

Autoreferat

1. *Imię i Nazwisko:*

Jarosław Marek Nęcki.

2. *Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.*

Stopień naukowy **Magister Inżynier** ze specjalnością Podstawowych Problemów Techniki uzyskany na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w roku 1992. Tytuł pracy: „Wykonanie i testy próbnika atmosferycznego dwutlenku węgla do pomiarów izotopowych”.

Stopień naukowy **Doktor Nauk Fizycznych** w dyscyplinie Fizyka, specjalność Fizyka Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, 1998, tytuł pracy: „Ocena emisji gazów cieplarnianych w skali lokalnej i kontynentalnej w oparciu o dane ze stacji pomiarowej na Kasprowym Wierchu”.

3. *Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.*

1997 – 1998 **Instytut Fizyki Jądrowej PAN**, Kraków,
stanowisko: 1997 – specjalista, 1998 – starszy specjalista,

1998 – obecnie **Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie**, stanowisko adiunkt.

4. *Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie,*

w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Osiągnięciem o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) zgłaszanym do nadania stopnia doktora habilitowanego jest monografia naukowa :

Jarosław Nęcki, „Szacowanie emisji metanu na terenie województwa śląskiego przy użyciu analizatorów mobilnych” , Wydawnictwa AGH, 2024, str. 1 – 274, ISBN 978-83-67427-72-2.

Poniżej znajduje się opis monografii wraz z podkreśleniem mojego indywidualnego wkładu w rozwój badań emisji metanu. Wskazany został także mój dorobek z okresu kariery zawodowej związany z tematyką monografii, przytoczony zgodnie z wyszczególnieniem znajdującym się w repozytorium publikacji naukowych pracowników Akademii Górniczo-Hutniczej (<https://bpp.agh.edu.pl/autor/necki-jaroslaw-03656>).

Wprowadzenie:

Metan jest bardzo istotnym składnikiem atmosfery Ziemi. Jego średnie stężenie w powietrzu to zaledwie 2 ppm, jednakże ze względu na budowę cząsteczki CH₄ wysokoenergetyczna część spektrum emisji podczerwieni naszej planety jest wydajnie pochłaniana przez ten gaz. Zatem jego potencjał cieplarniany w odniesieniu do okresu 20 lat jest około 80-krotnie wyższy niż dla dwutlenku węgla. Metan jest relatywnie reaktywnym, krótkotrwałym składnikiem atmosfery, wobec czego ograniczenie antropogenicznej emisji tego gazu otrzymało priorytet w trakcie negocjacji międzyrządowych na konferencji ONZ w sprawie zmian klimatu (COP26) odbywających się w Glasgow w 2021 roku. W przypadku tego gazu obniżenie emisji będzie znacznie szybciej odzwierciedlone w zwolnieniu tempa wzrostu atmosferycznego stężenia CH₄ niż w przypadku działań związanych z ograniczeniem emisji CO₂. Podjęte na konferencji COP26 decyzje wiążą się ze zmianami w zakresie technik wydobywania i dystrybucji gazu ziemnego, wydobywania węgla, gospodarki odpadami i technologii rolnych. W każdym z tych obszarów należy dokonać inwentaryzacji bieżącej emisji metanu i doprowadzić do jej obniżenia. Wymaga to wdrożenia technik pomiaru stężenia CH₄ i określania ilości metanu emitowanego do atmosfery.

W latach 2020-2023 brałem udział w negocjacjach tzw. dyrektywy metanowej UE jako ekspert właśnie w zakresie szacowania emisji metanu do atmosfery. W trakcie współpracy z politykami, prawnikami i organizacjami pozarządowymi można było zaobserwować brak

materiałów informacyjnych zrozumiałych dla osób bez wykształcenia technicznego dotyczących metodyki pomiaru stężenia metanu i wyznaczenia emisji CH₄. Środowisko naukowe niezwiązane z wykonywaniem pomiarów stężenia metanu w powietrzu atmosferycznym, a współpracujące przy tworzeniu dyrektywy metanowej także wykazało zainteresowanie takimi informacjami. Rocznie ukazuje się ponad 500 specjalistycznych publikacji naukowych związanych z tematyką pomiarów stężenia i emisji metanu. Natomiast niewiele jest prac przekrojowych w tym zakresie, prezentujących wszystkie możliwości dostępne dla badaczy, techników i przedsiębiorstw odpowiedzialnych za antropogeniczne emisje metanu do atmosfery. Także związek pomiędzy pomiarami stężenia a określaniem emisji jest zwykle źle rozumiany, zwłaszcza w branży przemysłowej odpowiedzialnej za dystrybucję lub wydobycie gazu ziemnego.

Przedstawione osiągnięcie habilitacyjne jest moim dziełem autorskim. Skierowane jest do osób zainteresowanych prowadzeniem mobilnych i stacjonarnych pomiarów stężenia oraz emisji metanu do atmosfery. Monografia zawiera podsumowanie mojego dorobku naukowego w tej dziedzinie, przy czym została opracowana tak aby mogła być przydatna do właściwej interpretacji rezultatów analiz stężenia metanu i gęstości strumienia tego ważnego dla gospodarki gazu. W publikacji przedstawiłem polską historię pomiarów atmosferycznego stężenia metanu, z którą jestem mocno związany. Monografia zawiera także informacje o stosowanych przeze mnie technikach pomiarowych i metodach, które mogą być wykorzystane do określenia emisji tego gazu ze źródeł naturalnych i antropogenicznych. Obejmuje wskazania metodologiczne i obszerną literaturę przedmiotu badań.

Podstawowym problemem naukowym diskutowanym w monografii było możliwie precyzyjne określenie wielkości antropogenicznych emisji metanu do atmosfery na wybranym obszarze (województwo śląskie) w oparciu o moje badania mobilne przeprowadzone w latach 2018–2022. Ważnym elementem prezentowanej monografii było również wprowadzenie na grunt krajowy badań przesiewowych do oceny emisji powierzchniowych metanu. Ponadto, w monografii zaprezentowano rozwijane przeze mnie mobilne metody pomiarowe, które zostały wykorzystane w trakcie licznych kampanii służących poszerzeniu stanu wiedzy o skali uwalniania metanu w Polsce.

Omawiana monografia została podzielona na sześć rozdziałów:

Rozdział 1.

