , H_2O), a więc mniejszy udział składników palnych w gazie.

Hipoteza 2: Normalna prędkość spalania gazu ze zgazowania granulatów osadów ściekowych przyjmuje minimalną wartość dla składu mieszaniny palnej, odpowiadającego górnej lub dolnej stężeniowej granicy zapłonu, i maksymalną wartość dla składu mieszaniny, dla której stosunek nadmiaru powietrza oscyluje wokół wartości stechiometrycznej. Weryfikacja tego poglądu poprzez wyznaczenie eksperymentalne wartości normalnej prędkości spalania dla gazu ze zgazowania osadów ściekowych oraz zakresu stosunku nadmiaru powietrza, przy której wartości te są największe, jest niezbędne podczas projektowania palników, komór spalania, systemów spalania w silnikach i turbinach gazowych i zabezpieczeń przeciwybuchowych. Duże znaczenie praktyczne (i teoretyczne) mają płomienie, które powstają wtedy, gdy z przewodu, w którym przepływ ma charakter laminarny, mieszanina wpływa do nieruchomego otoczenia. Tym charakteryzuje się wykorzystana metoda badawcza „płomień w palniku Bunsena”.

Hipoteza 3: Wzrost udziału molowego wodoru w gazie ze zgazowania osadów ściekowych powoduje wzrost normalnej prędkości spalania. Spowodowane jest to na skutek wysokiej reaktywności wodoru. Wzrost udziału tlenu węgla radykalnie obniża wartość normalnej prędkości spalania głównie na skutek obniżenia temperatury płomienia.

Hipoteza 4: Wartość opałowa gazu ze zgazowania osadów ściekowych jest stosunkowo niska. Z tego względu istnieje potrzeba modyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych palników by z jednej strony mogły przyjąć większy strumień paliwa oraz (w przypadku współspalania np. z gazem ziemnym) mogły zwiększyć gęstość energii gazu.

Hipoteza 5: Wyniki badań numerycznych dotyczących normalnej prędkości spalania granulatów osadów ściekowych, przeprowadzonych w oparciu o ogólnodostępne mechanizmy spalania (np. Li et al [1], Davis et al. [2], USC II [3], Frassoldati et al. [4], Zsely et al. [5] and GRI-Mech 3.0 [6]) charakteryzują się wysokim poziomem korelacji z wynikami eksperymentu. Do tej pory mechanizmy spalania formułowane przez autorów są doskonale zwalidowane dla metanu i gazu ziemnego. Istnieje duża potrzeba rozwoju prac symulacyjnych dla ubogich gazów ze zgazowania granulatów osadów ściekowych. Badania zorganizowane zostaną w dwa główne wątki. **Pierwszy** z nich obejmował będzie badania eksperymentalne począwszy od określenia własności palnych granulatów osadów ściekowych, wybór próbek do procesu zgazowania, sam proces zagazowania aż do wyznaczenia normalnej prędkości spalania gazu ze zgazowania osadów ściekowych oraz rozkładu temperatury w płomieniu i zakresu stabilnego spalania. **Drugi** wątek obejmował będzie obliczenia numeryczne normalnej prędkości spalania z wykorzystaniem mechanizmu utleniania gazu ze zgazowania przy użyciu programu CosiLab służącego do obliczeń kinetyki chemicznej w gazach. Badania eksperymentalne przeprowadzone zostaną z wykorzystaniem laboratoriów i stanowisk, którymi dysponuje Instytut Techniki Ciepłej. Wyniki przeprowa-

dzonych badań będą publikowane w trakcie krajowych oraz międzynarodowych konferencji naukowych oraz w czasopiśmie poświęconych tematyce spalania i zgazowania.

W ramach projektu zaplanowano trzyletnie badania, w których będą uczestniczyć pracownicy naukowcy i technicy zatrudnieni w Instytucie Inżynierii Wody i Ścieków oraz w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Kierownik Projektu wraz z zespołem posiadają duże doświadczenie w pracy laboratoryjnej w aspekcie zgazowania paliw kopalnych i biomasy oraz procesu spalania. Kierownik projektu przeprowadził szereg badań eksperymentalnych w ramach trzech grantów badawczych (nr R06 014 01, nr 3 T10B 009 29, nr 4 T10B 060 23) oraz w jego pracy doktorskiej. Każdorazowo w trakcie realizacji tych projektów projektował i konstruował autorskie stanowiska badawcze. Wykonawca posiada bogate doświadczenie w analizie chromatograficznej gazów. Kierował bądź realizował jako główny wykonawca trzy projekty (nr 3 T09D 040 27, nr 3 T09D 090 29, nr N N523 3071 33). Projekt realizowany będzie w następujących laboratoriach Instytutu Techniki Ciepłej:

