

dr inż. Jolanta Szoplik
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Al. Piastów 42, 71-065 Szczecin
Tel. 91 449 47 64
e-mai: jolanta.szoplik@zut.edu.pl

Szczecin, 23.10.2017

ZAŁĄCZNIK 3

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego z obszaru dziedziny nauk technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna

Autoreferat

wraz z opisem cyklu powiązanych tematycznie publikacji, pod wspólnym tytułem:

”Teoretyczna i numeryczna analiza przepływu gazu w złożonych systemach inżynierii chemicznej”

stanowiących podstawę do wszczęcia postępowania habilitacyjnego

Spis treści:	str.
1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Praca zawodowa i działalność naukowo-badawcza	4
4.1. Praca zawodowa i działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych	5
4.2. Praca zawodowa i działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych	7
4.3. Podsumowanie całości dorobku publikacyjnego	12
5. Opis osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania	13
5.1. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku	14
5.2. Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku	15
6. Charakterystyka działalności dydaktycznej	32
7. Charakterystyka działalności organizacyjnej	34
8. Charakterystyka działalności popularyzatorskiej	35

Załącznik 3a: Zaświadczenie o odbyciu stażu w Zakładzie Gazowniczym w Szczecinie

Załącznik 3b: Kopia pisma do Zakładu Gazowniczego w Szczecinie o udostępnienie danych

Załącznik 3c: Kopia zaświadczenia wystawionego przez Zakład Gazowniczy w Szczecinie o wdrożeniu wyników opracowania naukowego

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Jolanta Ewa Szoplik**

Data urodzenia: 04.02.1968 r. w Międzyrzecu Podlaskim

Obecnie zajmowane stanowisko: adiunkt

Miejsce pracy: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska
Zakład Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych
71-065 Szczecin, Al. Piastów 42,
tel. 91 449 47 64; e-mail: jolanta.szoplik@zut.edu.pl

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- Magister inżynier, 10.07.1992 r. Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej. Praca magisterska pt.: *„Badanie współczynnika dyfuzji metodą elektrochemiczną z zastosowaniem wirującego dysku”*, Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Fryderyk Stręk,
- Doktor nauk technicznych, 21.06.2004 r. Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej. Praca doktorska pt.: *„Badania czasu mieszania w zbiorniku z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem”*, Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Joanna Karcz,
- Dyplom ukończenia trzyletniego Studium Doskonalenia Pedagogicznego, 16.12.1993 r. Politechnika Szczecińska.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 01.01.1992 – 30.09.1997 – pracownik naukowo-techniczny w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej, Politechnika Szczecińska,
- 01.10.1997 – 30.09.2005 – asystent w Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych, Politechnika Szczecińska,
- 01.10.2005 – obecnie – adiunkt w Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

4. Praca zawodowa i działalność naukowo-badawcza

Pracę zawodową rozpoczęłam **01.01.1992** roku na stanowisku naukowo technicznym w kierowanym przez prof. dr hab. inż. Fryderyka Stręka Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej (obecnie Zakład Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych) na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej w Politechnice Szczecińskiej. Pracę magisterską, której promotorem był prof. dr hab. inż. Fryderyk Stręka, a opiekunem dr inż. Joanna Karcz obroniłam **10.07.1992** r. na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej. Jeszcze podczas studiów magisterskich uczęszczałam na trzyletnie Studium Pedagogiczne, które ukończyłam **16.12.1993** r, uzyskując uprawnienia do pracy pedagogicznej. Natomiast **01.10.1997** r. zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta w obecnym Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych. W latach **2002 – 2004** byłam studentką Studium Doktoranckiego na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Pracę doktorską, wykonywaną pod opieką prof. dr hab. inż. Joanny Karcz obroniłam **21.06.2004** r na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Od **01.10.2005** r. jestem zatrudniona na stanowisku adiunkta w kierowanym przez Panią prof. dr. hab. inż. Joannę Karcz Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych. W okresie **01.06.2011 – 30.09.2011** r. odbyłam trzymiesięczny staż w szczecińskim oddziale Wielkopolskiej Spółki Gazownictwa (obecnie Zakład Gazowniczy w Szczecinie Polskiej Spółki Gazownictwa) oraz uczestniczyłam w szkoleniu na temat wdrażania nowych technologii w ramach projektu „Czas na staż. Współpraca Nauki i Biznesu”, organizowanym przez Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii (RCTiTT) w Szczecinie (Załącznik 3a). Za osiągnięcia naukowe uzyskałam **nagrodę II stopnia JM Rektora PS** w **2004** r. (za pracę doktorską), **nagrodę III stopnia JM Rektora ZUT** w Szczecinie w **2016** r. oraz w **2017** r. Natomiast w **2008** r otrzymałam Brązowy Krzyż Zasługi. Jestem mężatką, a od 1993 r. matką i obowiązki pracy naukowej oraz dydaktycznej godziłam z obowiązkami matki wychowującej syna, który obecnie jest studentem budownictwa.

Moje zainteresowania naukowe podczas wieloletniej pracy naukowej w Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych zmieniały się. Podczas realizacji pracy magisterskiej i w początkowym okresie pracy zawodowej stosowałam **wspomagana komputerowo metodę elektrochemiczną** do badania współczynnika dyfuzji oraz wymiany masy warstewce przyściennej mieszalnika z mieszadłem szybkoobrotowym. W ramach pracy doktorskiej prowadziłam badania czasu mieszania w zbiorniku z niecentrycznie usytuowanym mieszadłem szybkoobrotowym **wspomagana komputerowo metodą termiczną**. Natomiast prace naukowe przedstawiane jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym,

związane z modelowaniem przepływu gazu w złożonych układach sieci rurociągowych, przygotowałam przy użyciu zaawansowanych narzędzi inżynierii chemicznej, takich jak: symulator **GasNet** do obliczeń hydraulicznych sieci gazowych oraz **Sztuczne Sieci Neuronowe** do prognozowania zapotrzebowania na gaz.

Prace, które wybrałam jako cykl powiązanych tematycznie publikacji, stanowi w sumie **13** artykułów. Wśród tych prac jest **1** rozdział w monografii [H1] oraz **4** prace znajdujące się w bazie *Journal Citation Reports* [H2] ÷ [H5] i **8** pełnotekstowych prac znajdujących się na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego [H6] ÷ [H13]. Spośród wymienionych prac, 11 to prace jednoautorskie, a w 2 pracach współautorami są studenci, którzy uczestniczyli w prowadzonych przeze mnie badaniach. Zainteresowanie studentów tematyką oraz udział w badaniach może być załączkiem zespołu badawczego, który chciałabym w przyszłości zbudować w macierzystej jednostce. Obecnie jestem promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej studentki mgr inż. Pauliny Stelmasińskiej, która jest współautorką pracy [H13].

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje **45** publikacji, wśród których znajduje się praca doktorska, **1** rozdział w monografii, **14** prac uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports*, **15** prac w innych recenzowanych czasopismach naukowych znajdujących się na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz **14** publikacji w krajowych lub międzynarodowych materiałach konferencyjnych. Wyniki badań były prezentowane przeze mnie jako referaty wygłaszane na **3** konferencjach naukowych.

4.1. Praca zawodowa i działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

Pracę zawodową rozpoczęłam 01.01.1992 roku w kierowanym przez Pana Profesora F. Stręka Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej w Politechnice Szczecińskiej. Jako pracownik naukowo-techniczny byłam odpowiedzialna między innymi, za sprawne działanie laboratoryjnych instalacji dydaktycznych oraz badawczych. Brałam także udział, jako wykonawca, w realizacji dwóch grantów badawczych KBN wykonywanych w zakładzie. Dodatkowo prowadziłam także zajęcia dydaktyczne (ćwiczenia laboratoryjne) dla studentów na kierunku: inżynieria chemiczna i ochrona środowiska. Praca w zespole kierowanym przez profesora F. Stręka dała mi dobre podstawy do pracy badawczej i naukowej.

Studia magisterskie na kierunku Inżynieria Chemiczna i Procesowa na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej ukończyłam 10 lipca 1992

roku, będąc już zatrudniona na stanowisku naukowo-technicznym. Pracę magisterską pt. „*Badanie współczynnika dyfuzji metodą elektrochemiczną z zastosowaniem wirującego dysku*” wykonywałam pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Fryderyka Stręka oraz opieką prof. dr hab. inż. Joanny Karcz. Badałam przypadek wymiany masy zachodzącej w sąsiedztwie powierzchni elektrody w postaci wirującego dysku zanurzonego w elektrolicie. Testowałam różne typy elektrod dyskowych, a dzięki zastosowaniu oprzyrządowania elektronicznego instalacji doświadczalnej możliwa była komputerowa akwizycja danych doświadczalnych.

Realizację pracy doktorskiej rozpoczęłam po zatrudnieniu mnie 01.10.1997 roku na stanowisku asystenta w Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych. Rozprawę doktorską pt. „*Badania czasu mieszania w mieszalniku z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem*”, realizowaną pod opieką prof. dr hab. inż. Joanny Karcz obroniłam 21 czerwca 2004 r. na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Za pracę doktorską otrzymałam nagrodę indywidualną II stopnia JM Rektora Politechniki Szczecińskiej. Celem badań przedstawionych w pracy doktorskiej było określenie wpływu niecentrycznego usytuowania mieszadła szybkoobrotowego w zbiorniku bez przegród na wielkość czasu mieszania. Analizowałam, które parametry fizyczne, geometryczne oraz operacyjne mają największy wpływ na czas mieszania w takim niesymetrycznym układzie. W badaniach stosowałam wspomaganą komputerowo metodę termiczną do pomiaru zmiany temperatury cieczy po dodaniu traseru w postaci porcji gorącej cieczy. Pomiary prowadziłam w wielkolaboratoryjnym zbiorniku bez przegród o średnicy $D = 0.7$ m i objętości roboczej 270 dm^3 wyposażonym w mieszadło szybkoobrotowe. Zmieniałam zarówno typ mieszadła, jak i jego położenie wewnątrz aparatu. Położenie wału mieszadła w zbiorniku opisywałam parametrem e/R (będącym stosunkiem odległości wału mieszadła od osi zbiornika e do promienia zbiornika R), który przyjmował wartość $e/R = 0$ dla centrycznego umieszczenia wału mieszadła w mieszalniku lub $e/R = 0,14; 0,27; 0,43$ lub $0,57$ (dla najbardziej niecentrycznej pozycji wału mieszadła w aparacie). Mieszaniu poddawany był wodny roztwór melasy o różnej lepkości w obszarze burzliwego ($2,1 \times 10^4 < Re < 9,6 \times 10^4$) lub przejściowego ($2 \times 10^3 < Re < 10^4$) przepływu cieczy w zbiorniku. Wykonałam pomiary czasu mieszania dla mieszadła śmigłowego oraz mieszadeł turbinowych o trzech lub sześciu łopatkach pochylonych posiadających średnicę $0,33D$ lub $0,5D$. Analizowałam także wpływ na czas mieszania t_m takich parametrów jak: liczba mieszadeł śmigłowych zabudowanych na wspólnym wale (parametr i), kierunek cyrkulacji cieczy w zbiorniku (parametr M) oraz położenie punktu dozowania traseru do cieczy mieszanej (parametr L/L_o). W sumie uzyskałam

około 2000 punktów doświadczanych czasu mieszania, które opracowałam matematycznie w postaci zależności bezwymiarowego czasu mieszania θ od niecentryczności mieszadła (e/R), liczby Reynoldsa (Re), liczby łopatek (z) i średnicy mieszadła turbinowego (d) oraz kierunku cyrkulacji cieczy w zbiorniku (parametr M). Wyniki badań opublikowałam w 3 pracach z bazy *Journal Citation Reports* [C1] ÷ [C3] oraz 2 pracach w recenzowanych czasopiśmie z listy ministerialnej [C4] oraz [C7]. W tym okresie brałam też udział w innych pracach badawczych realizowanych w zakładzie, czego efektem są dwie pełnotekstowe prace w czasopiśmie uczelnianych [C5] oraz [C6]. Uczestniczyłam i prezentowałam wyniki badań na 3 konferencjach naukowych, a wyniki zamieszczone zostały w materiałach konferencyjnych [K1] ÷ [K3]. Na podstawie uzyskanych wyników badań czasu mieszania stwierdziłam, że niecentryczne umieszczenie mieszadła w zbiorniku bez przegród wpływa na wyraźne skrócenie czasu mieszania, który jest porównywalny z wielkością charakterystyczną dla zbiornika wyposażonego w cztery standardowe przegrody.