W rozdziale 1 wprowadzam czytelnika w zagadnienia związane z bilansowaniem metanu w atmosferze. Znajdują się w nim m.in. informacje o wynikach pomiarów atmosferycznych stężeń CH_4 , które prowadziłem na wysokogórskiej stacji KASLAB zlokalizowanej w budynku obserwatorium meteorologicznego IMGW na szczycie Kasprowego Wierchu w Tatrach, oraz ich znaczeniu w określaniu zmienności czasowej stężenia tego gazu w atmosferze Europy środkowo-wschodniej. Stacja KASLAB została założona z moim udziałem w 1994 roku i działa do chwili obecnej. Zapis zmian stężenia metanu w atmosferze na stacji KASLAB jest najdłuższym tego typu zestawem danych dostępnym w Polsce i jednym z najdłuższych w Europie. Oprócz stacji KASLAB, ciągle pomiary stężenia metanu w atmosferze na terenie Polski prowadzone są również na stacji BIK w Białymstoku (RTCN Białystok Krynice), nie omawianej w monografii. Stacja ta została przejęta pod koniec 2023 roku przez Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie od Instytutu Maxa Plancka w Jenie, Niemcy. Obie te stacje powinny stać się wkrótce składowymi Polskiej Sieci Pomiarów Gazów Ciepłarnianych (ICOS-PL). Stacje pomiarowe wykonujące monitoring stężenia metanu mogą być wykorzystywane do określania globalnego, kontynentalnego i regionalnego bilansu metanu. Mój dorobek naukowy zawiera informacje dotyczące emisji określanych w każdej wymienionej skali przestrzennej na bazie dostarczanych przez stacje KASLAB wyników. Szczególnie istotny aspekt interpretacji zapisu danych z tej stacji jest związany z emisjami występującymi w regionie Śląska, które mogą być modelowane z wykorzystaniem Lagranżowskich modeli transportu gazów (np. model STILT – stochastic time-inverted lagrangian transport model [<https://stilt-model.org>]). Innym aspektem prezentowanym w monografii jest wykorzystanie wyników pomiarów stężenia metanu do przygotowywania produktów satelitarnych, będących obliczonymi emisjami metanu ze zlokalizowanych źródeł punktowych lub rozkładem przypowierzchniowym stężenia metanu. Zapis stężeń CH_4 w atmosferze generowanych przez stację KASLAB był podstawą do określenia pionowych rozkładów stężenia metanu w atmosferze Europy Środkowej przez platformy satelitarne GOSAT oraz GOSAT-2 (japońskie platformy satelitarne – greenhouse gases observing satellite [<https://www.gosat.nies.go.jp>]). Przewiduje się, że w przyszłości powierzchniowe emisje metanu będą wykrywane i kwantyfikowane z orbity. W tym kontekście stacje monitorujące atmosferyczne stężenia metanu w warstwie powierzchniowej atmosfery, takie jak stacja KASLAB i stacja BIK, odgrywać będą istotną rolę jako stacje referencyjne umożliwiające bieżącą kalibrację danych satelitarnych.

W rozdziale 1 monografii przedstawiłem również zagadnienie bilansowania metanu w atmosferze dla procesów zachodzących w skali globalnej. Regionalny budżet metanu atmosferycznego został szerzej omówiony na przykładzie Polski i Górnego Śląska. Dane o emisji metanu do atmosfery są dostępne w repozytoriach bazujących na współczynnikach stosowanych do procesów technologicznych i przemysłowych związanych z potencjalnymi emisjami tego gazu do atmosfery. Obliczane są także za pomocą modelowania transportu metanu ze źródeł powierzchniowych w oparciu o zmierzony rozkład stężeń metanu. Część zidentyfikowanych źródeł CH₄ charakteryzuje się znaczną rozbieżnością przypisywanym im wielkościom emisji, w zależności od stosowanej metody do jej oceny. Zadaniem tworzonych wspólnie międzynarodowych zespołów naukowych jest uzgodnienie stanu faktycznego i ewentualnego uściślenia współczynników technologicznych w celu zharmonizowania atmosferycznego bilansu metanu.

Moim wkładem własnym w rozwój dyscypliny jest zapis zmian stężenia metanu ze stacji Kasprowy Wierch (KASLAB). Osobiście prowadziłem pomiary chromatograficzne stężenia gazów szklarniowych na stacji w latach 1994 – 2006, w późniejszym okresie organizowałem pracę stacji, prowadziłem szkolenia personelu i nadzorowałem opracowanie danych pomiarowych, dbając o spójność wyników i poprawne odniesienie do międzynarodowej skali pomiarowej. Byłem zaangażowany w międzynarodowe projekty związane z pomiarami na stacji KASLAB, w szczególności w odniesieniu do zawartości metanu w atmosferze. Przez cały 30 letni okres działania stacji jestem jej kierownikiem i osobą odpowiedzialną za utrzymanie pomiarów zgodnie ze standardami ICOS (Integrated Carbon Observation System – Europejska sieć badań obiegu węgla w atmosferze). W szczególności prowadziłem szacunki emisji metanu z obszaru Śląska bazując na lagranżowskim modelu transportu atmosferycznego i wynikach pomiarów stężenia metanu na stacji KASLAB.

Publikacje potwierdzające moją aktywność na stacji KASLAB (wybrane siedem pozycji z wyszczególnieniem pierwszego autora oraz z wyróżnieniem tych, w których ja byłem pierwszym autorem):

- 1) “The fingerprint of the summer 2018 drought in Europe on ground-based atmospheric CO₂ measurements” /M. Ramonet, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Philosophical Transactions of The Royal Society . B : Biological Sciences -2020 -vol. 375 iss. 1810 art. no. 20190513, s. 1-14
- 2) “Inverse modelling of European CH₄ emissions during 2006-2012 using different inverse models and reassessed atmospheric observations” / Peter Bergamaschi, [et

- al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics* -2018 -vol. 18
iss. 2 , s. 901-920
- 3) “Monitoring of greenhouse gases in the atmosphere: a Polish perspective” /
Kazimierz Róžański, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // *Papers on Global Change
IGBP* -2016 -vol. 23 iss. 1, s. 111-126
 - 4) ***“Regional representativeness of CH₄ and N₂O mixing ratio measurements at
high-altitude mountain Station Kasprowy Wierch, Southern Poland” / Jarosław
NĘCKI, [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research* -2016 - vol. 16 no. 3 spec .
iss., s. 568-580***
 - 5) ***“Impact of emissions on atmospheric composition at Kasprowy Wierch based on
results of carbon monoxide and carbon dioxide monitoring” / Jarosław M.
NĘCKI, [et al.] // *Polish Journal of Environmental Studies* - 2013 - vol. 22 no. 4,
s. 1119-1127***
 - 6) “Regional inversion of CO₂ ecosystem fluxes from atmospheric measurements:
reliability of the uncertainty estimates” / G. Broquet, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et
al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics* -2013 - vol. 13iss. 17, s. 9039-9056
 - 7) “Towards better error statistics for atmospheric inversions of methane surface
fluxes” / A . Berchet, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // *Atmospheric Chemistry
and Physics* -2013 - vol. 13 iss. 14 , s. 7115-7132

Rozdział 2.

W rozdziale 2 monografii zaprezentowałem wykorzystywane przez siebie techniki pomiarów stężenia metanu. Omówiono chromatografię gazową, którą wykorzystywałem przez długi okres swojej kariery naukowej. Była to podstawowa technika analityczna stosowana w Laboratorium Gazów Ciepłarnianych Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH jak i na stacji pomiaru gazów ciepłarnianych KALSAB na Kasprowym Wierchu. Przy pomocy tej metody wykonywałem także liczne pomiary próbek gazów zebranych w kopalniach węgla i gazu ziemnego, powietrza glebowego i powietrza z komór statycznych. Do dziś technika chromatografii gazowej jest stosowana w polskich laboratoriach do analiz zawartości metanu w mieszaninach gazowych występujących w różnych procesach technologicznych. Można wykorzystywać do tego celu kilka typów detektorów chromatograficznych w zależności od mierzonego stężenia. Wybór kolumn i technik dozowania pozostaje także szeroki.