-Laboratorium Ciepłych procesów Wysokotemperaturowych wyposażonym w następujące instalacje:

- Gazu ziemnego
- Powietrza do spalania
- Systemu chłodzenia wodą
- Systemu próżni powietrza
- Systemu odprowadzenia spalin
- Sprężonego powietrza

-Laboratorium Spalania Paliw i Zgazowania przeznaczone do prowadzenia prac badawczo-naukowych poświęconych spalaniu paliw gazowych, ciekłych i stałych oraz zgazowaniu paliw stałych.

-Laboratorium Podstaw Spalania

W wyżej wymienionych laboratoriach znajdują się stanowiska badawcze bezpośrednio wykorzystywane w projekcie. Kierownik projektu posiada bezpośredni dostęp do tych stanowisk. Są to w szczególności instalacje:

- Instalacja do zgazowania osadów ściekowych. Temperatura wewnątrz reaktora mierzona jest za pomocą termoelementów typu N i K. Termoelementy umieszczone wzdłuż osi pionowej generatora gazu na różnych wysokościach. Prędkość przepływu powietrza użytego jako czynnik zgazowujący mierzono przepływomierzem. Udział molowy składników gazu ze zgazowania jest mierzony w systemie on-line za pomocą analizatorów. Jednocześnie, w celu wykonania analizy chromatograficznej, pobierana jest, poprzez system filtrów, osuszaczy i separatorów wilgoci próbka gazu syntezowego. Osady ściekowe są wprowadzane do reaktora od góry, podczas gdy powietrze dostarczane jest przez dmuchawę od spodu. Osady ściekowe „poruszają się” w kierunku przeciwnym do prądu przepływu gazu i przechodzą przez strefy suszenia, pirolizy, spalania i strefy zgazowania. W strefie suszenia wilgoć odparowuje. W strefie pirolizy osady ściekowe są termicznie rozkładane do części lotnych i fazy stałej. W strefie redukcji przekształcany jest węgiel paliwowy i produkowane są główne składniki gazu. W strefie spalania dostarczanej jest ciepło dla reakcji endotermicznych strefy zgazowania.
- Stanowisko do pomiaru normalnej prędkości spalania metodą palnika Bunsena. Metoda ta jest jedną z najstarszych znanych metod stabilizacji płomienia. Co najważniejsze, stanowi jeden z najprostszych modeli wielowymiarowych w dziedzinie spalania. Instalacja obejmuje palniki Bunsena o różnych średnicach, system zasilania gazem, system mieszania i system pomiaru normalnej prędkości spalania
- Stanowisko do pomiaru pola temperatury w płomieniach
- Stanowisko do pomiaru stabilnej pracy palnika

Wszystkie wyżej wymienione instalacje zostaną wykorzystane w trakcie realizacji projektu. Każde ze stanowisk wyposażone jest w pełny zestaw urządzeń pomiarowych. Konieczność zakupu drobnych elementów, części układów pomiarowych oraz materiałów eksploatacyjnych takich jak rury, rotometri i gazy techniczne zostało zaplanowane w kosztorysie Projektu.

W trakcie realizacji projektu, Kierownik będzie miał bezpośredni dostęp do następujących, najważniejszych urządzeń badawczych:

- Chromatograf gazowy skonfigurowany do określenia składu gazu ze zgazowania osadów ściekowych. Chromatograf służy do wykonywania analizy próbek na zawartość podstawowych składników gazów (O_2 , N_2 , CO , CO_2 , H_2), węglowodory lekkie (C_1 - C_4), a także wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych.
- Mobilny system do określania składu gazu syntezowego. System zawiera zestaw analizatorów spalin (produkowanych przez firmę ABB), chłodnicy spalin i podgrzewanego węża do próbek. Analizatory umożliwiają pomiar zawartości CO_2 (zakres: $0 \div 20\%$), O_2 (zakres: $0 \div 25\%$), SO_2 (zakres: $0 \div 1\%$), NO (zakres: $0 \div 2500$ ppm), CO (zakres: $0 \div 30\%$). Sygnały są przesyłane do systemu bezprzewodowego sterowania za pomocą modemu radiowego.
- Stacja do analizy właściwości fizyko-chemicznych paliw. Stacja zawiera analizator węgla i siarki analizatora SC-144DR, młyn przygotowania próbki, suszarkę analityczną do oznaczania wilgoci, kalorymetr do pomiaru ciepła spalania i analizator zawartości wodoru i azotu w paliwie

Analiza numeryczna będzie realizowana w jednym z dwóch Kłastrów Obliczeniowych, jakie są zainstalowane w Instytucie Techniki Ciepłej. Kłustry zbudowane są w oparciu o Platformę Microsoft Compute Cluster Serwer.