Pracując na stanowisku asystenta prowadziłam również zajęcia dydaktyczne, głównie ćwiczenia laboratoryjne oraz audytoryjne. Przygotowałam także 2 nowe stanowiska laboratoryjne oraz opracowałam instrukcje do tych ćwiczeń laboratoryjnych, które następnie prowadziłam.

4.2. Praca zawodowa i działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Po obronie pracy doktorskiej 21.06.2004 r. przez rok pracowałam na stanowisku asystenta. Natomiast od 01.10.2005 roku zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta w kierowanym przez Panią Profesor J. Karcz Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie). W początkowym okresie pracy zawodowej po obronie pracy doktorskiej głównie kontynuowałam tematykę związaną z badaniem czasu mieszania dla płynu nieniutonowskiego w zbiorniku z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem oraz publikowałam wyniki uzyskane w ramach pracy doktorskiej. Efektem tej pracy jest 8 publikacji w recenzowanych czasopiśmie, z czego 6 współautorskich publikacji w czasopiśmie, uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports* takich jak: *Chemical Engineering Science* [D1], *Chemical Papers* [D2], [D5], *Chemical and Process Engineering* [D3], [D4], *Theoretical Foundations of Chemical Engineering* [D6] oraz 2 artykuły w recenzowanych czasopiśmie krajowych, takich jak: *Polish Journal of Chemical Technology* [D7] oraz *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* [D8].

Efektym wymiernym tych prac jest opracowanie między innymi zależności [D1] bezwymiarowego czasu mieszania θ od parametru opisującego niecentryczną pozycję mieszadła w zbiorniku $e/R = \langle 0; 0,14; 0,29; 0,43; 0,57 \rangle$ oraz od parametru charakteryzującego kierunek cyrkulacji cieczy w zbiorniku $M = 0,32$ lub $-0,32$. Wyniki badań czasu mieszania płynu niutonowskiego zmierzonego dla różnych typów mieszadeł szybkoobrotowych (śmigłowe lub turbinowe o łopatkach pochylonych o różnej liczbie łopatek i różnych średnicach) porównałam pod względem energetycznym. W pracy [D2] stwierdziłam, że za pomocą mieszadła śmigłowego umieszczonego niecentrycznie w zbiorniku bez przegród można osiągnąć założony czas mieszania przy niższym nakładzie energetycznym w porównaniu z mieszadłami turbinowymi o łopatkach pochylonych. Analizowałam także wpływ kierunku pompowania mieszadła oraz położenia punktu dozowania traseru na czas mieszania w zbiorniku z niecentrycznie umieszczonym mieszadłem śmigłowym [D3]. W pracy tej wykazałam, że w przypadku mieszania płynu w obszarze przejściowego przepływu płynu, krótszym czasem mieszania charakteryzuje się układ z niecentrycznie usytuowanym mieszadłem śmigłowym pompującym płyn w kierunku dna zbiornika, a traser jest wprowadzany do cieczy bezpośrednio w obszar mieszadła. Wyniki badań opracowałam matematycznie i przedstawiłam w postaci zależności bezwymiarowego czasu mieszania θ od wartości parametru e/R , opisującego niecentryczność mieszadła i parametru L/L_0 , opisującego położenia punktu dozowania traseru do mieszalnika. W pracy [D7] analizowałam wpływ niecentryczności mieszadła w zbiorniku na czas mieszania płynu niutonowskiego mieszanego mieszadłem śmigłowym lub turbinowym o łopatkach pochylonych, a wyniki opisałam zależnością bezwymiarowego czasu mieszania od zmodyfikowanej liczby Reynoldsa, kierunku cyrkulacji cieczy oraz bezwymiarowego parametru opisującego niecentryczność mieszadła. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdziłam, że jeśli porównuje się wyniki badań czasu mieszania uzyskane przy stałej wartości jednostkowej energii mieszania, to w przypadku zastosowania niecentrycznie zabudowanych mieszadeł, wytwarzających osiowy przepływ płynu w kierunku dna mieszalnika, czas mieszania wyrażony w sekundach praktycznie nie zależy od typu mieszania. Bezwymiarowy czas mieszania zmierzony dla mieszadła śmigłowego lub turbinowego o trzech łopatkach pochylonych w położeniu centrycznym lub niecentrycznym porównałam także przy założeniu stałej wartości zmodyfikowanej liczby Reynoldsa [D6]. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdziłam, że przy założonej wartości liczby $Re_{P,V} = \text{const}$, najkrótszym czasem mieszania charakteryzuje się układ z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem turbinowym pompującym ciecz w kierunku dna zbiornika. Wpływ

usytuowania mieszadła śmigłowego na czas mieszania w zakresie przejściowego przepływu płynu nieniutonowskiego analizowałam w pracach [D4], [D5] oraz [D8]. Wyniki badań bezwymiarowego czasu mieszania zmierzonego w zbiorniku z centrycznie lub niecentrycznie usytuowanym mieszadłem śmigłowym pompującym płyn w kierunku lustra cieczy lub dna zbiornika dla trzech przypadków dozowania traseru do układu porównałam przy założeniu stałej wartości liczby Re [D5] lub jednostkowej energii mieszania ε [W/kg] [D4]. Także w przypadku mieszania płynu nieniutonowskiego rozrzedzanego ścinaniem wykazałam wyraźny wpływ usytuowania wału mieszadła śmigłowego (parametru e/R), kierunku pompowania cieczy w aparacie (parametru M) oraz położenia punktu dozowania traseru na czas mieszania (parametru L/L_0). Najkrótszy czas mieszania odpowiada układowi z niecentrycznie umieszczonym mieszadłem śmigłowym pompującym ciecz w kierunku dna zbiornika, do którego traser wprowadzano w obszarze mieszadła. Wyniki badań czasu mieszania opisałam zależnością bezwymiarowego czasu mieszania od liczby Re , kierunku pompowania cieczy, niecentryczności mieszadła i położenia punktu dozowania traseru do cieczy [D5]. Na podstawie analizy tych wyników stwierdziłam, że najniższe wartości bezwymiarowego czasu mieszania charakteryzują układ z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem śmigłowym pompującym płyn w kierunku dna zbiornika i dozowaniem traseru bezpośrednio w obszar mieszadła. W pracy [D4] stwierdziłam, że dla założonej wartości liczby Re , najniższa energia mieszania odpowiada układowi z centrycznie usytuowanym mieszadłem śmigłowym pompującym płyn w kierunku dna zbiornika. Natomiast w pracy [D8] porównałam bezwymiarowe czasy mieszania cieczy niuonowskiej i nieniuonowskiej przy założonej stałej wartości liczby $Re = 2000$. Na podstawie porównania wyników stwierdziłam, że czas mieszania płynu nieniuonowskiego jest prawie trzykrotnie dłuższy w porównaniu z czasem mieszania płynu niuonowskiego, a różnice między wielkościami czasu mieszania płynu niuonowskiego i nieniuonowskiego są większe w przypadku mieszania w zbiorniku z centrycznie zabudowanym mieszadłem niż w mieszalniku z niecentrycznym jego usytuowaniem [D8].

Prowadziłam także badania czasu mieszania układu dwufazowego oraz trójfazowego w kolumnie airlift z zewnętrzną cyrkulacją płynu. Wyniki badań opublikowałam w recenzowanym czasopiśmie z listy ministerialnej [D9] oraz w recenzowanych materiałach konferencyjnych [K13], [K14].

Równocześnie z badaniami czasu mieszania w zbiorniku z mieszadłem zainteresowałam się modelowaniem przepływu płynu w sieci rurociąkowej. Jako przykład takiej sieci rurociągow wybrałam sieć gazociągów niskiego ciśnienia do transportu gazu

wysokometanowego. W 2008 r. nawiązałam wieloletnią współpracę z obecnym Zakładem Gazowniczym w Szczecinie i zwróciłam się do niego z prośbą o udostępnienie szkiców wybranego fragmentu sieci gazociągów niskiego ciśnienia z jednym źródłem zasilania oraz danych o poborach gazu z sieci przez odbiorców komunalnych. Pozyskane dane zostały wykorzystane do przygotowania 7 publikacji [H1, H4, H5, H6, H7, H8, H9] oraz sprawozdania dla Zakładu Gazowniczego w Szczecinie. W pracach tych analizowałam, między innymi, zmianę najważniejszych parametrów charakteryzujących dynamikę gazu w złożonych układach rurociągów ze szczególnym uwzględnieniem nierównomierności obciążenia sieci zależnej od temperatury powietrza. Wszystkie wyniki badań zostały uzyskane dla rzeczywistych danych wejściowych przedstawiających pobory gazu z sieci przez odbiorców komunalnych. Udostępnione przez Zakład Gazowniczy w Szczecinie dane o poborach gazu przez odbiorców komunalnych były wielkościami sumarycznymi, rejestrowanymi z częstotliwością jednego lub dwóch miesięcy, mnie natomiast interesowały dane szczegółowe w postaci godzinowego zapotrzebowania na gaz przez odbiorców. Na podstawie analizy tych danych zauważyłam pewną zależność pomiędzy zapotrzebowaniem na gaz przez odbiorcę, temperaturą powietrza oraz godziną doby. Opracowałam więc model do wyznaczania godzinowego poboru gazu przez każdego odbiorcę w zależności od temperatury powietrza i godziny doby, który następnie stosowałam do przygotowania danych wejściowych do symulacji przepływu gazu w sieci. W wyniku symulacji przepływu gazu w sieci uzyskałam bardzo duży zbiór wyników w postaci rozkładu strumieni i prędkości gazu w rurociągach sieci oraz nadciśnienia strumienia w węzłach sieci, które opracowałam matematycznie. Wyznaczyłam, między innymi, zależność między nadciśnieniem strumienia gazu zasilającego sieć i wielkością tego strumienia, opracowałam szczegółową charakterystykę sieci gazowej i wskazałam miejsca w sieci, które są szczególnie wrażliwe na ewentualne wahania nadciśnienia strumienia gazu zasilającego sieć. Szczegółowy zakres prac oraz uzyskane wyniki modelowania przepływu gazu w tej sieci opisałam w punkcie 5.2 niniejszego autoreferatu (Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku).

