

Systemy Ciepłownicze i Gazownicze – nowa specjalność na studiach II stopnia na kierunku Inżynieria Środowiska w Politechnice Warszawskiej

District Heating and Gas Systems – a new graduate-level specialization in Environmental Engineering at Warsaw University of Technology

Maciej Chaczykowski^{*)}

Słowa kluczowe: ciepłownictwo, gazownictwo, systemy multienergetyczne, inżynieria systemów, Politechnika Warszawska, oferta nowych studiów magisterskich

Streszczenie

W świetle opublikowanego pod koniec 2019 r. planu działań na rzecz zrównoważonej gospodarki UE, znanego pod nazwą strategii „Europejskiego Zielonego Ładu”, przewidujemy w najbliższych latach znaczące zmiany zachodzące w infrastrukturze energetycznej w Europie, w tym również w Polsce. Zmiany te powodują konieczność kompleksowego podejścia do problemu zarządzania systemem energetycznym, w przeciwieństwie do dotychczas stosowanego, praktycznie wyłącznie fragmentarycznego, zakładającego sektorowe spojrzenie na podsystemy ciepłowniczy i gazowniczy. Rosnąca złożoność problemów projektowania i prowadzenia ruchu systemów multienergetycznych stanowi zasadniczą przesłankę utworzenia nowej specjalności na studiach stacjonarnych II stopnia na kierunku Inżynieria Środowiska, realizowanych w Zakładzie Systemów Ciepłowniczych i Gazowniczych na Politechnice Warszawskiej.

Keywords: district heating, gas engineering, multienergy systems, systems engineering, Warsaw University of Technology, new Master's degree program

Abstract

In the light of the “Green Deal” strategy action plan for a sustainable EU economy published at the end of 2019, we anticipate significant changes in energy infrastructure in Europe, including Poland. These changes imply a reorganization of energy system management strategies, shifting from fragmentary, in the case of district heating and natural gas systems on a sector-by-sector basis, towards a more coordinated approach to the interrelations between subsystems. The growing complexity of design and operation problems in multi-energy systems is the main message guiding the opening of a new graduate-level specialization in Environmental Engineering at the Department of District Heating and Gas Systems, Warsaw University of Technology.

1. Wstęp

Zapowiadane w najbliższych latach istotne zmiany, dotyczące infrastruktury energetycznej w Europie, będące elementem strategii „Europejskiego Zielonego Ładu”, obejmą również polską energetykę. Przewidują je także dokumenty, takie jak Polityka energetyczna Polski do 2040 r., czy Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. Zmiany jakie będą zachodziły w sektorach energetyki, w związku z transformacją energetyczną, oraz nowe możliwości płynące ze zintegrowanego planowania, operatorstwa i modelowania systemów energetycznych, w tym systemów ciepłowniczych i gazowniczych, stały się motywacją do utworzenia nowej specjalności na kierunku studiów Inżynieria Środowiska w Politechnice Warszawskiej pod nazwą: Systemy Ciepłownicze i Gazownicze.

Przewidywane sprzężenie sektorowe ciepłownictwa i gazownictwa w Polsce wynika przede wszystkim z polityki stopniowego zastępowania węgla kamiennego gazem ziemnym w krajowym ciepłownictwie. Tradycyjnie, ciepło systemowe dostarczane do budynków przez systemy miejskie było uznawane jako nośnik ciepła prze-