W dalszej części rozdziału 2 opisane zostały czujniki pelistorowe i półprzewodnikowe oraz metody optyczne pomiaru stężeń metanu oparte na spektrofotometrii. W zakresie atmosferycznych stężeń metanu analizatory laserowe oparte na diodach laserowych o modyfikowanej długości fali są obecnie najbardziej precyzyjnymi urządzeniami dostępnymi na rynku. Podczas swoich badań korzystałem z wielu rozwiązań komercyjnych przeprowadzając ich adaptacje do badań terenowych. W latach 90-tych XX wieku uczestniczyłem w pierwszych w Polsce mobilnych pomiarach przestrzennego rozkładu stężenia metanu w powietrzu na dużym obszarze wykorzystując dostępne wówczas przenośne analizatory. Mobilne podejście do oznaczeń atmosferycznych stężeń metanu nie było w tym okresie wykorzystywane w ogóle. W następnych latach rozwój spektrofotometrii laserowej i wnęk optycznych sprzężonych ze źródłem światła laserowego o dostrajanej długości fali zrewolucjonizował precyzyjne pomiary stężeń metanu w atmosferze, co pozwoliło mi na prowadzenie wielu międzynarodowych projektów badawczych zarówno na terenie Polski jak i w innych krajach. Kierowałem badaniami prowadzonymi w Holandii na instalacjach gazu ziemnego należących do korporacji Shell, w Rumunii na instalacjach wydobywania ropy naftowej firmy OMV Petrom i instalacjach wydobywania gazu ziemnego RomGaz, w Emiratach Arabskich na instalacjach firmy ADNOC oraz w Omanie we współpracy z firmami PDO i Be'ah. W trakcie każdej z kampanii pomiarowych przeprowadzonych w ramach programów badawczych moim zadaniem było zidentyfikowanie lokalizacji źródeł metanu oraz określenie wielkości emisji tego gazu do atmosfery. Zastosowane przeze mnie technologie zostały dostrzeżone przez operatorów wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego jako techniki o wysokiej wydajności i niskim koszcie stosowania, następnie wdrożone jako rutynowe działania wykonywane przez ekipy związane z pracami LDAR (leak detection and repair - wykrywanie i usuwanie nieszczelności instalacji).

W rozdziale 2 zawarte zostały również informacje dotyczące kalibracji przyrządów pomiarowych oraz obowiązującej skali odniesienia dla pomiarów atmosferycznych stężeń metanu. Podczas realizowanych projektów międzynarodowych brałem udział w dyskusjach dotyczących wprowadzenia jednolitej międzynarodowej skali odniesienia dla pomiarów gazów cieplarnianych (w tym dla metanu). Jestem twórcą pierwszej polskiej skali pomiarowej powiązanej z opisaną w monografii, obowiązującą współcześnie międzynarodową skalą WMO-X2004. Wykonałem szereg wzorców odniesienia na potrzeby Laboratorium Gazów Cieplarnianych WFiIS AGH w Krakowie, badań mobilnych i dla stacji KASLAB. Przygotowywałem również mieszaniny kalibracyjne dla innych instytucji naukowych prowadzących pomiary stężenia metanu. Obecnie współpracuję z laboratorium ICOS-CAL

(integrated carbon observation system – calibration laboratory) w Jenie, Niemcy. Jest ono głównym europejskim laboratorium kalibracyjnym dla pomiarów atmosferycznych stężeń gazów cieplarnianych. Pomiar emisji metanu oparte na różnicowych pomiarach stężenia tego gazu nie wymagają kalibracji analizatorów względem międzynarodowej skali pomiarowej WMO-X2004, ponieważ jej zakres kończy się obecnie na ok 6 ppm. Ponieważ stężenia metanu mierzone przez mnie w pobliżu silnych źródeł antropogenicznych często przekraczały wartość 10 ppm, przygotowywałem mieszaniny kalibracyjne o wyższych stężeniach tego gazu które były sprawdzane z wykorzystaniem metody rozcieńczania próbki do stężeń mieszczących się w zakresie skali WMO – X2004.

Moim wkładem własnym w rozwój dyscypliny jest prowadzenie prac nad aplikacją metod spektroskopowych do prowadzenia mobilnych pomiarów stężenia metanu w atmosferze w pobliżu znaczących źródeł tego gazu. Analizatory komercyjne zostały przeze mnie zaadoptowane do takiego zastosowania poprzez dopasowanie układów zasilania do badań w terenie wykorzystujących zestawy akumulatorów i konwerterów, zmiany układów torów pneumatycznych pozwalających na czerpanie powietrza do analiz z pokładu poruszających się samochodów, dronów (UAV) czy samolotów oraz poprawę konstrukcji elektronicznych komponentów poprzez modyfikację złącz, wreszcie zastosowanie rejestratorów sygnałów. Prowadziłem pomiary inter-kalibracyjne na stacji KASLAB i w laboratorium w Krakowie dla wielu gazów, w tym metanu. Brałem udział w spotkaniach ekspertów Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) w trakcie tworzenia międzynarodowej skali odniesienia pomiarów gazów (m.in. metanu).

Publikacje potwierdzające mój wkład w nowatorskie metody pomiaru metanu (ze wskazaniem jedynie pierwszych autorów):

- 1) “Local-to-regional methane emissions from the Upper Silesian Coal Basin (USCB) quantified using UAV-based atmospheric measurements” / Truls Andersen, [et al.], Jarosław NEŹCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2023 -vol. 23 nr 9, s. 5191-5216
- 2) “Spectrometric imaging of sub-hourly methane emission dynamics from coal mine ventilation” / M. Knapp, [et al.], Jarosław NEŹCKI, [et al.] // Environmental Research Letters 2023 -vol. 18 no. 4 art. no. 044030, s. 1-10
- 3) “Quantification of CH₄ coal mining emissions in Upper Silesia by passive airborne remote sensing observations with the Methane Airborne MAPper (MAMAP) instrument during the CO₂ and Methane (CoMet) campaign” / Sven Krautwurst, [et

- al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics . -2021 -vol. 21
iss. 23, s. 17345-17371
- 4) “Quantifying methane emissions from coal mining ventilation shafts using an unmanned aerial vehicle (UAV)-based active AirCore system” / Truls Andersen, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Environment X . -2021 -vol. 12 art. no. 100135, s. 1-21
 - 5) “CH₄ and CO₂ IPDA lidar measurements during the CoMet 2018 airborne field campaign / Andreas Fix, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // EPJ Web of Conferences. -2020 -vol. 237 art. no. 03005 , s. 1-4
 - 6) “Quantifying CH₄ emissions from hard coal mines using mobile sun-viewing Fourier transform spectrometry” / Andreas Luther, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques -2019 -vol. 12 iss. 10, s. 5217-5230
 - 7) “Carbon isotopic signature of coal-derived methane emissions to the atmosphere: from coalification to alteration” / Giulia Zazzeri, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2016 -vol. 16 iss. 21, s. 13669-13680

Rozdział 3.