Doświadczenie zdobyte podczas modelowania przepływu gazu w sieci było także podstawą do wzięcia przeze mnie udziału w projekcie: „*Czas na staż. Współpraca Nauki i Biznesu*”, którego organizatorem było Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii (RCiTT) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. W ramach projektu odbyłam trzymiesięczny (od 1.06.2011 do 31.08.2011 r.) staż w Wielkopolskiej Spółce Gazownictwa, oddział Zakład Gazowniczy w Szczecinie

(zaświadczenie o odbyciu stażu zamieściłam w Załączniku 3a). Przystępując do projektu miałam jasno zdefiniowany cel badań, który chciałam zrealizować podczas pobytu w spółce. Oprócz pozyskania cennej wiedzy praktycznej na temat transportu gazu, technicznych możliwości pomiaru ważnych parametrów charakteryzujących przepływ gazu w sieci uzyskałam również szkice powykonawcze kolejnego fragmentu sieci gazowej niskiego ciśnienia zasilanej tylko z jednej stacji gazowej, znajdującej się w małej miejscowości w województwie zachodniopomorskim. Ten fragment sieci gazowej charakteryzuje się inną od poprzedniej siecią strukturą, długością i materiałem, z którego wykonano rurociągi oraz wiekiem (jest to stara sieć wykonana ze stali). Powołując się na dobrą współpracę z Zakładem Gazowniczym w Szczecinie w poprzednich latach, wystąpiłam z prośbą o udostępnienie szkiców sieci gazowej oraz danych o poborach i zgodę taką uzyskałam (w Załączniku 3b zamieściłam treść pisma). Na podstawie uzyskanych materiałów opracowałam modele poborów gazu z sieci, na podstawie których przygotowałam dane wejściowe do wykonania symulacji przepływu gazu w całej sieci i opracowałam zależność pomiędzy wielkością strumienia gazu i jego nadciśnieniem na wejściu do sieci. Wyniki opracowane w postaci sprawozdania przekazałam do Zakładu Gazowniczego w Szczecinie, a zaproponowany przeze mnie algorytm został zastosowany w jednostce układu sterującego FIO (w Załączniku 3c zamieściłam zaświadczenie o wdrożeniu wyników opracowania naukowego). Efektem naukowym tego etapu pracy jest jednoautorska publikacja w czasopiśmie z bazy *JCR* [H3]. Dokładny opis celu tego etapu badań oraz uzyskane efekty naukowe opisałam szczegółowo w punkcie 5.2 autoreferatu.

W ramach współpracy z Zakładem Gazowniczym w Szczecinie udostępniono mi także dane o sumarycznym godzinowym zapotrzebowaniu na gaz dla miasta Szczecin w latach 2006 – 2011. Tak duża liczba danych została użyta przeze mnie do opracowania modelu prognostycznego zapotrzebowania na gaz dla miasta lub obciążenia sieci gazowej w zależności od różnych czynników (model uwzględnia czynniki kalendarzowe i pogodowe) oraz opracowania modelu ryzyka i oszacowania ryzyka błędnej prognozy. Prognozowanie zapotrzebowania na gaz dla miasta w zależności od godziny doby, temperatury powietrza, pory roku, typu dnia oraz miesiąca wykonałam z pomocą programu komputerowego Automatyczne Sztuczne Sieci Neuronowe (SSN), będącego modułem programu Statistica. Wyniki prognozowania porównałam z danymi rzeczywistymi i opublikowałam w postaci 3 artykułów naukowych [H2], [H10], [H11]. W punkcie 5.2 autoreferatu szczegółowo opisałam zastosowany model Sztucznej Sieci Neuronowej oraz uzyskane wyniki prognoz i porównań.

4.3. Podsumowanie całości dorobku naukowego

Mój sumaryczny dorobek naukowy, uwzględniający także prace przed uzyskaniem stopnia doktora obejmuje **30** prac, wśród których jest: **1** praca doktorska, **1** rozdział w monografii, **13** prac uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports* oraz **15** prac w czasopiśmie recenzowanych znajdujących się na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Wyniki badań były także prezentowane na **14** konferencjach krajowych lub zagranicznych i publikowane w materiałach konferencyjnych. Szczegółowe zestawienie liczby opublikowanych prac, liczby punktów za publikacje, wartości wskaźnika IF dla wszystkich publikacji oraz w przeliczeniu na autora (po uwzględnieniu mojego udziału procentowego) zestawiałam w tabeli 1. Dane w tabeli zostały podzielone na okres przed uzyskaniem stopnia doktora oraz po uzyskaniu stopnia doktora z wyróżnieniem prac naukowych przedstawianych jako osiągnięcie będące podstawą wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego.

Obliczona na podstawie wykazu czasopism, publikowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z roku wydania publikacji, sumaryczna liczba punktów dla wszystkich prac (przed oraz po doktoracie) wynosi **370**, natomiast liczba punktów przypadająca na autora (po uwzględnieniu procentowego udziału habilitanta) wynosi **274,93**. Analogicznie wyznaczana sumaryczna wartość wskaźnika IF dla wszystkich publikacji wynosi **16,552**, natomiast obliczona na podstawie procentowego udziału habilitanta wynosi **13,616**.

Na podstawie danych bibliograficznych z bazy *Web of Science* (z dnia 23.10.2017 r.):

- liczba cytowań prac: **152**
- liczba cytowań bez autocytowań: **124**
- indeks Hirscha: $h = 6$

Mój dorobek po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje **22** prace, w tym: **11** prac uwzględnionych w bazie *JCR* oraz **11** recenzowanych prac z listy ministerialnej spoza bazy *JCR* i dodatkowo **11** publikacji w materiałach konferencyjnych. Sumaryczna liczba punktów dla tych publikacji wynosi **314**, natomiast liczba punktów przypadająca na autora (po uwzględnieniu mojego udziału procentowego) wynosi **246,43**. Sumaryczny współczynnik IF dla prac przygotowanych po doktoracie wynosi **15,257**, IF przypadający na habilitanta: **12,968**.

Tabela 1. Zestawienie prac naukowych opublikowanych przed oraz po uzyskaniu stopnia doktora

		Liczba prac ogółem	Liczba prac z bazy JCR	Liczba prac spoza bazy JCR	Sumaryczna liczba punktów Liczba pkt/autora	Sumaryczna IF IF/autora
Prace po doktoracie	Prace stanowiące osiągnięcie naukowe	13	5	8	Σpkt = 207 Pkt/autora = 199,85	ΣIF = 11,530 IF/autora = 11,530
	Pozostałe prace	9	6	3	Σ pkt = 107 Pkt/autora = 45,58	Σ IF = 3,727 IF/autora = 1,438
Podsumowanie prac po uzyskaniu stopnia doktora:		22	11	11	Σ pkt = 314 Pkt/autora = 246,43	Σ IF = 15,257 IF/autora = 12,968
Prace przed doktoratem		7	3	4	Σ pkt = 56 Pkt/autora = 28,5	Σ IF = 1,295 IF/autora = 0,648
Podsumowanie prac przed oraz po uzyskaniu stopnia doktora:		29	14	15	Σ pkt = 370 Pkt/autora = 274,93	Σ IF = 16,552 IF/autora = 13,616

5. Opis osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania

Za osiągnięcie naukowe, które wskazuję jako podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego z obszaru dziedziny nauk technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna, w rozumieniu 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 z 2003 roku z późniejszymi zmianami) uważam cykl 13 publikacji pod wspólnym tytułem:

„Teoretyczna i numeryczna analiza przepływu gazu w złożonych systemach inżynierii procesowej”

Na cykl 13 publikacji składa się:

- 1 rozdział w monografii,
- 4 jednoautorskie prace uwzględnione w bazie *Journal Citation Reports (JCR)*,
- 8 prac (w większości jednoautorskich) opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych spoza bazy *JCR*.

W punkcie 5.1 zamieściłam szczegółowy wykaz wszystkich prac przedstawianych jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym. Dla każdej pracy podałam liczbę punktów ministerialnych oraz wartość współczynnika IF z roku publikacji. W przypadku dwóch prac współautorskich procentowo określiłam mój wkład w powstanie pracy oraz zakres prac wykonanych przeze mnie. Oświadczenia współautorów o ich udziale w tych pracach zebrałam w Załączniku 4, natomiast kopie 13 powiązanych tematycznie publikacji [H1 ÷ H13] zawiera Załącznik 6. Kopie 9 prac [D1 ÷ D9] opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, nie związanych tematycznie z postępowaniem habilitacyjnym, zamieściłam w Załączniku 7.

5.1. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust. 2, będące podstawą wniosku

Rozdział w monografii:

[H1] **Szoplik J.:** The gas transportation in a pipeline network. Rozdział w książce “Advances in natural gas technology” edited by Hamid A. Al-Megren, wydawnictwo: InTech, 2012, 339-358; ISBN 978-953-51-0507-7
Mój udział: 100%, MNiSW (2012) = 7

Publikacje w czasopismach uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports (JCR)*:

[H2] **Szoplik J.:** Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks. Energy, 2015, 85, 208-220
Mój udział: 100%, IF₂₀₁₅ = 4.292, MNiSW (2015) = 45

[H3] **Szoplik J.:** Improving the natural gas transporting based on the steady state simulation results. Energy, 2016, 109, 105-116
Mój udział: 100%, IF₂₀₁₆ = 4.520, MNiSW (2016) = 45

[H4] **Szoplik J.:** Changes in gas flow in the pipeline depending on the network foundation in the area. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2017, 43, 1-12
Mój udział: 100%, IF₂₀₁₆ = 2.718 MNiSW (2016) = 30

[H5] **Szoplik J.:** The steady-state simulations for gas flow in a pipeline network. Chemical Engineering Transactions, 2010, 21, 1459-1464
Mój udział: 100%, IF = 0, MNiSW (2010) = 10

Publikacje spoza bazy *Journal Citation Reports (JCR)*:

[H6] **Szoplik J.:** Ilościowa analiza nierównomierności przepływu gazu w sieci. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2010, 1, 2-6.
Mój udział: 100%, MNiSW (2010) = 9

- [H7] **Szoplik J.:** Analiza porównawcza wielkości maksymalnego strumienia gazu przepływającego w przyłączy. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2010, 5, 6-10.
Mój udział: 100%, MNiSW (2010) = 9
- [H8] **Szoplik J.:** Wyniki statycznej symulacji przepływu gazu w sieci niskiego ciśnienia. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2011, 5, 162-165
Mój udział: 100 %, MNiSW (2011) = 9
- [H9] **Szoplik J.:** Analiza zmian przepływu gazu w sieci gazociągów niskiego ciśnienia na podstawie wyników symulacji statycznej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2012, 5, 200-206
Mój udział: 100 %, MNiSW (2012) = 5
- [H10] **Szoplik J.:** Zastosowanie metody sztucznych sieci neuronowych do prognozowania obciążenia sieci rurociągów do transportu gazu ziemnego. *Inż. i Ap. Chem.*, 2013, 52, 6, 572-574.
Mój udział 100%, MNiSW (2013) = 5
- [H11] **Szoplik J., Oszczyk M.:** Analiza ryzyka w prognozowaniu zapotrzebowania na gaz ziemny. *Rynek Energii*, 2015, 3(118), 10-16.
Mój udział: 90% (przygotowanie danych do obliczeń, opracowanie metodyki obliczeń, analiza wyników obliczeń, przygotowanie publikacji), MNiSW (2015) = 11
- [H12] **Szoplik J.:** Plan statystycznej kontroli odbiorczej do oceny jakości usługi polegającej na odczycie liczników gazu – część I – plany jednostopniowe. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2017, 1, 2-5.
Mój udział: 100 %, MNiSW (2016) = 11
- [H13] **Szoplik J., Stelmasińska P., Kosela M., Zieniuk A.:** Analiza wybranych parametrów hydrodynamicznych w gazociągach niskiego ciśnienia w zależności od rodzaju transportowanego paliwa gazowego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2017, 6, 274-279.
Mój udział: 45 %, (autorka koncepcji pracy, udział w obliczeniach i przygotowanie pracy), MNiSW (2016) = 11

5.2. Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku

Podjęta przeze mnie tematyka badań dobrze wpisuje się w Krajowy Program Badań, w którym sformułowano siedem strategicznych i interdyscyplinarnych kierunków prac naukowych i rozwojowych. W ramach kierunku „Nowe technologie w zakresie energetyki” jako główny cel badań wskazano na konieczność wprowadzania zmian i ulepszeń technicznych w strukturze przesyłania, dystrybucji lub magazynowania energii oraz ograniczania zapotrzebowania na paliwa i energię. Powszechnie wiadomo, że energia może być przesyłana w różnej postaci (pierwotnej lub przetworzonej) i na wiele sposobów