kazywanego między wytwórcą a użytkownikiem. W konsekwencji, przy analizie, planowaniu i operatorstwie systemu ciepłowniczego, w centrum uwagi były przede wszystkim te elementy infrastruktury, które znajdowały się na drodze transportu ciepła. Poszerzając granice analizowanego systemu, o elementy uwzględniając również dynamikę dostaw energii pierwotnej, np. gazu, i prognozę zużycia ciepła przez odbiorców, możemy poprawić efektywność i bezpieczeństwo energetyczne systemu ciepłowniczego. Ponadto, potrzeby cieplne odbiorców mogą być zaspokajane za pomocą różnych nośników energii, poza ciepłem sieciowym na przykład za pomocą energii elektrycznej i gazu. Jednoczesna analiza wszystkich tych systemów tworzy zatem nowe możliwości planowania zintegrowanych systemów energetycznych z dodatkową redundancją i elastycznością, w wyniku której uzyskujemy bardziej efektywne i niezawodne dostawy energii do odbiorców i ogólnie atrakcyjniejszą ofertę zaspokajania potrzeb energetycznych gospodarki i społeczeństwa.

Integracja systemu gazowniczego z systemem elektroenergetycznym wynika z koncepcji zwiększenia udziału energetyki gazowej kosztem energetyki węglowej w strukturze wytwarzania

^{*)} Dr hab. inż. Maciej Chaczykowski, prof. PW (ORCID 0000-0002-8221-9406) – Kierownik Zakładu, Zakład Systemów Ciepłowniczych i Gazowniczych, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

energii elektrycznej, jak również z rosnących potrzeb magazynowania energii jako wsparcia odnawialnych źródeł energii w sektorze elektroenergetycznym. Planowany jest znaczący rozwój energetyki wodorowej, m.in. rozwój wielkoskalowego magazynowania energii chemicznej w postaci wodoru produkowanego w procesie elektrolizy z odnawialnych źródeł energii i zatłaczanego do sieci gazowych, technologii znanej pod nazwą *Power-to-Gas* oraz powstanie infrastruktury wodorowej, częściowo zastępującej lub uzupełniającej infrastrukturę gazowniczą. Rysującą się konwergencja sektorów energetyki i rynków energii, na których potrzeby odbiorców energii będą zaspokajane za pomocą różnych nośników energii, prowadzi do zwiększenia przepustowości i ogólnie niezawodności projektowanej infrastruktury energetycznej. Zmiany te wymuszają konieczność wszechstronnego spojrzenia na system energetyczny, w przeciwieństwie do dotychczas stosowanego, praktycznie wyłącznie sektorowego. Jednocześnie widoczna jest rosnąca złożoność problemów projektowania i prowadzenia ruchu zintegrowanych sieci mediów energetycznych, znanych w literaturze przedmiotu pod nazwą *systemów multienergetycznych*.

Efektywne zarządzanie systemami multienergetycznymi wymaga odpowiedniej wiedzy i umiejętności oraz narzędzi do symulacji procesów, zachodzących jednocześnie w różnych sieciach mediów energetycznych. Wynikiem dyskusji prowadzonych z udziałem nauczycieli akademickich i studentów, jak również przedstawicieli otoczenia gospodarczego, była decyzja o utworzeniu nowej specjalności, której program kształcenia jest rezultatem włączenia do dotychczasowej specjalności Inżynieria Gazownictwa treści kształcenia z zakresu ciepłownictwa, tworząc tym samym nową specjalność. Dorobek specjalności Inżynieria Gazownictwa, udokumentowany wypromowaniem prawie trzydziestu roczników studentów studiów stacjonarnych i podyplomowych, kierowanej przez profesora *Andrzeja J. Osiadacza*, pomysłodawcę i inicjatora powołania tej specjalności, stanowi podwaliny pod rozwijaną obecnie nowoczesną bazę dydaktyczną i program studiów nowej specjalności.