W rozdziale 3 monografii zawarłem opis mieszania dolnej warstwy atmosfery bazujący na przeprowadzonym przeze mnie modelowaniu dynamiki warstwy granicznej z wykorzystaniem sparametryzowanego modelu dynamiki atmosfery CLASS rozwijanego przez grupę uniwersytecką w Wageningen (Holandia) we współpracy z Instytutem Maxa Plancka w Hamburgu (Niemcy) [<https://classmodel.github.io/>]. Model ten bardzo dobrze odwzorowuje parametry opisujące konwekcję atmosfery w okresie narostu wysokości warstwy granicznej, w którym najczęściej wykonywane są pomiary emisji metanu. Dzięki zastosowaniu tego modelu do obliczania parametrów dyspersji metanu, udało się nieco zmniejszyć efekty kwantyzacji parametrów dyspersji wynikających ze stosowania klas stabilności Pasquill’a. W większości przypadków wartości parametrów dyspersji miały podstawowe znaczenie w wyborze przeze mnie właściwej metodyki badań strumieni metanu. Dodatkowo, wykonanie szybkich obliczeń w terenie było bardzo pomocne dzięki możliwości przeprowadzania modelowania w trakcie badań. W tym rozdziale zestawiono także aktualnie stosowane techniki oceny wielkości strumieni emisji metanu z użyciem instrumentów wykorzystujących parametry mikro-meteorologiczne atmosfery. Ja korzystałem w swoich badaniach z metody kowariancji wirów, odwróconego modelowania gaussowskiego, bilansu masy i modeli lagranżowskich,

jednakże największe znaczenie miała opisana w monografii metoda przesiewowa, która pozwalała na wykonywanie ocen emisji metanu w terenie podczas prowadzenia pomiarów stężenia. Nie wyklucza ona późniejszego zastosowania innych technik do analizy zebranych danych, jednakże jako jedyna pozwala na uzyskanie szacunkowych wartości emisji metanu w sytuacji kiedy grupa badawcza znajduje się w terenie. W przeciwieństwie do publikowanego podejścia amerykańskich naukowców, stosujących opisywane w monografii wzory wypracowanych doświadczalnie podczas kontrolowanych uwolnień metanu, w metodzie przesiewowej można także stosować z powodzeniem podejście dyspersyjne. Moim zadaniem było zaprezentowanie go możliwie szczegółowo w monografii wykorzystując rozmaite metody wyznaczania parametrów dyspersji. Porównałem skuteczność stosowania wielu dostępnych formuł biorących pod uwagę nie tylko wartości stężeń metanu ale również wielkości adwekcji, wysokości warstwy granicznej i warunków dyfuzji wirowej w atmosferze. Monografia opisuje także praktyczne zastosowanie metody znacznikowej z wykorzystaniem acetyleny, która w szczególnych przypadkach daje najdokładniejsze wyniki wykonanego przeze mnie szacowania emisji metanu.

W dalszej części tego rozdziału zaprezentowano jeden ze sposobów wykonania badania bezpośredniego pochłaniania metanu przez gleby, czyli zastosowane przeze mnie pomiary gęstości powierzchniowej strumienia metanu komorami statycznymi. Ta technika jest bardzo pracochłonna, co potwierdziły badania prowadzone przez mnie na torfowiskach podhalańskich, bieszczadzkich a także na wielu składowiskach odpadów. Metoda ta sprawdza się w przypadku detekcji metanu glebowego w okolicy zlikwidowanych i nie używanych szybów kopalnianych oraz odwiertów gazowych. W połączeniu z badaniami izotopowymi metanu może być uznawana za metodę uzupełniającą wykorzystywaną do krytycznej weryfikacji szczelności złóż węgla lub gazu ziemnego ze wskazaniem do dalszych prac nad poprawną likwidacją szybów i odwiertów. Rozdział ten kończy się opisem przeprowadzonych eksperymentów kontrolowanego uwolnienia metanu, które służą do walidacji wybranych metod określania ilości uwalnianego metanu. Przeprowadzałem osobiście szereg takich uwolnień a także brałem udział w eksperymentach przygotowywanych przez inne grupy naukowe. Kontrolowane uwolnienie metanu może być podstawą do weryfikacji stosowanych założeń wielkości parametrów dyspersji gazów, jednakże warunki meteorologiczne podczas eksperymentu oraz umiejscowienie uwolnienia może prowadzić do obniżonej reprezentatywności procedury walidacyjnej. Przeprowadzone kontrolowane uwolnienia pomogły także przetestować metodę przesiewową i określić jej niepewność w warunkach przeprowadzanego uwalniania.

Moim wkładem własnym w rozwój metod pomiaru emisji metanu jest wykonanie testów walidacyjnych i wdrożenie na grunt Polski badań opartych na odwrotnym modelowaniu dyspersji smugi Gaussowskiej w odniesieniu do ilościowego określenia emisji metanu ze źródeł punktowych. Wykonałem także wiele pomiarów komorowych z wykorzystaniem chromatografii gazowej, spektroskopii laserowej i analizatorów przenośnych. Do szacowania emisji metanu wykorzystywałem także metodę OTM33A, bilans masy oraz kowariancję wirów. Wiedzę przekazałem studentom podczas autorskich zajęć dydaktycznych realizowanych w Polsce i Hiszpanii. Metodami tymi prowadziłem także pomiary emisji metanu w Rumunii, Emiratach Arabskich i Omanie. Wdrożyłem metodę przesiewową jako rutynową technikę LDAR (wykrywanie nieszczelności instalacji gazowych) u największego producenta ropy naftowej i gazu ziemnego w Omanie.

Publikacje potwierdzające mój wkład w nowatorskie metody pomiaru metanu (ze wskazaniem jedynie pierwszych autorów):

- 1) High potential for CH₄ emission mitigation from oil infrastructure in one of EU's major production regions / Foteini Stavropoulou , [et al.], Jarosław M. NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2023 -vol. 23 iss. 18, s. 10399-10412
- 2) Source apportionment of methane emissions from the Upper Silesian Coal Basin using isotopic signatures / Alina Fiehn, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2023 -vol. 23 iss. 24 , s.15749-15765
- 3) Temporal dynamics and controlling factors of CO₂ and CH₄ variability in the urban atmosphere of Wrocław, Poland / Yaroslav Bezyk , [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Science of the Total Environment -2023 -vol. 893 art. no. 164771, s. 1-23
- 4) Observational constraints on methane emissions from Polish coal mines using a ground-based remote sensing network / Andreas Luther, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2022 - vol. 22 iss. 9 , s. 5859-5876
- 5) Quantification of methane emission rate from oil and gas wells in Romania using ground-based measurement techniques / Piotr Korben, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Elementa -2022 - vol. 10 iss. 1art. no. 00070 , s. 1-14
- 6) Spatial and temporal patterns of methane uptake in the urban environment / Yaroslav Bezyk, [et al.] , Jarosław NĘCKI // Urban Climate -2022 - vol. 41 art. no. 101073, s. 1-19
- 7) Estimating CH₄ , CO₂ and CO emissions from coal mining and industrial activities in the Upper Silesian Coal Basin using an aircraft-based mass balance approach /

Rozdział 4.