(transportem rurociągowym, drogą wodną statkami, transportem samochodowym lub kolejowym). W podjętych badaniach jako przykład złożonego systemu do transportu energii wybrałam sieć gazociągów niskiego ciśnienia do transportu gazu ziemnego wysokometanowego. Sieć gazową niskiego ciśnienia tworzą połączone między sobą rurociągi, gazowa stacja redukcyjna niskiego ciśnienia wyjściowego, za pomocą której zasilana jest sieć oraz przyłącza gazowe, w których gaz pobierany jest z sieci przez odbiorców. W pracy [H1] szczegółowo opisałam budowę sieci gazowej oraz podział sieci ze względu na wybrane kryteria i opisałam zmienność obciążenia sieci gazowej w zależności od typu odbiorców pobierających z sieci gaz oraz temperatury powietrza. W pracy tej zamieściłam także najważniejsze informacje na temat modelowania przepływu gazu w sieci rurociągów. Nadciśnienie strumienia gazu transportowanego siecią gazową niskiego ciśnienia musi zawierać się w zakresie 1700 – 2500 Pa i przyjmuje się, że im niższe jest nadciśnienie gazu w sieci, tym mniejsze są straty gazu spowodowane przenikaniem metanu przez ścianki rurociągów lub wyciekami gazu podczas awarii w sieci. Dodatkowo, utrzymywanie niższego nadciśnienia gazu w rurociągach sieci wpływa na ograniczenie kosztów paliwa zużywanego przez urządzenia wspomagające transport gazu i kosztów przesyłu energii. **Głównym celem podjętych przeze mnie badań było wskazanie potencjalnych możliwości obniżenia nadciśnienia gazu w sieci.** Natomiast realizacja tego celu wymagała opracowania modelu zapotrzebowania na gaz w punktach wyjścia z sieci oraz charakterystyki sieci, uwzględniając zmienność rzeczywistych warunków, w których sieć gazowa pracuje.

Przeprowadzone przeze mnie badania i uzyskane wyniki analiz opublikowane w czasopiśmie naukowym są przykładem praktycznego wykorzystania klasycznych równań bilansu masy, pędu i energii do przewidywania zachowania się złożonego systemu, przedstawiającego rozbudowaną sieć rurociągów w różnych warunkach. Sieć gazowa jest trudnym przypadkiem do opisania matematycznego, ponieważ charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie. Zmienność przepływu gazu w rurociągach sieci jest ściśle związana ze zmiennością zapotrzebowania na gaz przez odbiorców gazu z sieci. Natomiast na zmienność zapotrzebowania na gaz przez odbiorców wpływają między innymi czynniki pogodowe oraz sytuacja gospodarcza. Obydwa czynniki są nieprzewidywalne i często oparte na prognozach obarczonych pewnym ryzykiem. Dlatego też nie wypracowano dotąd uniwersalnych i bezbłędnych metod do modelowania przepływu gazu w złożonych układach sieciowych. Zatem zaproponowana przeze mnie metodyka może być przykładem do stosowania w analizie innych systemów do transportu energii w oparciu o rzeczywiste dane zebrane podczas pracy takiego systemu rurociągowego.

Przeprowadzone przeze mnie badania można podzielić na trzy etapy:

- etap związany z opracowaniem modelu do przewidywania zapotrzebowania na gaz w punktach wyjścia z sieci (w przyłączach sieci). Zaproponowany przeze mnie model umożliwia wyznaczenie szczegółowych danych o zużyciu gazu (strumieni godzinowych) na podstawie globalnych danych o zużyciu gazu (strumieni miesięcznych lub dwumiesięcznych) w zależności od temperatury otoczenia. Ponadto uwzględniając, że rejestrowane przez firmy zewnętrzne, dane o zapotrzebowaniu na gaz przez odbiorców mogą być błędnie zapisane, zaproponowałam zastosowanie planu Statystycznej Kontroli Odbiorczej (SKO) do oceny wiarygodności zapisów wyników o zużyciu gazu.

- etap modelowania przepływu gazu w sieci (wyznaczenie strumieni, prędkości i nadciśnienia gazu) oraz opracowanie charakterystyki sieci w zależności od temperatury powietrza oraz usytuowania gazociągów sieci w terenie. Głównym celem badań było opracowanie przeze mnie zależności między nadciśnieniem strumienia gazu zasilającego sieć od wielkości tego strumienia, co przełożyło się na zmniejszenie nadciśnienia gazu w całej sieci. Dodatkowo opracowałam także zależność między minimalnym nadciśnieniem gazu zasilającego sieć w zależności od wielkości strumienia gazu dla różnych przypadków posadowienia sieci w terenie.

- etap analizy potencjalnych możliwości wykorzystania sieci gazowej do transportu lub magazynowania innych paliw gazowych. Z danych literaturowych wynika, że siecią gazową można w obecności gazu ziemnego przesyłać także wodór, wytworzony w procesie elektrolizy wody z nadwyżek energii elektrycznej lub biometan powstały w procesie uzdatniania biogazu. Dlatego niezbędna jest pełna wiedza o zdolności przesyłowej gazociągów sieci w przypadku transportu paliw gazowych o mniejszej kaloryczności.

W badaniach stosowałam zaawansowane metody i narzędzia inżynierii chemicznej, takie jak: symulator przepływu gazu w sieci GasNet lub sztucznej sieci neuronowej (SSN) w postaci jednokierunkowego perceptronu wielowarstwowego MLP. Podjęta przez mnie tematyka wpisuje się w obszar zainteresowań inżynierii chemicznej w zakresie dużych systemów procesowych. Problemy naukowe, analizowane przeze mnie w cyklu powiązanych tematycznie prac naukowych, które przedstawiam jako osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym pt: „*Teoretyczna i numeryczna analiza przepływu gazu w złożonych systemach inżynierii chemicznej*” dotyczyły następujących zagadnień:

1. Opracowanie modelu do prognozowania zapotrzebowania na gaz ziemny w przyłączy sieci w zależności od temperatury powietrza [H6], [H7], [H12],

2. Opracowanie modelu za pomocą metod sztucznej sieci neuronowej (SSN) do prognozowania zapotrzebowania na gaz dla miasta lub obciążenia sieci gazowej w zależności od wybranych czynników kalendarzowych i pogodowych [H2], [H10],
3. Opracowanie modelu ryzyka błędnej prognozy zapotrzebowania na gaz w mieście na podstawie wyników prognozowanego i rzeczywistego zapotrzebowania na gaz [H11],
4. Opracowanie zależności między nadciśnieniem strumienia gazu zasilającego sieć a wielkością tego strumienia [H1], [H3],
5. Ilościowy opis wpływu wybranych parametrów na dynamikę gazu w sieci [H4], [H5], [H8], [H9], [H13].

Celem **aplikacyjnym** przeprowadzonych przeze mnie badań było natomiast:

1. Zastosowanie wytrenowanego modelu sztucznej sieci neuronowej do opracowania prognozy zapotrzebowania na gaz w mieście dla warunków innych niż te, w których sieć była trenowana i obliczenie ryzyka błędnej prognozy [H2],
2. Zastosowanie w praktyce opracowanej zależności między nadciśnieniem a wielkością strumienia gazu w celu sprawdzenia skuteczności działania [H3] oraz Załącznik 3c.

Analizę zmian wybranych parametrów, charakteryzujących dynamikę sieci gazowej przeprowadziłam na podstawie wyników uzyskanych podczas modelowania przepływu gazu w programie GasNet. Obliczenia hydrauliczne wykonałam dla dwóch przykładowych sieci gazowych niskiego ciśnienia usytuowanych w województwie zachodniopomorskim. Sieci te zostały zapisane w postaci wektorowej na podstawie schematów i map geodezyjnych udostępnionych przez Zakład Gazowniczy w Szczecinie w ramach współpracy naukowej [Załącznik 3b] oraz stażu odbytego w Zakładzie Gazowniczym w Szczecinie w 2011 roku [Załącznik 3a].

Przepływ gazu w rurociągach sieci gazowej charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie, spowodowaną nierównomiernością poboru gazu w przyłączach sieci przez odbiorców komunalnych w cyklu dobowym i sezonowym, zależną głównie od temperatury powietrza. Na podstawie rzeczywistych zapisów z rejestratorów zainstalowanych na stacjach redukcyjnych zasilających sieć, szczegółowo przeanalizowałam zmianę wielkości strumienia gazu wprowadzanego do sieci gazowej i zaobserwowałam wyraźną zależność wielkości strumienia gazu od pory roku. Dlatego też przygotowałam dane meteorologiczne dla danego regionu (pozyskane z serwisów meteorologicznych) i połączyłam je z wynikami rzeczywistego zapotrzebowania na gaz. Takie podejście do szacowania zapotrzebowania na

gaz w przyłączy sieci w zależności od temperatury powietrza i na podstawie rzeczywistych danych o zużyciu gazu w przeszłości nie było dotąd stosowane w badaniach modelowania przepływu gazu w sieciach gazowych. W literaturze branżowej, można znaleźć jedynie równania do oszacowania maksymalnego strumienia gazu w przyłączy sieci na podstawie typu i liczby zainstalowanych u odbiorcy urządzeń zasilanych gazem oraz przyjętych współczynników jednoczesności stosowania gazu. Jednak w ten sposób można wyznaczyć tylko teoretyczny maksymalny pobór gazu w przyłączy sieci. Metodę wyznaczania parametrów modelu do szacowania zapotrzebowania na gaz w przyłączy i analizę zmienności zapotrzebowania na gaz w zależności od temperatury powietrza szczegółowo przedstawiłam w pracach [H6], [H7].

W pracy [H6] analizowałam zmienność sumarycznego zapotrzebowania na gaz przez grupę 130 000 odbiorców komunalnych i wykazałam, że strumień gazu pobieranego z sieci przez grupę odbiorców nie jest stały w czasie i zależy zarówno od struktury odbiorców gazu, jak i czynników meteorologicznych. Na podstawie zmiany miesięcznego względnego wskaźnika sezonowości przedstawiłam o ile procent różni się wielkość średnia miesięczna od średniej rocznej zużycia gazu. Stwierdziłam, że w miesiącach zimowych średnie zapotrzebowanie na gaz jest większe o około 60%, a w miesiącach letnich o około 50% mniejsze względem średniej rocznej. Dodatkowo zapotrzebowanie na gaz przez odbiorców zależy od pory dnia. Na podstawie analizy danych rzeczywistych stwierdziłam, że 21% dobowego zapotrzebowania na gaz przypada na godziny nocne, natomiast pozostałe 79% gazu jest wykorzystywane w dzień. Do szacowania dobowego zapotrzebowania na gaz Q [m^3/doba] przez odbiorcę lub grupę odbiorców pobierających gaz w przyłączy sieci opracowałam dwuparametryczny model w postaci równania liniowego:

$$Q = a \cdot Sd + b \quad (1)$$

gdzie:

$$Sd = (t_b - t_{sr}) \quad (2)$$

jest liczbą stopniodni grzania obliczaną na podstawie średniej temperatury powietrza t_{sr} , wyraz wolny b – przedstawia stałe zużycie gazu, natomiast współczynnik kierunkowy a – przedstawia zmienne zapotrzebowania na gaz, zużywany głównie do ogrzewania mieszkań. Średnią temperaturę powietrza t_{sr} wyznaczałam jako średnią arytmetyczną temperatury maksymalnej i minimalnej dla danego dnia, lub jako średnią ważoną z wagami odpowiednio: 0.21 dla temperatury minimalnej oraz 0.79 dla temperatury maksymalnej. Temperatura bazowa t_b w równaniu (2) jest ilościowym wskaźnikiem, stosowanym do szacowania zapotrzebowania na energię niezbędną do ogrzewania mieszkań do założonej

temperatury bazowej, którą w moich obliczeniach przyjąłem jako $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Parametry (a) oraz (b) równania (1) wyznaczałem na podstawie rzeczywistego zapotrzebowania na gaz rejestrowanego średnio 10 razy na rok oraz maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza dla każdego dnia z tego okresu. Na podstawie modelu (1) można szacować wielkość dobowego zapotrzebowania na gaz w przyłączy dla odbiorcy lub grupy odbiorców. Godzinowe zapotrzebowanie na gaz w przyłączy sieci obliczałem na podstawie danych o procentowym rozkładzie dobowego zużycia gazu w kolejnych godzinach doby. Natomiast w pracy [H7] przedstawiłem porównanie wyników modelowania zapotrzebowania na gaz w przyłączy uzyskanych na podstawie równania (1) dla średniej temperatury powietrza obliczanej jako średnia ważona lub średnia arytmetyczna temperatury maksymalnej i minimalnej danego dnia. Wyniki obliczeń z modelu (1) porównałem z danymi rzeczywistymi o zużyciu gazu w danym okresie rozliczeniowym oraz z wynikami teoretycznego maksymalnego strumienia gazu pobieranego w przyłączy sieci. Stwierdziłem dobrą zgodność rzeczywistych danych o zużyciu gazu i obliczonych z modelu (1) na podstawie średniej ważonej temperatury powietrza. **Osiągnięciem własnym jest zaproponowanie metodyki wyznaczania godzinowego zapotrzebowania na gaz w dowolnym przyłączy sieci gazowej w zależności od średniej temperatury powietrza na podstawie sumarycznego rzeczywistego zużycia gazu w przyłączy i temperatury powietrza w przeszłości (w ten sposób został zrealizowany przeze mnie cel 1. badań).**