2. Program studiów

Program studiów dotychczasowej specjalności Inżynieria Gazownictwa został rozszerzony o materiał nauczania, związany z nowoczesnym zarządzaniem systemami ciepłowniczymi i zawiera rozbudowane treści kształcenia dotyczące modelowania, symulacji i optymalizacji tych systemów oraz znaczący udział w procesie kształcenia zajęć komputerowych, z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi wspomagających prowadzenie ruchu tych systemów. Zarówno w obszarze inżynierii ciepłownictwa, jak i inżynierii gazownictwa, zwiększeniu uległa liczba bezpośrednich powiązań oferowanych przedmiotów z zagadnieniami dotyczącymi integracji odnawialnych źródeł energii z systemami płynowymi oraz problemami magazynowania ciepła i energii, odpowiednio w systemach ciepłowniczych i gazowniczych. Powiązanie treści kształcenia z tą tematyką badawczą koresponduje z planami badawczymi, określonymi przez Centrum Badawcze Priorytetowego Obszaru Badawczego Konwersja i Magazynowanie Energii w Politechnice Warszawskiej. Wprowadzono pięć nowych przedmiotów uwzględniających zarówno oczekiwania studentów, jak i dynamikę zmian w obszarze energetyki ciepłej i gazowej. Zmodyfikowano dwanaście przedmiotów w zakresie treści kształcenia jak i ich struktury.

Program studiów podzielono na pięć modułów:

1. Modele i metody obliczeniowe w ciepłownictwie i gazownictwie.
2. Symulacja i optymalizacja sieci płynowych.
3. Transport ciepła i gazu: przesył i dystrybucja.
4. Zarządzanie systemami ciepłowniczymi i gazowniczymi.

5. Moduł przedmiotów obieralnych (2 przedmioty na III semestrze), HES (3 przedmioty), 2 seminaria.

Pierwszy moduł obejmuje przedmioty, takie jak Termodynamika przepływów, wymiana ciepła i masy; Modelowanie hydrauliczne sieci płynowych; Metody numeryczne; Metody prognozowania; Metody optymalizacji; Programowanie. Student zdobywa szeroką wiedzę z termodynamiki (przepływy nieizotermiczne) i wymiany ciepła, metod numerycznych i języków programowania (Delphi, Python, Matlab), metod optymalizacji i prognozowania. Szeroka wiedza z zakresu metod numerycznych i informatyki użytkowej stwarza duże możliwości pracy w przedsiębiorstwach użyteczności publicznej i w wielu innych sektorach gospodarki.

Drugi moduł obejmuje trzy przedmioty: Symulację sieci płynowych; Optymalizację systemów ciepłowniczych i gazowniczych; Obliczeniową mechanikę płynów (przepływy w ośrodkach ściśliwych, fale uderzeniowe, modelowanie w środowisku Ansys Fluent). Znajomość hydrauliki oraz zagadnień symulacji i optymalizacji sieci pozwala na wykonywanie zawodów takich jak projektant, analityk ds. bilansowania systemu, dyspozytor. Dzięki laboratorium symulacji komputerowej, wyposażonym w lokalną sieć komputerową z symulatorem sieci ciepłowniczej SimNet SSHeat [2], oraz oprogramowaniem do zarządzania sieciami gazowymi SimNet SSGas, SimNet TSGas [3] problemy projektowania i operatorstwa systemów rozwiązywane są przy znaczącym wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi komputerowych.

Trzeci moduł przygotowuje absolwenta specjalności zarówno do pracy projektowej, jak również eksploatacyjnej i obejmuje następujące przedmioty: Projektowanie systemów ciepłowniczych; Projektowanie systemów gazowniczych; Techniki pomiarowe; Maszyny przepływowe w systemach ciepłowniczych i gazowniczych. Student zdobywa umiejętności praktyczne w laboratorium pomiarów przepływu na stanowisku badawczo-dydaktycznym z dwoma rodzajami etalonów: dyszami o przepływie krytycznym oraz przepływomierzami turbinowymi o zakresie pomiarowym 400 m³/h [4].