W rozdziale 4 monografii przedstawiam rozwiniętą przeze mnie metodę przesiewową określania wielkości uwolnienia metanu ze źródeł rozproszonych charakteryzujących się niewielkimi wartościami emisji metanu. Jest to metoda wykorzystująca rozkład przestrzenny stężenia metanu podczas pojedynczego przecięcia smugi metanu pochodzącej ze źródła punktowego do oszacowania wielkości emisji tego gazu. Rozważania teoretyczne zostały uzupełnione przykładami pomiarów nieszczelności sieci dystrybucji gazu ziemnego w Katowicach, które prowadziłem osobiście w trakcie wielu kampanii pomiarowych wykonywanych w kilku międzynarodowych projektach na zlecenie Międzynarodowego Obserwatorium Emisji Metanu (IMEO). Pozostałe składowe antropogenicznych emisji metanu, obejmujące składowiska odpadów, hałdy górnicze oraz szyby wentylacyjne kopalni na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP) poddane zostały weryfikacji z wykorzystaniem mobilnych metod analizy rozkładu przestrzennego i czasowego stężenia metanu. W 2012 roku prowadziłem pierwsze badania emisji z wykorzystaniem analizatora laserowego firmy Picarro (technika CRDS – cavity ring-down spectroscopy - spektrofotometria strat we wnęce optycznej) zamontowanego w samochodzie osobowym, rejestrując jednocześnie kierunek i prędkość wiatru. Obecnie korporacja ta udostępnia gotowy produkt wyszukiwania nieszczelności sieci dystrybucji gazu ziemnego bazujący na przejazdach przygotowanym w ten sam sposób samochodem, choć nie wykorzystuje do tego celu modeli spektrofotometrów pozwalających na zapis zmian składu izotopowego metanu. W dalszych badaniach używałem innych instrumentów opartych na wysoce wyrafinowanych wnękach optycznych, w szczególności urządzeń mniejszych i pozwalających na pomiar szerszego zakresu stężeń metanu: ABB LGR mGGA-918 (technika OA-ICOS – off-axis integrated cavity output spectroscopy - spektroskopia całkowitego sygnału wiązki pozaosiowej) oraz Li-COR 7810 (technika OF-CEAS – optical feedback cavity enhanced absorption spectroscopy - spektroskopia wiązki sprzężonej optycznie). Badałem okolice szybów wentylacyjnych kopalni węgla kamiennego na Śląsku, szczelność stacji pomiarowo redukcyjnych sieci gazowej, składowiska odpadów i inne miejsca województwa śląskiego związane z emisją metanu do atmosfery. Prowadziłem badania, także nieuwzględnione w monografii, związane z produkcją metanu przez tereny podmokłe, działalność rolniczą związaną z nawożeniem pól oraz pochłanianie metanu przez gleby, nie zajmowałem się jednak hodowlą bydła i badaniami reakcji

metanu z rodnikami OH. Wszystkie obliczenia oparte na wykonanych przeze mnie analizach stężenia zostały porównane z wartościami emisji dostępnymi w literaturze, a także w nielicznych bazach danych. Niektóre źródła, jak na przykład emisja z sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego na terenie województwa śląskiego nie były wcześniej weryfikowane eksperymentalnie. Log normalny rozkład wielkości emisji z poszczególnych nieszczelności jest zdominowany przez niewielką ilość źródeł o znacznej emisji. Sytuacja ta nie zmieniała się w kolejnych latach. Podobne rozkłady otrzymywałem podczas swoich badań elementów instalacji wydobywania gazu ziemnego w Rumunii, Emiratach Arabskich i Omanie. Z punktu widzenia ograniczenia emisji jest to korzystny efekt, ponieważ w wyniku niewielkich nakładów finansowych operatorzy instalacji są w stanie w znacznym stopniu ograniczyć emisję metanu oraz zaoszczędzić tracony produkt. W tym kontekście sprawnie działający samochód pomiarowy może sprawdzić w korzystnych warunkach meteorologicznych występujące nieszczelności na znacznym terenie (kilka km²) w ciągu jednego dnia pomiarowego. Na podstawie wyników uzyskanych w czasie przejazdów można sklasyfikować wielkości nieszczelności i jeśli zajdzie taka potrzeba, wskazać dokładną ich lokalizację. Pomiary emisji z dużych punktowych źródeł, jakimi są na przykład szyby wentylacyjne kopalni węgla kamiennego na obszarze Górnego Śląska, mogą być oparte zarówno na pomiarach bezpośrednich wykonywanych w kanałach wentylacyjnych lub na dyfuzorach, jak i na pomiarach bezpośrednich z zastosowaniem analizatorów laserowych z otwartą wiązką światła przecinającą całą szerokość szybu. O ile badania bezpośrednie wykonane przeze mnie na dyfuzorze szybu kopalni KWK Pniówek w 2023 roku nie zostały ujęte w omawianym osiągnięciu habilitacyjnym, badania emisji metanu do atmosfery oparte na modelach dyspersyjnych zostały przedstawione szczegółowo wraz z określeniem niepewności otrzymanych wartości emisji. Wartości porównano z danymi dostarczanymi przez spółki górnicze do baz danych. Brak statystycznie istotnych rozbieżności jest częściowo związany ze znaczną niepewnością pomiarów pośrednich, które raczej sugerują niższe wartości emisji niż raportowane dane. Moje badania i ich wyniki opisane w monografii pozwalają na rekomendację zaprezentowanych technik pomiarowych w sytuacji kiedy niezbędna jest niezależna weryfikacja określonej emisji bez dostępu do szybów wentylacyjnych czy instalacji wydobywania ropy naftowej lub gazu ziemnego. Dobrze prowadzone pomiary bezpośrednie będą zawsze dokładniejsze niż badania zdalne, szczególnie że chwilowe wahania emisji mogą sięgać do 50% wartości mierzonych. Przeskalowanie wyników uzyskanych w krótkim okresie czasu tak, aby zestawieć je z szacunkami emisji w całym roku będzie więc zawsze obarczone potencjalnym błędem systematycznym na który sposób pomiaru nie ma wpływu.

Moim wkładem własnym w rozwój dziedziny pomiaru emisji metanu jest wykonanie serii pomiarów rozkładu stężenia metanu na terenie województwa śląskiego i przy pomocy opisanych w monografii metod oszacowanie emisji metanu występującej na tym terenie. Do badań wykorzystałem analizatory przenośne co jest pierwszym takim podejściem na gruncie krajowym. W trakcie wykonywania analiz współpracowałem z wieloma zespołami międzynarodowymi prowadzącymi badania emisji metanu z szybów wentylacyjnych kopalni węgla. Zaproponowałem także metodykę określania niepewności obliczonych emisji. Rozdział ten jest w całości wynikiem moich autorskich rozważań.