Do obliczeń normalnej prędkości spalania z wykorzystaniem mechanizmów utleniania gazu ze zgazowania (na podstawie m.in. [1-6]) zostanie użyty program CosiLab służący do obliczeń kinetyki chemicznej w gazach.. Wyniki badań eksperymentalnych zestawione zostaną w funkcji zmian stosunku nadmiaru powietrza, średnicy wewnętrznej palnika oraz dla różnych składów gazu ze zgazowania osadów ściekowych. Wyniki eksperymentu zostaną porównane z wynikami analizy numerycznej. Analiza niepewności będzie przeprowadzona przy użyciu metody opisanej przez de Goey i współpracowników [7].

Podjęcie przedstawionych badań jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia gospodarki, gdyż pozytywne zweryfikowanie przedstawionych hipotez i przedstawionych problemów naukowych potwierdzi możliwość projektowania i budowy systemów spalania do utylizacji gazu ze zgazowania osadów ściekowych. Jest to ważne w kontekście jego spalania w kotłach, piecach, silnikach i turbinach gazowych, ale także w kontekście możliwości jego współspalania. Mając na względzie to, co czeka eksploatatorów oczyszczalni po roku 2012, kiedy to składowanie osadów na składowiskach odpadów zostanie drastycznie ograniczone szukanie rozwiązań mających na celu utylizację kłopotliwej biomasy odpadowej, jest oczywiste, iż konieczny jest rozwój badań podstawowych nad określeniem własności palnych gazu ze zgazowania osadów ściekowych. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, iż wykorzystanie gazu ze zgazowania osadów ściekowych jako biomasy pozwala na substytucję 'tradycyjnych' paliw gazowych przy jednoczesnej możliwości obniżenia emisji CO₂ ze spalania paliw.

Wartością dodaną z realizacji przedstawionego projektu będzie możliwość rozwoju procesu zgazowania osadów ściekowych. Wyniki badań wniosą istotny wkład w rozwój tego aspektu nauki. Zgazowanie osadów ściekowych nie jest jak dotąd szeroko stosowane w skali przemysłowej, gdyż jest słabo rozpoznane i udokumentowane. W wielu przypadkach wciąż jest na etapie badań wstępnych i opracowywania rozwiązań technologicznych. Niektórzy autorzy dość bezkompromisowo piszą, iż w Polsce jest brak doświadczeń w zakresie zgazowania tej grupy.

Literatura:

- [1] J. Li, Z. Zhao, A. Kazakov, M. Chaos, F.L. Dryer, J.J. Scire Jr., *Int. J. Chem. Kin.* 39 (2007) 109–136.
- [2] S.G. Davis, A.V. Joshi, H. Wang, F. Egolfopoulos, *Proc. Combust. Inst.* 30 (2005) 1283–1292.
- [3] H. Wang, X. You, A.V. Joshi, S.G. Davis, A. Laskin, F. Egolfopoulos, C.K. Law, USC Mech Version II. High-temperature Combustion Reaction Model of H₂/CO/C₁–C₄ Compounds. <http://ignis.usc.edu/USC_Mech_II.htm>, May 2007.
- [4] A. Frassoldati, T. Faravelli, E. Ranzi, *Int. J. Hydrogen Energy* 32 (2007) 3471–3485.
- [5] I. Gy. Zsély, J. Zador, T. Turanyi, *Proc. Combust. Inst.* 30 (2005) 1273–1281.
- [6] G.P. Smith, D.M. Golden, M. Frenklach, N.W. Moriarty, B. Eiteneer, M. Goldenberg, C.T. Bowman, R.K. Hanson, S. Song, W.C. Gardiner, V.V. Lissianski, Z. Qin. <http://www.me.berkeley.edu/gri_mech>.
- [7] K.J. Bosschaart, L.P.H. de Goey, Detailed analysis of the heat flux method for measuring burning velocities, *Combustion and Flame* 132 (2003) 170–180