Współczynniki równania modelowego (1) do szacowania dobowego zapotrzebowania na gaz w przyłączy sieci wyznaczałem na podstawie danych rzeczywistych, najczęściej zbieranych przez firmy zewnętrzne. Dane o zużyciu gazu przez poszczególnych odbiorców mogą być obarczone zarówno błędami losowymi jak i przypadkowymi. Do oceny jakości wyników przedstawiających zużycie gazu w danym okresie rozliczeniowym i wykrywania błędów przypadkowych (ludzkich) mogą być stosowane metody statystyczne. **W celu zapewnienia jakości zbieranych danych o zużyciu gazu przez odbiorców komunalnych, zaproponowałem i opracowałem przykładowe jednostopniowe plany Statystycznej Kontroli Odbiorczej (SKO) metodą alternatywną dla założonego poziomu jakości w postaci procenta jednostek niezgodnych [H12].** Szczegółowe założenia do planu oraz informacje niezbędne do przygotowania planu zostały przedyskutowane z odpowiednimi jednostkami zakładu gazowniczego. Zaproponowałem i porównałem różne typy planów jednostopniowych, różniące się licznością partii, licznością próbki pobieranej do badania, przyjętym poziomem kontroli oraz akceptowanym poziomem jakości. Można przypuszczać, że zastosowanie wybranego planu SKO przyczyni się w przyszłości do zapewnienia

odpowiedniej jakości odczytów zużycia gazu i zmniejszenia liczby reklamacji od odbiorców oraz ograniczy szacowanie danych przy bieżącym bilansowaniu systemu, a w moim przypadku wyjaśni ewentualne różnice pomiędzy danymi uzyskanymi z modelu (1) i rzeczywistymi.

Natomiast w pracy [H2] zaprezentowałam inną metodę prognozowania zapotrzebowania na gaz, opartą na modelu Sztucznej Sieci Neuronowej (SSN). Zastosowanie tej metody wymaga jednak zastosowania bardzo dużej liczby szczegółowych danych rzeczywistych o zużyciu gazu, które są niezbędne w procesie trenowania sieci neuronowej. Metodę SSN zastosowałam do przygotowania prognozy sumarycznego zapotrzebowania na gaz przez mieszkańców miasta. W tym przypadku zmienność zapotrzebowania na gaz uzależniłam od 4 czynników kalendarzowych oraz 1 czynnika pogodowego. Zastosowałam model w postaci wielowarstwowego perceptronu jednokierunkowego (Multi Layered Perceptron MLP) z jedną warstwą ukrytą. Liczby neuronów w warstwie wejściowej i wyjściowej dla wszystkich projektowanych sieci były stałe i wynosiły odpowiednio 22 (dla warstwy wejściowej) oraz 1 (dla warstwy wyjściowej). Natomiast liczbę neuronów do warstwy ukrytej dobierałam eksperymentalnie. W pracy [H2] przedstawiłam wyniki prognoz uzyskane za pomocą sieci MLP 22-25-1 (25 neuronów w warstwie ukrytej sieci) oraz MLP 22-36-1 (36 neuronów w warstwie ukrytej sieci), trenowanych na zbiorach o liczności odpowiednio 8760 lub 17520 danych o rzeczywistym godzinowym zapotrzebowaniu na gaz oraz czynnikach kalendarzowych i pogodowych. Modele te mogą być z powodzeniem stosowane do opracowywania prognoz zużycia gazu w zależności od temperatury powietrza, pory dnia, dnia tygodnia lub miesiąca oraz pory roku. Jakość uzyskanych prognoz oceniałam na podstawie obliczonych wielkości średniego błędu względnego MAPE, średniego błędu kwadratowego RMSE oraz jego znormalizowanej postaci nRMSE. Wykazałam, że zastosowanie sieci o większej liczbie neuronów (MLP 22-36-1) trenowanej na zbiorze o większej liczności danych ($N = 17520$) pozwala uzyskać prognozy lepszej jakości, niż stosowanie sieci neuronowej o mniejszej liczbie neuronów w warstwie ukrytej (MLP 22-25-1) trenowanej na zbiorze o takiej samej ($N = 17520$) lub mniejszej liczności danych ($N = 8760$). Natomiast celem badań, które opisałam w pracy [H10] było zaprezentowanie innej możliwości zastosowania tego samego modelu sztucznej sieci neuronowej do prognozowania obciążenia sieci gazociągowej. W pracy przedstawiłam metodykę trenowania jednokierunkowego wielowarstwowego modelu MLP sztucznej sieci neuronowej za pomocą zbioru rzeczywistych danych o obciążeniu sieci gazowej w mieście oraz danych kalendarzowych i pogodowych. Najlepszej jakości sieci neuronowe posiadały 22 neurony w warstwie wejściowej, 25 lub 36

neuronów w warstwie ukrytej sieci oraz 1 neuron w warstwie wyjściowej sieci (liczba neuronów w warstwie ukrytej zależała od liczności zbioru danych, stosowanych w procesie uczenia sieci). Opracowane modele sieci neuronowych porównałam na podstawie wielkości obliczonego błędu uczenia i błędu prognozy sieci. W oparciu o uzyskane wyniki obliczeń, prezentowane w pracach [H2] oraz [H10] stwierdziłam, że najmniejszy błąd uczenia charakteryzuje sieć MLP 22-25-1 trenowaną na zbiorze $N = 8760$ danych, natomiast najmniejszy błąd prognozy zapotrzebowania na gaz lub prognozy obciążenia sieci gazowej charakteryzuje model MLP 22-36-1 trenowany na zbiorze 17520 danych wejściowych.

Osiągnięciem naukowym i aplikacyjnym w pracach [H2] i [H10] jest opracowanie modelu prognostycznego w postaci perceptronu jednokierunkowego wielowarstwowego MLP o najlepszej strukturze, który może być z powodzeniem stosowany do opracowywania prognoz zapotrzebowania na gaz [H2] lub szacowania obciążenia gazociągów niskiego ciśnienia w mieście [H10] w zależności od wybranych czynników kalendarzowych i pogodowych (w ten sposób został zrealizowany przeze mnie cel 2. badań).

Przyjmując, że prognoza jest przypuszczeniem o zaistnieniu zdarzenia w przyszłości, oszacowałam prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia polegającego na tym, że błąd względny prognozy zapotrzebowania na gaz dla miasta będzie większy od pewnej założonej wartości progowej (3% lub 9%). W pracy [H11] przedstawiłam wyniki obliczeń ryzyka błędnej prognozy zapotrzebowania na gaz uzyskane na podstawie modelu ryzyka uśrednionego, cząstkowego obliczanego oddzielnie dla każdego z czynników uwzględnianych w modelu prognostycznym MLP 22-25-1 oraz ryzyka skumulowanego. **Osiągnięciem naukowym pracy [H11] jest opracowanie modelu ryzyka skumulowanego, na podstawie którego można oszacować prawdopodobieństwo z jakim błąd prognozy zapotrzebowania na gaz w danym dniu tygodnia i miesiąca oraz o danej godzinie doby, przy danej temperaturze będzie większy od przyjętej progowej wielkości błędu względnego prognozy (w ten sposób został zrealizowany przeze mnie cel 3. badań).** Wykazałam, że spośród pięciu czynników uwzględnianych w modelu prognostycznym (sezon, miesiąc, temperatura, pora dnia, dzień tygodnia) największy wpływ na błąd prognozy ma temperatura i godzina doby. Prawdopodobieństwo uzyskania błędnej prognozy zapotrzebowania na gaz dla miasta w godzinie szczytu porannego (dla progowej wartości błędu 9%) może wynosić nawet $R = 70\%$. Najmniejszy wpływ na wielkość ryzyka błędnej prognozy ma dzień tygodnia $R = 35\%$. Model ryzyka skumulowanego, uwzględniający wpływ wszystkich pięciu czynników na prawdopodobieństwo błędnej prognozy pozwala

analizować zmianę ryzyka w kolejnych godzinach w ciągu roku. Stwierdziłam także, że większe wartości ryzyka odpowiadają miesiącom sezonu wiosennego i zimowego, a najmniejsze miesiącom letnim.

Na podstawie własnego modelu dwuparametrycznego, opracowywanego indywidualnie dla każdego przyłącza sieci, wyznaczałam godzinowe strumienie gazu pobieranego z sieci w zależności od temperatury powietrza oraz godziny doby. W ten sposób mogłam oszacować wielkość godzinowego poboru gazu w każdym punkcie wyjściowym z sieci. Dane takie były mi niezbędne do przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych przepływu gazu w sieci rurociągów niskiego ciśnienia rozprowadzających gaz w mieście, ponieważ stanowiły dane wejściowe do symulacji. Metody symulacyjne mają duże znaczenie w przypadku, gdy nie ma innej możliwości wykonania pomiarów bezpośrednich, na podstawie których można przeprowadzić analizę przepływu w złożonym systemie. Przykłady wykorzystania wyników symulacji do analizy przepływu gazu w istniejących fragmentach sieci gazowych opisałam w pracach [H1], [H3] ÷ [H5], [H8], [H9], [H13]. Obliczenia przeprowadziłam dla dwóch przykładowych sieci gazowych niskiego ciśnienia, usytuowanych w województwie zachodniopomorskim. Sieci te zostały zapisane w postaci wektorowej na podstawie schematów powykonawczych oraz map geodezyjnych, udostępnionych przez Zakład Gazowniczy w Szczecinie w ramach współpracy naukowej [Załącznik 3b] oraz podczas stażu odbytego w 2011 roku w Zakładzie Gazowniczym w Szczecinie [Załącznik 3a]. Budowę oraz charakterystykę, dwóch zastosowanych w badaniach, sieci gazowych opisałam szczegółowo w pracach [H1], [H3] ÷ [H5], [H8], [H9], [H13]. Sieci te różniły się długością, strukturą, materiałem z którego je wykonano oraz liczbą przyłączy, z których odbiorcy pobierają gaz. W sieci gazowej niskiego ciśnienia transport gazu odbywa się pod nadciśnieniem z zakresu od 1700 Pa do 2500 Pa. Utrzymywanie takiego nadciśnienia gazu w rurociągach sieci jest niezbędne do prawidłowej pracy zainstalowanych u odbiorców urządzeń zasilanych gazem. Nadciśnienie gazu zarówno wyższe, jak i niższe od zalecanego spowoduje wyłączenie urządzeń gazowych u odbiorcy. Wszystkie obliczenia symulacyjne wykonałam w programie komercyjnym GasNet, który może być stosowany do obliczeń hydraulicznych sieci gazowych. W programie istnieje możliwość zapisania dowolnej struktury sieci lub dowolnego usytuowania gazociągów w terenie (rozgałęziona lub pierścieniowa, pozioma lub poszczególne węzły w sieci na różnych wysokościach), własnego zdefiniowania poborów gazu w przyłączach. Nie ma natomiast możliwości wyboru równań do obliczania spadku ciśnienia w gazociągach oraz metody rozwiązywania równań modelowych. W wyniku symulacji uzyskuje się rozkłady strumieni i prędkości we wszystkich gazociągach sieci oraz

nadciśnienia w węzłach sieci. Rezultaty obliczeń symulacyjnych mogą być wykorzystane na przykład do analizy pracy sieci i szacowania możliwości jej rozbudowy lub wydolności i zdolności magazynowej, lokalizowania ewentualnych wycieków z sieci oraz zdolności transportowych dla innych form energii.