Publikacje naukowe w czasopismach punktowanych potwierdzające mój wkład w badania emisji metanu na Górnym Śląsku (ze wskazaniem jedynie pierwszych autorów)

- 1) Local-to-regional methane emissions from the Upper Silesian Coal Basin (USCB) quantified using UAV-based atmospheric measurements / Truls Andersen , [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2023 -vol. 23 nr 9, s. 5191-5216
- 2) Source apportionment of methane emissions from the Upper Silesian Coal Basin using isotopic signatures / Alina Fiehn, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2023 -vol. 23 iss. 24 , s.15749-15765
- 3) Observational constraints on methane emissions from Polish coal mines using a ground-based remote sensing network / Andreas Luther, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2022 - vol. 22 iss. 9 , s. 5859-5876
- 4) Quantification of CH₄ coal mining emissions in Upper Silesia by passive airborne remote sensing observations with the Methane Airborne MAPper (MAMAP) instrument during the CO₂ and Methane (CoMet) campaign / Sven Krautwurst, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics . -2021 -vol. 21 iss. 23, s. 17345-17371
- 5) Estimating CH₄ , CO₂ and CO emissions from coal mining and industrial activities in the Upper Silesian Coal Basin using an aircraft-based mass balance approach / Alina Fiehn, [et al.], Jarostaw NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2020 -vol. 20 iss. 21, s. 12675-12695
- 6) Quantifying CH₄ emissions from hard coal mines using mobile sun-viewing Fourier transform spectrometry / Andreas Luther, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques -2019 -vol. 12 iss. 10, s. 5217-5230

- 7) Carbon isotopic signature of coal-derived methane emissions to the atmosphere: from coalification to alteration / Giulia Zazzeri, [et al.], Jarosław NECKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2016 -vol. 16 iss. 21, s. 13669-13680

Rozdział 5.

Rozdział 5 monografii stanowi przegląd dostępnych platform satelitarnych mogących służyć do szacowania emisji metanu ze źródeł punktowych i powierzchniowych w różnych skalach przestrzennych. Nie ulega wątpliwości że czujniki umieszczone na orbicie będą w przyszłości dostarczać najważniejszych danych o emisji metanu zarówno ze źródeł antropogenicznych jak i naturalnych. Obecnie realizowane misje satelitarne oraz planowane na przyszłe lata znacznie uwiarygodnią bilansowanie metanu atmosferycznego, szczególnie na obszarach, gdzie głównym źródłem metanu jest działalność przemysłowa. W marcu 2024 roku został wprowadzony na orbitę satelita MethaneSAT, posiadający na swoim pokładzie najbardziej zaawansowany spektrofotometr wysokiej rozdzielczości przestrzennej wśród platform zrzeszonych w usłudze MARS (Methane Alert and Response System) udostępnionej przez IMEO (International Methane Emission Observatory). Najnowszy projekt zlecony przez UNEP (Agenda Ochrony Środowiska ONZ) realizowany przeze mnie ma określić dokładność tego instrumentu bazując na danych uzyskanych podczas przelotów nad obszarem Śląska, gdzie będę prowadził niezależne pomiary emisji metanu wykorzystując analizator laserowy z otwartą ścieżką, pozwalający na wyznaczanie emisji metanu z rozdzielczością czasową jednej minuty. W tym rozdziale monografii wykorzystałem dostępne dane satelitarne do uzupełnienia bilansu metanu z obszaru GOP (Górnośląski Okręg Przemysłowy). Wykorzystałem misje GOSAT (fotometr TANSO) oraz spektrofotometr TROPOMI zainstalowany na platformie orbitalnej Sentinel-5P należącej do Europejskiej Agencji Kosmicznej. W obu przypadkach stosowany jest bilans masy w oparciu o poziomy gradient stężenia metanu i szacowaną wysokość warstwy granicznej wraz z modelowanymi parametrami kierunku i prędkości wiatru w profilu pionowym atmosfery. Wykorzystałem także dane udostępniane publicznie przez prywatną korporację GHG-Sat, posiadającą obecnie flotę orbitalnych spektrofotometrów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej ale relatywnie niewielkiej dokładności wyznaczanego stężenia metanu, także wykorzystywanych przez usługę MARS. W rozdziale 5 przedstawiono również planowane w najbliższej przyszłości misje satelitarne, w szczególności misję Merlin, która najprawdopodobniej umieści pierwszy obiekt orbitalny potrafiący wyznaczyć stężenie metanu w oparciu o technikę lidarową. Współpracowałem z Niemiecką Agencją Kosmiczną (DLR)

podczas testowania lidarów na terenie Górnego Śląska podczas projektów CoMet (carbon dioxide and methane mission) i CoMet 2.0 w ramach których, prowadziłem pomiary naziemne rozkładu przestrzennego stężenia metanu.

Moim wkładem własnym w rozwój dziedziny satelitarnych pomiarów emisji metanu jest potwierdzenie rozkładu przestrzennego źródeł metanu, wybór właściwego obszaru badań do analiz satelitarnych, wykonanie badań i dostarczenie niezależnych wyników pomiarów rozkładu stężenia metanu wykonanych na powierzchni terenu. Koordynowałem także 3 kampanie pomiarowe na terenie województwa śląskiego mające na celu wsparcie badań satelitarnych emisji metanu.

Publikacje naukowe w czasopismach punktowanych potwierdzające mój wkład w badania satelitarne emisji metanu (ze wskazaniem jedynie pierwszych autorów):

- 1) Quantifying CH₄ emissions in hard coal mines from TROPOMI and IASI observations using the wind-assigned anomaly method / Qiansi Tu, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics -2022 - vol. 22 no. 15 , s. 9747-9765
- 2) CH₄ and CO₂ IPDA lidar measurements during the CoMet 2018 airborne field campaign / Andreas Fix, [et al.], Jarosław NĘCKI, [et al.] // EPJ Web of Conferences . -2020 -vol. 237 art. no. 03005 , s. 1-4

Rozdział 6.

W rozdziale 6 stanowiącym podsumowanie osiągnięcia habilitacyjnego przedstawiono tabelę porównawczą antropogenicznych uwolnień metanu na terenie województwa śląskiego wyznaczonych przez habilitanta, z danymi pochodzącymi z innych źródeł (Tab.1).

Tabela 1. Wyniki szacowania emisji metanu ze źródeł antropogenicznych związanych z dystrybucją gazu ziemnego, wydobywaniem i składowaniem węgla, składowaniem odpadów przedstawione w monografii habilitacyjnej, wyrażone w kilotonach metanu rocznie. Szczegóły dotyczące pozycji „inne źródła” są przedstawione w monografii.