Kolejny moduł pozwala na zdobycie wiedzy i umiejętności w zakresie operatorstwa sieci i obejmuje przedmioty, takie jak: Technika regulacji i sterowania; Systemy dyspozytorskie; Zarządzanie systemami ciepłowniczymi i gazowniczymi; GIS – Systemy Informacji Przestrzennej; Integracja sektorowa, magazynowanie energii i ciepła; Analiza ryzyka i elementy niezawodności. Student zdobywa szeroką wiedzę z systemów dyspozytorskich, baz danych oraz systemów GIS i umiejętności praktyczne w laboratorium systemów dyspozytorskich w ciepłownictwie i gazownictwie, wyposażonym w oprogramowanie Telegyr TG8000, All-In-One, TelWin SCADA.

Moduł przedmiotów obieralnych oraz przedmiotów z grupy HES, zawiera między innymi przedmioty: Hybrydowe i poligeneracyjne układy konwersji energii; Rynek mediów energetycznych; Giełdowy obrót energią, paliwami i emisjami (HES). Wsparciem w zdobyciu umiejętności praktycznych jest laboratorium komputerowe wyposażone w specjalistyczne oprogramowanie do analizy układów energetycznych GateCycle 6.1, Cycle-Tempo. Jednocześnie umiejętność stosowania różnych modeli prognozowania, znajomość rynku energii i mechanizmów obrotu surowcami energetycznymi daje możliwość odnalezienia się w zawodach tj. specjalista ds. prognozy, ds. sprzedaży, makler/analityk rynków surowcowych.

3. Kadra dydaktyczna i prace badawcze z zakresu systemów ciepłowniczych i gazowniczych

W Zakładzie Systemów Ciepłowniczych i Gazowniczych zatrudnionych jest dwadzieścia osób na stanowiskach badawczo-dydaktycznych oraz dydaktycznych. W skład zespołu wchodzi jedna

osoba z tytułem profesora, pięć osób ze stopniem doktora habilitowanego, dwanaście osób ze stopniem doktora oraz dwie osoby z tytułem magistra. Kadre dydaktyczną nowej specjalności stanowi czternastoosobowy zespół pracowników badawczo-dydaktycznych Zakładu oraz ekspertów spoza uczelni, zatrudnionych w sektorze energetyki ciepłej i gazownictwie.

W Zakładzie funkcjonują dwa zespoły badawcze, prowadzące prace badawcze i wdrożeniowe w zakresie inżynierii gazownictwa i ciepłownictwa.

3.1. Zespół Inżynierii Systemów Ciepłowniczych

Do najważniejszych kierunków badawczych zespołu Inżynierii Systemów Ciepłowniczych zaliczyć można: kompleksowe badania i analizy hydrauliczne systemów sieciowych w różnych warunkach eksploatacyjnych, w tym analizy eksploatacyjne dotyczące współpracy sieci ciepłowniczych z centralnymi i rozproszonymi zasobnikami ciepła, projektowanie zasobników ciepła, badania dotyczące integracji odnawialnych źródeł energii w systemach ciepłowniczych i ograniczenia strat ciepła w sieciach ciepłowniczych, oceny poziomu ryzyka w sieciach ciepłowniczych.

Działalność naukowo badawcza jest ściśle związana z aktualnymi wyzwaniami stojącymi przed polską energetyką ciepłą: zmniejszeniem emisji zanieczyszczeń do atmosfery, zastąpieniem węglowych źródeł ciepła źródłami odnawialnymi, optymalizacją parametrów pracy źródeł ciepła i pompowni, w tym rozdziałem obciążenia, prognozowaniem zapotrzebowania na ciepło. Obszarem działalności eksperckiej członków zespołu jest również wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na potrzeby zasilania systemów ciepłowniczych i innych obiektów oraz integracja układów skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej w systemach ciepłowniczych i ich współpraca z siecią ciepłowniczą. Oferowane usługi badawcze obejmują

- ekspertyzy i opinie w zakresie projektowania i eksploatacji systemów dystrybucji ciepła i chłodu
- projektowanie zasobników ciepła, w tym analiza termodynamiczna i dobór elementów
- analiza parametrów pracy źródeł ciepła i pompowni (w partnerstwie z Fluid Systems Sp. z o.o.)
- analiza współpracy odnawialnych źródeł energii z systemami ciepłowniczymi
- audyty energetyczne systemów ciepłowniczych