Zmianę wybranych parametrów dynamicznych charakteryzujących przepływ gazu wysokometanowego w sieci rurociągów niskiego ciśnienia analizowałam w pracach [H1], [H5], [H8], [H9]. Obliczenia hydrauliczne wykonałam dla sieci gazowej niskiego ciśnienia o sumarycznej długości wszystkich gazociągów 4151 m w całości wykonanej z rur polietylenowych PE o średnicach nominalnych od $D_{nom} = 50$ mm do $D_{nom} = 250$ mm. Sieć zasilana była z jednej stacji redukcyjnej, natomiast gaz z sieci pobierano w 108 przyłączach. W pracy [H8] analizowałam wyniki symulacji przepływu gazu w sieci uzyskane dla teoretycznych maksymalnych strumieni gazu pobieranych w przyłączach sieci, wyznaczonych na podstawie równania opartego na liczbie urządzeń gazowych zainstalowanych u odbiorcy oraz współczynnikach jednoczesności stosowania gazu przez odbiorców. W pracy założyłam, że we wszystkich 108 przyłączach sieci odbiorcy pobierają z sieci maksymalną ilość gazu. Dla takich danych wejściowych wykonałam obliczenia symulacyjne dla czterech wielkości nadciśnienia gazu wprowadzanego do sieci (od 2200 do 2500 Pa) i obserwowałam zmianę nadciśnienia gazu we wszystkich gazociągach sieci. Oszacowałam w ten sposób minimalną wielkość nadciśnienia strumienia gazu wprowadzanego do sieci, która wynosi 2300 Pa i porównałam ją z rzeczywistą wartością nadciśnienia gazu dla tej sieci (2400 Pa). Zakładając, że dokładność pomiarów nadciśnienia strumienia gazu podczas pracy sieci wynosi 100 Pa, stwierdziłam bardzo dobrą zgodność wyników modelowania z danymi rzeczywistymi. W pracy analizowałam także zagadnienie wydolności sieci gazowej, zwiększając równomiernie pobory gazu we wszystkich 108 przyłączach sieci. Natomiast w pracy [H5] analizowałam wpływ zmienności poborów gazu w przyłączach sieci na rozkład strumieni oraz prędkości gazu we wszystkich gazociągach sieci oraz nadciśnienia w wybranych węzłach sieci w kolejnych godzinach doby. Obliczenia przeprowadziłam dla danych wejściowych charakterystycznych dla przykładowego dnia zimowego, w których temperatura minimalna wynosiła (-9 °C) a maksymalna (-4 °C). Na podstawie wyników obliczeń zamieszczonych w tej pracy wykazałam, że obciążenie sieci gazowej zależy od godziny doby i od wielkości nadciśnienia gazu wprowadzanego do sieci. Wyraźnie większe strumienie (nawet o około 60%) oraz prędkości gazu i niższe nadciśnienie strumienia są obserwowane w godzinach tak zwanego szczytu porannego, czyli około godziny 6-7 rano w dni robocze oraz około godziny 9-10 w dni wolne od pracy w porównaniu do analogicznych danych charakterystycznych dla

godzin nocnych. Analizę zmian w przepływie gazu w rurociągach sieci w kolejnych godzinach doby wykonaną na podstawie wyników modelowania przepływu przedstawiłam w pracy [H1]. Na podstawie wyników uzyskanych podczas 96 obliczeń symulacyjnych dla czterech przykładowych dni różniących się średnią temperaturą powietrza (-16, -4, +8, +18 °C) w kolejnych 24 godzinach doby dobierałam wielkość minimalnego nadciśnienia gazu zasilającego sieć, przy którym nadciśnienie we wszystkich węzłach było większe niż minimalne dopuszczalne w sieci niskiego ciśnienia ($p_{min} = 1700$ Pa). Uzyskane wyniki obliczeń opracowałam matematycznie w postaci zależności minimalnego nadciśnienia gazu zasilającego sieć p_{z1} [Pa] od wielkości tego strumienia Q_{we} [m³/h], która umożliwia oszacowanie najniższego dopuszczalnego nadciśnienia p_{z1} [Pa] gazu zasilającego sieć dla dowolnej wielkości wejściowego strumienia Q_{we} [m³/h] gazu i może być wykorzystana do sterowania nadciśnieniem w automatycznych systemach instalowanych na stacjach zasilających.

$$p_{z1} = 5 \cdot 10^{-4} Q_{we}^2 + 8.23 \cdot 10^{-2} Q_{we} + 1703 \quad (3)$$

Natomiast w pracy [H9] na podstawie wyników modelowania przepływu gazu w sieci uzyskanych dla czterech przykładowych dni różniących się wielkością wskaźnika stopniodni grzania Sd oraz różnych godzin doby opracowałam zależność maksymalnego strumienia gazu Q_{we} [m³/h], niezbędnego do zaspokojenia potrzeb odbiorców komunalnych oraz minimalnego nadciśnienia strumienia gazu p_{z1} [Pa] wprowadzanego do sieci w zależności od wielkości obliczonego wskaźnika $Sd = (18 - t_{sr})$:

$$Q_{we} = 11.621 \cdot Sd + 54.498 \quad (4)$$

$$p_{z1} = 4.099 \cdot Sd + 1700 \quad (5)$$

Równania (4) oraz (5) mogą być wykorzystywane do oszacowania strumienia lub nadciśnienia strumienia gazu wprowadzanego do sieci na podstawie wskaźnika Sd zależnego od średniej temperatury powietrza. Dane takie mogą być przydatne w przypadku ręcznej regulacji nastaw reduktorów ciśnienia zainstalowanych na stacji zasilającej. Na podstawie uzyskanych wyników badań oszacowałam także ewentualne oszczędności wynikające z utrzymywania w sieci możliwie niskiego nadciśnienia gazu przez cały rok, które mogą wynosić nawet około 10 000 m³ gazu/rok (co oznacza, że o tyle mniej gazu można wprowadzać do sieci każdego roku). Autorzy wielu prac wskazują na liczne korzyści wynikające z utrzymywania możliwie najniższego nadciśnienia gazu w sieci, takie jak: mniejsze straty gazu w wyniku nieszczelności lub ewentualnej awarii sieci oraz w wyniku przenikania metanu przez ścianki gazociągu. **Ilościową analizę zysku w wyniku utrzymywania w sieci niższego nadciśnienia gazu, przedstawiłam w pracy [H9].**

Celem badań, które opisałam w pracy [H4] była analiza porównawcza podstawowych parametrów charakteryzujących dynamikę przepływu gazu w rurociągach sieci w zależności od sposobu usytuowania rurociągów sieci w terenie. Dla poziomych sieci, w miarę oddalania się węzłów sieci od stacji zasilającej, nadciśnienie gazu zmniejsza się. Natomiast w sieci, w której niektóre węzły sieci usytuowane są powyżej stacji zasilającej lub stacja redukcyjna znajduje się wyżej niż niektóre węzły sieci może okazać się, że pomimo wprowadzania do sieci strumienia gazu o nadciśnieniu z zakresu 1700 – 2500 Pa w pewnych fragmentach sieci, nadciśnienie może przekroczyć dopuszczalną maksymalną wielkość nadciśnienia. Dlatego też na podstawie obliczeń symulacyjnych, które wykonałam w programie GasNet, doświadczalnie dobrałam wielkość minimalnego oraz maksymalnego nadciśnienia strumienia gazu zasilającego sieć gazociągów niskiego ciśnienia, w zależności od posadowienia rurociągów w sieci. Wykonałam obliczenia dla pięciu przypadków posadowienia sieci: jeden przypadek poziomo usytuowanej sieci (różnica wysokości $\Delta H = 0$) oraz dwa przypadki, gdy stacja zasilająca sieć usytuowana była niżej niż pozostała część sieci (różnica wysokości $\Delta H < 0$) oraz dwa przykłady sieci, w której stacja redukcyjna była usytuowana wyżej w stosunku do pozostałej części sieci (różnica wysokości $\Delta H > 0$). Dla każdego przypadku indywidualnie doбираłam maksymalne oraz minimalne dopuszczalne nadciśnienie strumienia gazu zasilającego sieć w zależności od obciążenia sieci, czyli sumarycznego zapotrzebowania na gaz przez odbiorców. W sumie wykonałam 35 serii obliczeń symulacyjnych dla pięciu przypadków posadowienia sieci w terenie oraz siedmiu temperatur powietrza z zakresu (-13; +35 °C), a uzyskane rezultaty obliczeń opracowałam matematycznie i stwierdziłam, że w przypadku różnicy wysokości $\Delta H < 0$, maksymalne nadciśnienie gazu zasilającego sieć musi być mniejsze w porównaniu z wartością nadciśnienia gazu wyznaczoną dla analogicznej sieci, jednak usytuowanej poziomo ($\Delta H = 0$), lub gdy stacja zasilająca jest usytuowana powyżej pozostałych węzłów sieci ($\Delta H > 0$). Na podstawie analizy wyników rozkładu nadciśnienia gazu w sieci stwierdziłam, że uwzględnienie w obliczeniach różnicy w wysokościach usytuowania poszczególnych jej rurociągów ma istotny wpływ na prawidłową pracę sieci i bezpieczny transport gazu. Dodatkowo wykazałam, że zastosowanie układu dynamicznego dostosowywania nadciśnienia do wielkości strumienia gazu zasilającego sieć, lub odpowiednie usytuowanie stacji zasilającej względem pozostałej części sieci gazowej pozwala zmniejszyć ilość gazu wprowadzanego do sieci i może być wykorzystane do obniżenia kosztów transportu gazu.