Źródło metanu	Roczne uwolnienie/ niepewność (według moich obliczeń) [ktCH ₄ /rok]	Przedział ufności (według moich obliczeń) [ktCH ₄ /rok]	Roczne uwolnienie (według innych źródeł) [ktCH ₄ /rok]	Niepewność/ przedział ufności (według innych źródeł) [ktCH ₄ /rok]
Nieszczelności na stacjach redukcyjno-pomiarowych	0,3	0,004–18	15,9	b.d.
Nieszczelności sieci dystrybucyjnej (rozproszone)	9,05	3,55–12,25		
Zamknięte szyby i nieczynne wyrobiska górnicze	0,07	0,01–0,14	b.d.	b.d.
Hałdy górnicze czynne termicznie	0,12	0,10–0,24	b.d.	b.d.
Składowiska wydobytego węgla	2	b.d.	b.d.	b.d.
Składowiska odpadów	80/52	28–132	10,1	b.d.
	64/42	22–106		
	58/10	48–68		
	28/50	23–33		
Koksownie	50	b.d.	b.d.	b.d.
Szyby wentylacyjne i stacje odmetanowania	500	250	499,3	b.d.
			511,2	b.d.
			450,3	130
łącznie	660	380–940	525,3	b.d.
Z badań satelitarnych	490 (GOSAT-2)	b.d.	695 (TROPOMI)	10
	780 (TROPOMI)			

Mobilne, naziemne badania rozkładu przestrzennego i czasowego stężenia metanu, które wykonywałem lub w których uczestniczyłem, dostarczają danych wcześniej nieuwzględnianych w bilansie tego gazu przedstawionym w rozdziale 1. Większość

ilościowych informacji dotyczących uwolnień metanu, zawartych w dostępnych bazach danych takich jak E-PRTR czy EDGAR, ma swoje źródło w parametryzacji procesów uwalniania metanu do atmosfery. Przyjęte tam współczynniki są okresowo uaktualniane na podstawie danych dostarczanych przez podmioty odpowiedzialne za emisję tego gazu i wykonujące szacowania na podstawie badań przeprowadzonych za pomocą swojej infrastruktury (np. projekt Marcogaz). Wprowadzane przez Unię Europejską regulacje emisji metanu biorą pod uwagę także weryfikacje tych współczynników wykonywane przez niezależne od operatorów instytucje. Będą one wykorzystywać zarówno metody bazujące na pomiarach bezpośrednich, jak i analizy wykonywane zdalnie, przetwarzane następnie przez modele dyspersji, modele CFD (ang. continuous fluid dynamics) i modele lagranżowskie. W niniejszej monografii do oceny wielkości emisji metanu ze źródeł punktowych stosowałem modele dyspersyjne bazujące na parametrycznych modelach stanu równowagi atmosfery. W ramach badań weryfikacyjnych zalecanych przez Komisję Europejską będą także prowadzone pomiary przesiewowe infrastruktur rozproszonych takich jak sieci dystrybucji gazu ziemnego czy pola wydobywania ropy naftowej. Zadaniem pomiarów mobilnych będzie wskazanie tych elementów infrastruktury przemysłowej, które jako pierwsze powinny zostać poddane naprawie lub uszczelnieniu (program LDAR – leak detection and repair). Określenie szybkości uwalniania metanu jest w pewnym sensie „produktem ubocznym” wykonywanych badań i może służyć do skalowania emisji w oparciu o uzyskane rozkłady wielkości emisji z poszczególnych źródeł. W swoich rozważaniach ilościowych wykorzystywałem przede wszystkim odwrotne modelowanie gaussowskie. Swoje doświadczenie oparłem na wielu innych technikach pomiaru, między innymi na metodzie komór statycznych czy metodzie znacznikowej wykorzystanej podczas kontrolowanego uwalniania metanu. W kontekście mobilnych sposobów określania wydajności emisji metanu szczególnie cenne są proste techniki obliczeniowe, nie wymagające długiego czasu ani dużej mocy obliczeniowej. Można je stosować w badaniach do mapowania źródeł metanu, którym przypisuje się obliczoną szybkość uwalniania już w trakcie prowadzenia pomiarów terenowych. W swoich rozważaniach skupiłem się na procedurach polegających na przejazdach samochodem wyposażonym w analizatory stężenia metanu w rejonie, w którym mogła zachodzić emisja tego gazu. *Moje nowatorskie podejście zakłada, że emisja wszystkich źródeł jest wstępnie obliczana już w trakcie przejazdów, które służą do wykrycia potencjalnych źródeł metanu. Ponieważ platforma mobilna nie jest w stanie zinwentaryzować wszystkich źródeł w odpowiednio krótkim czasie, pozostaje problem skalowania wyznaczonej emisji na większy obszar, na którym nie wykonywano badań. Jest to scenariusz wymuszony względami praktycznymi i*

dotyczy w szczególności sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego. W praktyce, operatorzy instalacji będą zobligowani do sprawdzenia całej infrastruktury, co z pewnością zajmie dużo czasu i będzie wymagało wiele pracy. Alternatywnie, z punktu widzenia szacunkowego podejścia do zagadnienia emisji można skalowanie przeprowadzić bazując na znajomości parametrów rozkładu wielkości emisji. Podobny problem z agregacją danych zaprezentowałem w monografii dla woj. śląskiego.

W monografii wyjaśniono statystyczne podejście do agregacji danych oraz zaprezentowano wyniki badań prowadzonych na obszarze Górnego Śląska. Uwzględniono różne typy źródeł – zarówno punktowe, jak i powierzchniowe. Największy nacisk położono na emisję związaną z nieszczelnościami sieci dystrybucji gazu ziemnego w Katowicach. Sumaryczna ilość metanu uwolnionego w mieście do atmosfery w roku 2021 wyniosła 9,05 kt. Została oszacowana na podstawie długości sieci dystrybucyjnej w województwie śląskim (15 400 km) i wyznaczonej gęstości liniowej strumienia metanu wynoszącego 590 kg CH₄ na km sieci rocznie. Nieszczelności występujące na stacjach redukcyjno-pomiarowych stanowią bardzo trudne do określenia źródło ze względu na niewielką liczbę przebadanych miejsc. W pesymistycznym scenariuszu można szacować, że rocznie takie źródła uwalniają nawet 18 kt metanu. Opisana została także emisja towarzysząca wydobyciu węgla, z uwzględnieniem zapożarowanych płytkich pokładów węgla, termicznie aktywnych hałd górniczych, opuszczonych, lecz źle zabezpieczonych szybów, oraz składowania wydobytego węgla na powierzchni. Na podstawie wyników swoich pomiarów obliczyłem emisję sumaryczną z danego rodzaju źródeł metanu w skali całego regionu, korzystając z modelowania dyspersyjnego. Najbardziej wydajnym źródłem są szyby wentylacyjne wydechowe i stacje odmetanowania kopalń. Wykonałem szereg pomiarów w okolicy poszczególnych szybów, jednak mimo otrzymanej przeze mnie niższej emisji niż wartości deklarowane przez kopalnie, nie ma statystycznych podstaw do zmodyfikowania tych danych na bazie uzyskanego zbioru wyników pomiarowych. Przyjąłem zatem, że zgodnie z raportowanymi przez kopalnie danymi rozproszone źródło jakim są wydechowe szyby wentylacyjne, emituje rocznie ok. 500 kt metanu. Składowanie węgla powoduje uwolnienie resztkowej zawartości tego gazu. Na podstawie współczynników zgodnych z zaleceniami IPCC (International Panel on Climate Change) i znanej ilości wydobytego węgla dokonałem szacunku wielkości uwolnienia wynoszącego 2 kt rocznie. Jest to jedyna wartość wyznaczona przeze mnie bez wykonywania pomiarów. Zarówno zapożarowane płytkie pokłady węgla (około 70 t CH₄/rok), jak i aktywne termicznie hałdy górnicze (120 t CH₄/rok) nie stanowią istotnej pozycji w bilansie tego gazu. Trudnym zadaniem okazało się obliczenie ilości metanu uwalnianego ze składowisk odpadów.