Zespół współpracuje z krajowymi operatorami systemów ciepłowniczych, zrzeszonymi w Izbie Gospodarczej Ciepłownictwo Polskie oraz prowadzi współpracę międzynarodową z Danish Board of District Heating DBDH. Członkowie zespołu są autorami licznych publikacji w wysokopunktowanych czasopiśmie zagranicznych. Pracownicy zakładu opracowali metodykę audytu energetycznego budynków, obiektów przemysłowych i systemów ciepłowniczych i wprowadzili ją do praktyki w Polsce tworząc Zrzeszenie Auditorów Energetycznych. Jednocześnie są autorami procedury sporządzania założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe na poziomie gmin. Jednym z osiągnięć zespołu w działalności wdrożeniowej jest otrzymanie Statuetki Godła Promocyjnego „Teraz Polska” dla Akumulatora ciepła dla systemów ciepłowniczych w Polsce w 2017 r. Od utworzenia struktury zakładowej na Wydziale w 2008 roku w zespole inżynierii systemów ciepłowniczych obroniono 5 rozpraw doktorskich oraz 3 rozprawy habilitacyjne.

3.2. Zespół Inżynierii Systemów Gazowniczych

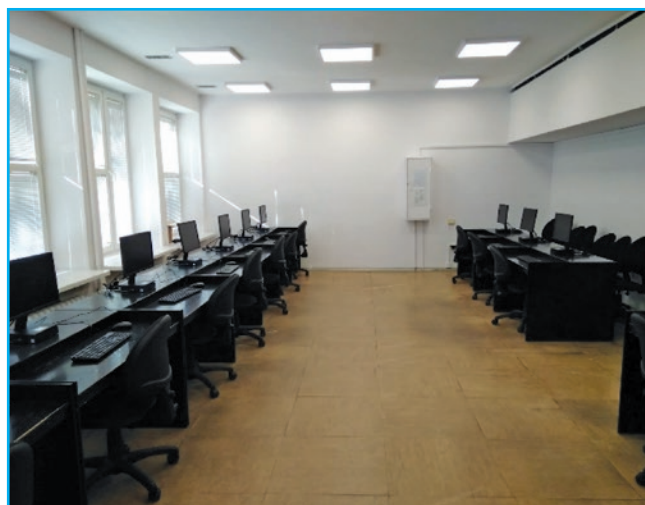
Zespół Inżynierii Systemów Gazowniczych zajmuje się technicznymi problemami dotyczącymi przesyłu, dystrybucji i użytkowania gazu. Zagadnieniami wspólnymi dla sieci krajowej, regionalnej i miejskiej jest hydraulika przepływu gazu, kompu-

terowa symulacja sieci oraz modelowanie matematyczne elementów sieci. Prace badawcze zespołu dotyczą złożonych problemów takich jak:

- opracowywanie algorytmów prowadzenia ruchu sieci (monitoring, symulacja, optymalizacja, sterowanie, bazy danych, GIS, SCADA).
- opracowywanie algorytmów optymalnego projektowania sieci gazowych (wybór struktury, wymiarów geometrycznych, miejsc lokalizacji elementów nierurowych takich jak, tłocznia, stacja redukcyjna, mieszalnia).
- przygotowywanie programów zarządzania sieciami gazowymi dla operatorów sieci (obliczanie zapasu przepustowości sieci, bilansowanie kontraktów, obliczanie masy gazu w sieci, koszty przekroczenia ograniczeń).