Na podstawie wyników symulacji przepływu gazu w sieci uzyskanych dla różnych warunków początkowych opracowywałam charakterystyki sieci, przedstawiające

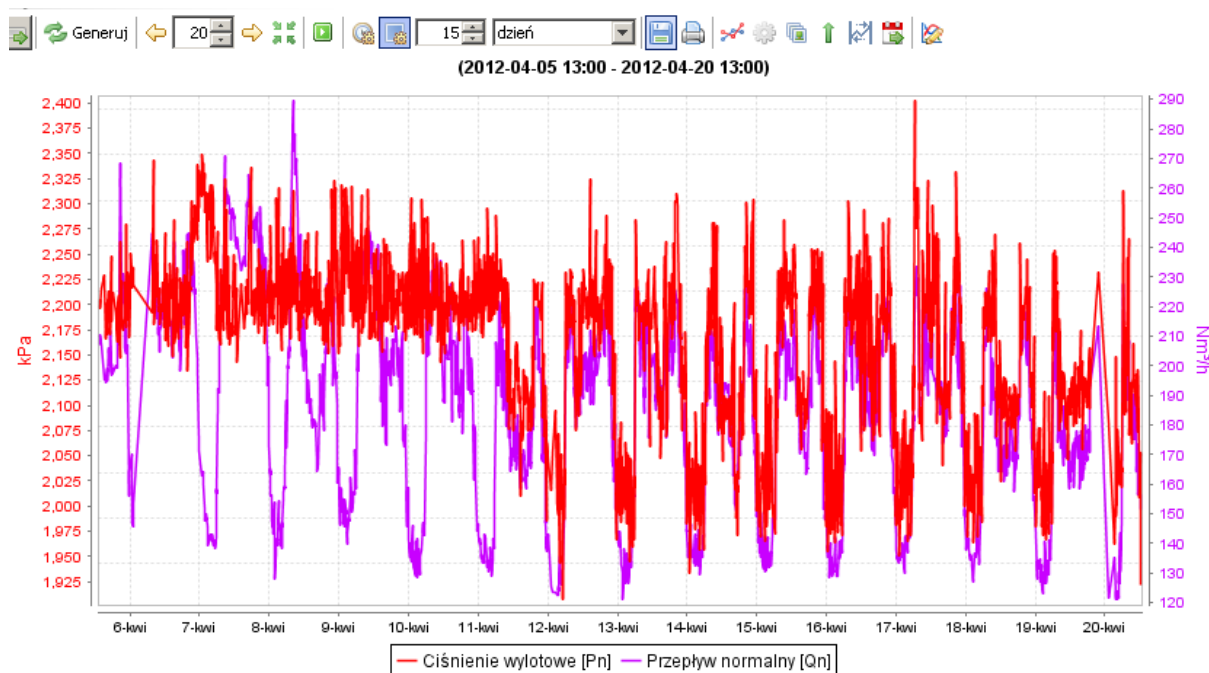
rozkłady strumieni, prędkości oraz nadciśnienia gazu w sieci [H5, H8] i wyznaczyłam minimalne nadciśnienie strumienia gazu wprowadzanego do sieci. Wyniki modelowania opisałam ilościowo w pracach [H1, H9]. Na podstawie charakterystyki sieci analizowałam także wpływ posadowienia sieci w terenie na rozkład nadciśnienia gazu w rurociągach [H4] i stwierdziłam, że w przypadku sieci, gdy różnica wysokości $\Delta H < 0$ węzły najbardziej oddalone od stacji zasilającej są szczególnie narażone na przekroczenie maksymalnego nadciśnienia gazu, natomiast dla sieci o $\Delta H > 0$ przewyższenie nadciśnienia maksymalnego może pojawić się w przyłączach w pobliżu stacji zasilającej. Opracowałam równania do oszacowania maksymalnego oraz minimalnego nadciśnienia gazu zasilającego sieć w zależności od wielkości strumienia gazu przepływającego przez stację redukcyjną oraz różnic wysokości między stacją zasilającą i najbardziej oddalonym od niej węzłem (w ten sposób zrealizowałam cel 5. badań).

Rezultaty obliczeń wykonanych dla sieci opisanej w pracach [H1], [H5], [H8], [H9] były podstawą do rozszerzenia badań na inny przykład sieci. W tym celu do obliczeń wybrałam sieć znacznie dłuższą w porównaniu do poprzedniej (o sumarycznej długości rurociągów 14629 m i średnicach nominalnych gazociągów od $D_{\text{nom}} = 32$ mm do $D_{\text{nom}} = 200$ mm), która w 93% wykonana jest ze stali. Siecią transportowany jest gaz wysokometanowy do grupy 1020 odbiorców komunalnych, pobierających gaz w 354 przyłączach. Ten etap badań realizowałam na podstawie kolejnego porozumienia z Zakładem Gazowniczym w Szczecinie oraz udziału w projekcie: „Czas na staż. Współpraca Nauki i Biznesu”. Podczas trzymiesięcznego stażu (w Załączniku 3a zamieściłam zaświadczenie o odbyciu stażu) zebrałam i opracowałam dane, udostępnione mi przez Zakład Gazowniczy w Szczecinie. Przygotowałam schemat sieci gazowej oraz na podstawie danych o okresowych poborach gazu wyznaczyłam współczynniki do 354 modeli do szacowania godzinowego zapotrzebowania na gaz w każdym z 354 przyłączy sieci. Głównym celem tych badań było opracowanie zależności pomiędzy minimalnym nadciśnieniem strumienia gazu zasilającego sieć oraz wielkością tego strumienia, który zależy od temperatury powietrza oraz pory dnia. Na podstawie danych rzeczywistych, udostępnionych mi przez oddział w Szczecinie w 2011 roku wykonałam obliczenia symulacyjne i uzyskałam rozkłady strumieni, nadciśnienia oraz prędkości gazu we wszystkich rurociągach sieci niskiego ciśnienia w miejscowości Płoty (woj. zachodniopomorskie) dla różnych wielkości poborów gazu w przyłączach sieci. W sumie wykonałam 21 serii obliczeń symulacyjnych przepływu gazu w sieci dla różnych wielkości strumieni gazu pobieranego w przyłączach sieci przez odbiorców (dla temperatur

powietrza z zakresu od (-17) do (+25) °C oraz różnych godzin doby). Podczas symulacji eksperymentalnie dobierałam minimalną wielkość nadciśnienia gazu p_{z1} [Pa] wprowadzanego do sieci w zależności od obciążenia sieci Q_{we} [m³/h]. **Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń opracowałam zależność między nadciśnieniem p_{z1} [Pa] i strumieniem Q_{we} [m³/h] gazu zasilającego sieć, której skuteczność została dodatkowo sprawdzona w warunkach rzeczywistych (w ten sposób zrealizowałam cel 4. badań):**

$$p_{z1} = 0.006Q_{we}^2 - 0.313Q_{we} + 1699 \quad (6)$$

Opracowane matematycznie wyniki badań przekazałam w postaci sprawozdania do Zakładu Gazowniczego w Szczecinie w 2012 roku. Zaproponowana przeze mnie zależność została wprowadzona do urządzenia zainstalowanego na stacji redukcyjnej zasilającej analizowaną sieć gazową niskiego ciśnienia i sterującego nadciśnieniem. Od kwietnia 2012 roku stacja ta pracuje w oparciu o zaproponowany przeze mnie algorytm sterujący. Potwierdzeniem zastosowania wyników badań w praktyce jest zaświadczenie wystawione przez Zakład Gazowniczy w Szczecinie [zaświadczenie w Załączniku 3c]. Szczegółowe wyniki badań tego etapu pracy opisałam w pracy [H3]. **Osiągnięciem naukowym tej pracy jest opracowanie metodyki przygotowania algorytmu do sterowania ciśnieniem strumienia gazu w zależności od wielkości tego strumienia, natomiast osiągnięciem aplikacyjnym jest dostosowanie nadciśnienia strumienia do jego wielkości i zmniejszenie nadciśnienia gazu w sieci.** Algorytm realizuje dynamiczną zmianę ciśnienia, dzięki czemu w sieci utrzymywane jest ciśnienie niższe niż było stosowane wcześniej. Na rysunku 1 został przedstawiony zrzut ekranu z programu rejestrującego przepływ gazu przez stację zasilającą sieć, podczas wprowadzania systemu sterującego ciśnieniem wylotowym ze stacji redukcyjnej. Wyraźnie widać różnice w przebiegu krzywej nadciśnienia (czerwona linia) strumienia przed dniem wprowadzenia sterowania oraz po uruchomieniu układu sterującego na stacji redukcyjnej zasilającej sieć gazową. Po wprowadzeniu systemu sterowania ciśnieniem, wielkość nadciśnienia gazu zasilającego sieć zależy od wielkości przepływającego strumienia gazu. Ze wzrostem strumienia gazu nadciśnienie zwiększa się automatycznie. Dzięki temu nadciśnienie gazu w sieci przez cały rok jest utrzymywane na możliwie niskim poziomie, ale wystarczającym do prawidłowej pracy sieci i bezpiecznego transportu gazu.



Rys. 1. Krzywe przebiegu zmiany nadciśnienia oraz strumienia gazu opuszczającego reduktor stacji redukcyjnej niskiego ciśnienia wylotowego w okresie 5.04. – 20.04.2012 r.

Siecią gazową najczęściej transportowany jest gaz ziemny wysokometanowy, którego głównym składnikiem jest metan. Analizowane w pracach [H1] ÷ [H12] wyniki obliczeń zostały uzyskane dla parametrów gazu wysokometanowego. Jednak rosnące zainteresowanie wprowadzaniem do sieci gazowej innych rodzajów gazu (biometanu lub wodoru), skłoniły mnie do sprawdzenia możliwości technicznych sieci do transportu mieszanin gazu wysokometanowego i biometanu lub wodoru. Powstała w ten sposób mieszanina gazu charakteryzuje się mniejszą wartością ciepła spalania, co skutkuje transportem większego strumienia gazu. W pracy [H13] porównałam wyniki obliczeń parametrów charakteryzujących przepływ gazu wysokometanowego (ciepło spalania $H_s = 41,306 \text{ MJ/m}^3$), mieszaniny gazu i biometanu o obniżonej wartości ciepła spalania (ciepło spalania $H_s = 34,0 \text{ MJ/m}^3$) oraz regazyfikowanego gazu LNG, który charakteryzuje się większym ciepłem spalania ($H_s = 45,424 \text{ MJ/m}^3$) niż gaz wysokometanowy. Na podstawie wyników modelowania przepływu gazu uzyskanych dla dwóch przykładowych dni różniących się temperaturą powietrza (dzień typowo letni oraz dzień typowo zimowy) stwierdziłam, że przed podjęciem decyzji o wprowadzaniu do sieci innych paliw gazowych, które będą wpływały na zmniejszenie kaloryczności transportowanego gazu, należy wykonać obliczenia symulacyjne w celu określenia możliwości technicznych sieci do transportu nowych mieszanin gazowych. Obniżenie wartości ciepła spalania mieszaniny gazu skutkuje większym spadkiem ciśnienia gazu w sieci, co wymusza zastosowanie większego nadciśnienia strumienia gazu zasilającego sieć, które w okresie dużego zapotrzebowania na gaz (okres zimowy) musi być wyższe niż

maksymalne dopuszczalne w sieci niskiego ciśnienia i wynoszące 2500 Pa. Ryzyko przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej wartości nadciśnienia strumienia gazu zasilającego sieć jest większe w przypadku większego zapotrzebowania na gaz, czyli w sezonie zimowym, o czym świadczą wyniki badań opisane przeze mnie w pracy [H13]. **Na podstawie charakterystyki sieci gazowej przygotowanej dla dwóch różnych wielkości obciążenia sieci gazowej eksperymentalnie dobrałam minimalną wielkość nadciśnienia strumienia gazu wprowadzanego do sieci w zależności od rodzaju paliwa gazowego oraz obciążenia sieci. Stwierdziłam, że siecią gazową, którą zaprojektowano do transportu gazu wysokometanowego, w sezonie zimowym nie można przesyłać mieszaniny gazu ziemnego i biometanu o minimalnej wielkości ciepła spalania (w ten sposób realizowany był 5. cel badań).** Dlatego też przed podjęciem decyzji o wprowadzaniu do sieci innych paliw gazowych ważne jest sprawdzenie możliwości technicznych sieci i określenie minimalnej jakości gazu po dodaniu do gazu ziemnego biometanu lub wodoru.