Jednocześnie zespół prowadzi prace badawcze w zakresie technologii pomiarów ilości i jakości strumienia gazu, systemów dyspozytorskich (SCADA), wykrywania i lokalizacji nieszczelności w sieciach gazowych, oceny poziomu ryzyka w sieciach gazowych oraz nowoczesnych odbiorników gazu. Pracownicy zakładu są autorami szeroko stosowanego w sektorze gazowniczym w Polsce oprogramowania do symulacji i optymalizacji sieci gazowych. Prace wdrożeniowe realizowane są we współpracy z Fluid Systems Sp. z o.o.

Zespół Inżynierii Systemów Gazowniczych aktywnie współpracuje z polskim i norweskim przemysłem gazowniczym, czego dowodem są liczne prace badawcze i opracowania dla firm oraz instytucji państwowych. Pracownicy zespołu aktywnie współpracują z krajową Izbą Gospodarczą Gazownictwa oraz instytucjami zagranicznymi: Institute of Energy, Transport and Climate, Joint Research Centre, European Commission, Petten (Holandia) oraz instytutami NORCE i IFE z Norwegii. Członkowie zespołu są autorami licznych publikacji w wysokonotowanych wydawnictwach zagranicznych oraz książek fachowych w języku polskim i angielskim [5,6,7] oraz przekładu z języka angielskiego monografii [1]. W ostatnich pięciu latach członkowie zespołu byli autorami dwóch opatentowanych wynalazków i dwóch wzorów użytkowych. Czterech członków kadry badawczo-dydaktycznej zakładu są członkami komitetów roboczych Międzynarodowej Unii Gazowniczej, a dwie osoby są członkami amerykańskiego stowarzyszenia Pipeline Simulation Interest Group. Od utworzenia struktury zakładowej na Wydziale w 2008 roku w zespole Inżynierii Systemów Gazowniczych obroniono 20 rozpraw doktorskich oraz 3 rozprawy habilitacyjne



Fot. 1. Laboratorium symulacji sieci płynowych
Photo 1. Fluid network simulation laboratory

3.3. Powiązanie prac badawczych i wdrożeniowych z działalnością dydaktyczną

Zespoły Inżynierii Systemów Ciepłowniczych i Inżynierii Systemów Gazowniczych prowadzą działalność badawczą w dyscyplinach Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz Inżynieria lądowa i transport, do których przyporządkowany jest kierunek studiów Inżynieria Środowiska. Studia prowadzone na tym kierunku w Politechnice Warszawskiej mają profil ogólnoakademicki, dlatego w programie studiów nowej specjalności uwzględniono udział studentów w zajęciach przygotowujących do prowadzenia działalności naukowej oraz przewidziano udział studentów w bieżącej działalności naukowej realizowanej w obu wyżej wymienionych zespołach. W wyniku konkursu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Politechnika Warszawska posiada status uczelni badawczej na lata 2020–2026. Jednym z priorytetowych obszarów badawczych, dzięki którym Politechnika chce stać się uczelnią badawczą mocniej rozpoznawalną na arenie międzynarodowej, jest konwersja i magazynowanie energii.

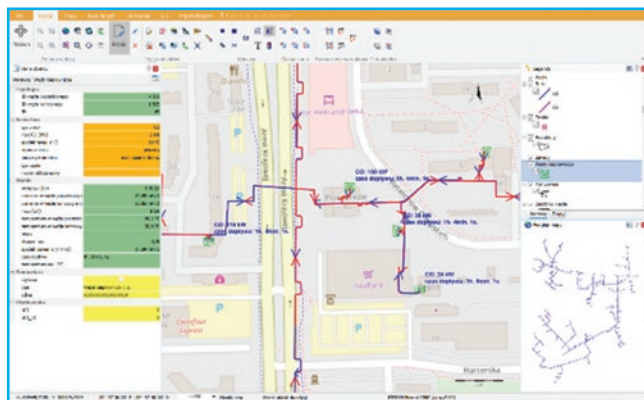


Fot. 2. Laboratorium pomiarów przepływu
Photo 2. Fluid flow measurement laboratory



Fot. 3. Laboratorium systemów dyspozytorskich
Photo 3. SCADA systems laboratory

W programie studiów położono również nacisk na aspekty praktyczne i rozwiązywanie praktycznych problemów projektowych stojących przed inżynierami. Absolwenci kierunku studiów Inżynieria Środowiska mogą ubiegać się o uprawnienia budowlane bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń cieplnych, wentylacyjnych, gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych. W programie studiów przewidziano także czterygodniową praktykę zawodową.



Rys. 1. Oprogramowanie do symulacji sieci płynowych
Fig. 1. Simulation software for fluid networks

Podsumowanie

Uchwałą Senatu Politechniki Warszawskiej wprowadzono do oferty trysemestralnych studiów II stopnia na kierunku Inżynieria Środowiska nową specjalność pod nazwą Systemy Ciepłownicze i Gazownicze. Program nowej specjalności obejmuje nowoczesne metody projektowania i zarządzania systemami ciepłowniczymi i gazowniczymi i zawiera pięć modułów kształcenia, dających się scharakteryzować słowami kluczowymi, takimi jak: Modelowanie, Metody obliczeniowe, Prognozowanie, Symulacja, Optymalizacja, Pomiary, SCADA, Projektowanie. Zaproponowane ujęcie jest zgodne z obecnymi tendencjami rozwojowymi w energetyce polegającymi na konwergencji systemów energetycznych, w tym systemów płynowych. Dotyczy ono również integracji odnawialnych źródeł energii z systemami płynowymi oraz problematyki magazynowania ciepła i energii odpowiednio w systemach ciepłowniczych i gazowniczych. Z tego punktu widzenia przeprowadzone zmiany w zakresie unowocześnienia treści kształcenia, wprowadzenia nowych przedmiotów i nowoczesnych form kształcenia oraz organizacji studiów należy ocenić jako korzystne z punktu widzenia potrzeb otoczenia społeczno-gospodarczego. Zapraszamy na studia o specjalności Systemy Ciepłownicze i Gazownicze w Politechnice Warszawskiej, dla których pierwszy nabór studentów zaplanowano w roku akademickim 2021/2022.

LITERATURA

- [1] Kent W. Muhlbauer. 2013. Zarządzanie ryzykiem w eksploatacji rurociągów. Seria Biblioteka Inżyniera Gazownika, Fluid Systems, Warszawa 2013.
- [2] Osiadacz A.J., M. Chaczykowski, Ł. Kotyński. 2012. „Pakiet oprogramowania do statycznej symulacji sieci ciepłowniczych”. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 43 (12): 526–529.
- [3] Osiadacz A.J., Maciej Chaczykowski, Łukasz Kotyński. 2014. Oprogramowanie do symulacji sieci płynowych. W materiałach konferencji „Efektywność energetyczna w eksploatacji sieci płynowych”, PWSZ w Ciechanowie.
- [4] Osiadacz A.J., J. Burda, M. Chaczykowski, A. Nowak. 2004. „Stanowisko pomiarowe do sprawdzania gazomierzy turbinowych”. *Nowoczesne Gazownictwo* 3 (IX): 29–35.
- [5] Osiadacz A.J. 1987. “Simulation and analysis of gas network”. E & F.N. Spon Ltd. London.
- [6] Osiadacz A.J. (Ed.). 1988. “Simulation and optimization of large systems”. The Institute of Mathematics and its Applications Conference Series. Oxford University Press, Oxford.
- [7] Osiadacz A.J. 2001. „Stacyczna symulacja sieci gazowych”. Seria Biblioteka Inżyniera Gazownika, Fluid Systems, Warszawa.
- [8] Osiadacz A.J., Maciej Chaczykowski. 2010. Stacje gazowe. Teoria, projektowanie, eksploatacja. Seria Biblioteka Inżyniera Gazownika, Fluid Systems, Warszawa.