Tematyka wszystkich przygotowanych przeze mnie prac naukowych, przedstawianych w postępowaniu habilitacyjnym, jako osiągnięcie naukowe, skoncentrowana jest na zagadnieniach usprawnienia transportu gazu siecią oraz ograniczeniu kosztów przesyłu gazu w istniejących sieciach gazowych niskiego ciśnienia. Obydwa wskazane zagadnienia można zrealizować poprzez utrzymywanie możliwie niskiego nadciśnienia gazu w sieci. Dlatego też oszacowałam minimalne nadciśnienia strumienia gazu wprowadzanego do sieci w zależności od obciążenia sieci, średniej temperatury powietrza, posadowienia gazociągów sieci w terenie oraz wartości ciepła spalania gazu wysokometanowego lub mieszaniny gazu ziemnego i innych paliw gazowych. Obliczenia symulacyjne wykonałam w programie GasNet dla dwóch przykładowych rzeczywistych sieci gazowych niskiego ciśnienia, różniących się długością, strukturą, materiałem rurociągów, liczbą przyłączy, z których pobierany był gaz. **W sumie wykonałam 153 serie obliczeń symulacyjnych dla 2 przykładów sieci gazowych oraz opracowałam 462 zestawy parametrów modelu (1)** do wyznaczania zapotrzebowania na gaz w przyłączach sieci w funkcji średniej temperatury powietrza. Na podstawie wyników obliczeń symulacyjnych oraz analiz, wykonanych w oparciu o rzeczywiste dane oraz dla istniejących dwóch sieci gazowych niskiego ciśnienia za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe i aplikacyjne uważam:

1. Opracowanie dwuparametrycznego modelu [H3], [H7] do wyznaczania godzinowych strumieni gazu pobieranych z sieci gazowych na podstawie danych rzeczywistych o okresowym zużyciu gazu. Model umożliwia oszacowanie godzinowego zapotrzebowania na

gaz przez grupę odbiorców skupionych wokół jednego przyłącza w zależności od temperatury powietrza. Model stosowany był we wszystkich badaniach do wyznaczania danych wejściowych do symulacji przepływu gazu w sieci. Strumienie gazu wyznaczone z modelu weryfikowałam za pomocą danych rzeczywistych i stwierdziłam dobrą zgodność wyników z modelem i danych rzeczywistych. Model w zaproponowanej postaci (oparty na średniej ważonej temperaturze powietrza) nie ma odpowiednika w literaturze.

2. Opracowanie modelu sztucznej sieci neuronowej SSN [H2] w postaci perceptronu wielowarstwowego MLP do prognozowania godzinowego zapotrzebowania na gaz dla miasta. W modelu uwzględniono pięć czynników, które na podstawie analizy wyników mają wpływ na wielkość zapotrzebowania na gaz przez dużą grupę odbiorców komunalnych. Wytrenowana sieć może być z powodzeniem stosowana do przygotowywania prognoz dla dowolnej temperatury powietrza, dnia tygodnia i godziny doby oraz miesiąca i sezonu.

3. Opracowanie modelu ryzyka skumulowanego [H11] błędnej prognozy zapotrzebowania na gaz, wykonanej metodą SSN. Model umożliwi oszacowanie prawdopodobieństwa uzyskania prognozy obciążonej pewną założoną wielkością błędu.

4. Opracowanie zależności pomiędzy nadciśnieniem a wielkością strumienia gazu wprowadzanego do sieci gazowej na podstawie wyników symulacji przepływu w oparciu o rzeczywiste dane o zużyciu gazu przez odbiorców [H3]. Skuteczność działania zaproponowanego przeze mnie algorytmu została potwierdzona po zainstalowaniu jej na stacji redukcyjnej zasilającej sieć gazową niskiego ciśnienia w jednym z małych miast województwa zachodniopomorskiego. Zaproponowany i wdrożony algorytm (Załącznik 3c) nie ma odpowiednika w literaturze naukowej oraz technicznej. Potwierdzenie skuteczności działania algorytmu sterującego nadciśnieniem przedstawiono na rysunku 1.

5. Ilościowy opis i analiza najważniejszych parametrów dynamicznych, charakteryzujących transport gazu siecią rurociągową na podstawie wyników symulacji przepływu w dwóch przykładowych sieciach gazowych różniących się długością oraz materiałem rurociągów, wykonane dla rzeczywistych danych o poborach gazu z sieci. Analizowano wpływ zmiennego zapotrzebowania na gaz przez odbiorców [H1], [H5], [H8], [H9], usytuowania sieci w terenie [H4] lub składu przesyłanego gazu [H13] na pracę sieci niskiego ciśnienia. W literaturze naukowej można znaleźć jedynie niewiele prac, w których analizowano wyniki modelowania przepływu w złożonych sieciach gazowych niskiego ciśnienia, głównie z powodu złożonej

struktury sieci gazowej oraz trudnych do pozyskania lub oszacowania danych wejściowych w postaci wielkości strumieni gazu pobieranego przez odbiorców w przyłączach sieci.

6. Charakterystyka działalności dydaktycznej

W latach 2004 – 2017, pracując na stanowisku asystenta oraz adiunkta **prowadziłam zajęcia dydaktyczne** dla studentów pierwszego oraz drugiego stopnia studiów stacjonarnych oraz niestacjonarnych kierunku: Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Ochrona Środowiska, Towaroznawstwo, Chemia. W tym okresie w sumie wykonałam **5467** godzin zajęć:

- **576** godzin wykładów z przedmiotów takich jak: inżynieria jakości, statystyczna kontrola jakości, sieci gazowe przesyłowe i rozdzielcze, transport i dystrybucja gazu ziemnego, statystyka i modelowanie w naukach o środowisku, kompleksowe zarządzanie jakością, quality engineering,
- **1206** godzin ćwiczeń audytoryjnych z przedmiotów takich jak: inżynieria chemiczna, inżynieria jakości, statystyczna kontrola jakości, statystyczna kontrola procesów, transport i dystrybucja gazu ziemnego, sieci gazowe przesyłowe i rozdzielcze, kompleksowe zarządzanie jakością, urządzenia technologiczne i aparatura badawcza w biotechnologii, quality engineering,
- **2696** godzin ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotów takich jak: inżynieria chemiczna, procesy mechaniczne i urządzenia, procesy dynamiczne i aparaty, procesy dyfuzyjne i aparaty,
- **425** godzin projektów z przedmiotów takich jak: procesy dyfuzyjne i aparaty, procesy mechaniczne i urządzenia, bioprocessy i aparaty, sieci gazowe przesyłowe i rozdzielcze.
- **564** godzin związanych z pracami dyplomowymi (laboratorium dyplomowe, laboratorium prac przejściowych, projekt inżynierski, seminarium dyplomowe, praca inżynierska oraz praca dyplomowa).

Opracowałam treści programowe do 7 przedmiotów w języku polskim oraz do **2 przedmiotów** w języku angielskim. Przygotowane zajęcia prowadzę samodzielnie. W tabeli 2 zestawiałam przedmioty, do których opracowałam treści programowe oraz zapisałam formy zajęć i liczbę godzin w semestrze oraz kierunek studiów.

Tabela 2. Zestawienie przedmiotów, do których opracowałam sylabusy

Lp	Przedmiot	Forma zajęć i liczba godzin w semestrze	Kierunek, poziom
1	inżynieria jakości	Wykład (15 h), ćwiczenia (15 h)	Inżynieria Chemiczna i Procesowa, S1
2	statystyczna kontrola procesów	Ćwiczenia (15 h)	Towaroznawstwo, S1
3	statystyczna kontrola jakości	Wykład (15 h), ćwiczenia (15 h)	Inżynieria Chemiczna i Procesowa, S1
4	sieci gazowe przesyłowe i rozdzielcze	Wykład (30 h), ćwiczenia (15 h), projekt (15 h)	Inżynieria Chemiczna i Procesowa, S2, Inżynieria procesów ekoenergetyki
5	transport i dystrybucja gazu ziemnego	Wykład (30 h), laboratorium (15 h)	Inżynieria Chemiczna i Procesowa, S2, Inżynieria przeróbki ropy naftowej i gazu ziemnego
6	statystyka i modelowanie w naukach o środowisku	Wykład (15 h), laboratorium (15 h)	Ochrona Środowiska, S2, Analityka w ochronie środowiska
7	kompleksowe zarządzanie jakością	Wykład (15 h), ćwiczenia (15 h), laboratorium (15 h)	Inżynieria Chemiczna i Procesowa, S2, Inżynieria procesów wytwarzania olefin
8	Quality Engineering	Wykład (15 h), Ćwiczenia (30 h)	Zajęcia w języku angielskim dla studentów z programu ERASMUS+
9	Transport and Distribution of Natural Gas	Wykład (15 h), ćwiczenia (15 h), laboratorium (15 h)	

Po uzyskaniu stopnia doktora **uruchomiłam 5 stanowisk pomiarowych i opracowałam 5 instrukcji** w języku polskim **oraz 3 instrukcje** w języku angielskim do ćwiczeń laboratoryjnych:

- Pomiar współczynnika wnikania masy w układzie ciecz – ciało stałe,
- Pomiar współczynnika wnikania masy w kolumnie nawilżającej,
- Badanie czasu mieszania w zbiorniku z mieszadłem,
- Badanie dynamiki przepływu płynu w sieci,
- Badanie hydrodynamiki w kolumnie air-lift,
- Fluidization,
- Mixing time in an agitated vessel,
- Mass transfer process in mechanically agitated solid-liquid system.

Wszystkie ćwiczenia laboratoryjne prowadzę samodzielnie dla studentów studiów S1 kierunku Inżynieria Chemiczna i Procesowa oraz Chemia lub studentów z programu ERASMUS+.

W latach 2005 – 2017 sprawowałam **opiekę nad przygotowaniem 40 prac dyplomowych**, w tym:

- 24 prac magisterskich na kierunku: Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Ochrona Środowiska,
- 16 prac inżynierskich na kierunku: Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Ochrona Środowiska, Towaroznawstwo, oraz
- przygotowałam **34 recenzje prac dyplomowych** magisterskich lub inżynierskich,
- przewodniczyłam **27 komisjom egzaminów dyplomowych** magisterskich lub inżynierskich.

Od 2016 roku **jestem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej** mgr inż. Pauliny Stelmasińskiej (roboczy tytuł pracy: Modelowanie ryzyka błędnej prognozy zapotrzebowania na różne surowce energetyczne).

Ponadto **opiekowałam się 2 studentkami odbywającymi praktyki studenckie** w Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych w 2014 r. (4 tygodnie) oraz w 2016 r. (2 tygodnie).

7. Charakterystyka działalności organizacyjnej

Od początku pracy zawodowej chętnie biorę czynny udział w pracach różnych komisji wydziałowych lub uczelnianych. Byłam i jestem między innymi:

- Członkiem Rady Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej (2009 – 2020),
- Członkiem Rady Instytutu Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska (2012 – 2016),
- Członkiem Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia (2009 – 2012), (2016 – 2020),
- Pełnomocnikiem Dziekana ds. Jakości Kształcenia, Przewodniczącą Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia, członkiem Uczelnianej Komisji ds. Jakości Kształcenia (2011 – 2012),
- Członkiem zespołu przygotowującego raport samooceny dla PKA przy akredytacji instytucjonalnej WTiCh (2012)
- Pełnomocnikiem Dziekana ds. Ankietyzacji (2016 – 2020),
- Członkiem Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej ds. Studentów (2016/2017, 2017/2018),
- Członkiem zespołu przygotowującego raport samooceny dla PKA przy akredytacji kierunkowej (kierunek Chemia, 2017),
- elektorem w wyborach w 2016 r dziekana wydziału WTiCh, wydziałowym delegatem w wyborach w 2016 r elektorów do wyboru Rektora ZUT w Szczecinie

8. Charakterystyka działalności popularyzatorskiej

W roku 2017 brałam czynny udział w Festiwalu Nauki w Pyrzycach, gdzie 26 maja 2017 r. wygłosiłam wykład z prezentacją pt: *Skąd się bierze w naszych domach gaz?* dla uczniów szkół gimnazjalnych. Uczestniczyłam w akcji promocyjnej macierzystego wydziału. Prowadziłam dla uczniów szkół średnich ze Szczecina i okolic między innymi zajęcia laboratoryjne na temat: rozpraszania gazu w cieczy w aparatach kolumnowych oraz badania dynamiki przepływu gazu w sieci laboratoryjnej wydziału.

Tolante Seplek

26.10.2017r.