Wykonałem pomiary na kilku składowiskach w różnych województwach (przyjmujących odpady także z województwa śląskiego). Na tej podstawie można jedynie wyznaczyć emisję metanu, korzystając z danych demograficznych badanego obszaru lub stosując w obliczeniach wielkość powierzchni składowisk, wreszcie można posłużyć się danymi o ilości odpadów otrzymywanych rocznie przez składowiska. Najwyższa oszacowana wielkość rocznego uwolnienia metanu to 80 kt. Jest to ośmiokrotnie wyższa wartość niż raportowana w bazie danych EDGARv7.

Wartość sumarycznej emisji metanu z obszaru województwa śląskiego, otrzymana przeze mnie w przypadku scenariusza optymistycznego zakładającego najniższe wartości emisji dla każdego ze źródeł, wyniosła 590 kt rocznie. Jeśli zastosujemy realistyczne podejście bazujące na wartościach średnich będzie to 660 kt ale można zbudować także scenariusz, w którym emisje są najwyższe w wyznaczonych zakresach. Należy oczekiwać, że wartości te ulegną znaczącemu obniżeniu w przyszłości ze względu na konieczność monitorowania, weryfikowania i ograniczenia emisji metanu do atmosfery przez odpowiednie podmioty, do której będzie obligowała ich dyrektywa metanowa Unii Europejskiej które zostanie wdrożona po 2024 roku.

Poszczególne rozdziały monografii stanowią autonomiczne fragmenty osiągnięcia habilitacyjnego. Do zrozumienia tematyki poszczególnych części nie jest konieczne przeczytanie całości opracowania. Na końcu monografii zestawiono bardzo obszerny spis literatury przedmiotu badań. Pozwoli ona czytelnikowi pogłębić wiedzę i wyszukać publikacje prezentujące w bardziej szczegółowy sposób zagadnienia związane z pomiarami stężenia i emisji metanu do atmosfery Ziemi.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

- W trakcie studiów doktoranckich na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie realizowałem badania składu izotopowego dwutlenku węgla w atmosferze. W 1995 (przed obroną doktoratu) roku ukazała się publikacja:

Zimnoch M., Nęcki J., Florkowski T., „Diurnal changes in the isotope composition of atmospheric CO₂ in Kraków”, Geographia Polonica (1995) vol. 65, str. 35-42.

- W czasie zatrudnienia w **Instytucie Fizyki Jądrowej PAN** mgr inż. Jarosław Nęcki realizował program pomiarów chromatograficznych stężenia gazów cieplarnianych w Krakowie. W 1999 roku ukazała się publikacja :

Nęcki J., Zimnoch M., Mirosław J., Lasa J., „Konstruowanie lokalnego zbilansowania atmosferycznego CH₄ i CO₂ w silnie zanieczyszczonych miejskich obszarach na przykładzie Krakowa”, Chemia Analityczna (1999), Vol. 44, No. 5, str. 841—847.

Prowadziłem także badania stężenia halonów w atmosferze metodami chromatograficznymi (H2402 i H1301), wyniki których prezentowałem na konferencji w Jachrance w 1997 roku. W 1996, pracując w **IFJ PAN** roku zainstalowałem chromatograf gazowy w Wysokogórskim Obserwatorium Meteorologicznym IMGW na Kasprowym Wierchu. Stacja ta prowadzi monitoring gazów cieplarnianych w atmosferze do dnia dzisiejszego. Wyniki prowadzonych tam pomiarów stężenia metanu stanowią jeden z najdłuższych takich zapisów na kontynencie Europejskim i najdłuższy zapis zmian stężenia tego gazu w atmosferze nad Polską. Wyniki pierwszych pomiarów przedstawiałem na konferencji” V Ogólnopolskie Sympozjum Chromatograficzne “Ekoanalitka w Chemii Środowiska”, Toruń 8-10 IX 1998, za co otrzymałem nagrodę specjalną dla młodych naukowców.

- W roku 1996, przebywałem w Instytucie Fizyki Środowiska **Uniwersytetu w Heidelbergu** w ramach 3-miesięcznego stypendium ufundowanego przez DAAD, podczas którego brałem udział w wielu kampaniach terenowych, prowadziłem badania składu atmosfery na niemieckiej stacji pomiarowej Schauinsland, a także w miejskim powietrzu w Heidelbergu. Podsumowaniem tej działalności oraz późniejszych osiągnięć był artykuł naukowy:

Necki J., Schmidt M., Rozanski K., Zimnoch M., Korus A., Lasa J., Graul R., Levin I., "Six-year record of atmospheric carbon dioxide and methane at a high-altitude mountain site in Poland", Tellus B: Chemical and Physical Meteorology (2003), 55:2, str. 94-104.

- Od roku 1998 pracuję na **Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH**, gdzie uzyskałem znaczny dorobek naukowy i kierowałem projektami badawczymi. Mój dorobek został zaprezentowany w załączniku nr 4.

Z punktu widzenia działalności naukowej prowadzonej na więcej niż jednej uczelni lub jednostce naukowej należy uwzględnić następujące wyjazdy studyjne i staże:

- 2018 – Wyjazd studyjny do **DLR** (German Aerospace Center) w Monachium, Niemcy – pod opieką prof. Andre Butz prowadziłem badania nad stosowaniem spektrofotometrów FTIR do pomiaru profilu pionowego rozkładu metanu w atmosferze.

Podsumowaniem tej działalności były prace opublikowane z moim udziałem:

Andreas Luther, Julian Kostinek, Ralph Kleinschek, Sara Defratyka, Mila Stanisavljevic, Andreas Forstmaier, Alexandru Dandocsi, Leon Scheidweiler, Darko Dubravica, Norman Wildmann, Frank Hase, Matthias M. Frey, Jia Chen, Florian Dietrich, Jarosław Nęcki, Justyna Swolkień, Christoph Knote, Sanam N. Vardag, Anke Roiger, Andre Butz, "Observational constraints on methane emissions from Polish coal mines using a ground-based remote sensing network", Atmospheric Chemistry and Physics -2022 - vol. 22 iss. 9, s. 5859-5876.

Andreas Luther, Ralph Kleinschek, Leon Scheidweiler, Sara Defratyka, Mila Stanisavljevic, Andreas Forstmaier, Alexandru Dandocsi, Sebastian Wolff, Darko Dubravica, Norman Wildmann, Julian Kostinek, Patrick Jöckel, Anna-Leah Nickl, Theresa Klausner, Frank Hase, Matthias Frey, Jia Chen, Florian Dietrich, Jarosław Nęcki, Justyna Swolkień, Andreas Fix, Anke Roiger, André Butz, "Quantifying CH₄ emissions from hard coal mines using mobile sun-viewing Fourier transform spectrometry", Atmospheric Measurement Techniques -2019 -vol. 12 iss. 10, s. 5217-5230.

- 2015 – Staż w Instytucie **ICTA -UAB** (Institute of Environmental Science and Technology) Delta del Ebre, Hiszpania – pod opieką prof. Josepanton Morgui, prowadziłem badania bilansu metanu w środowisku o okresowym zalaniu wodą (uprawy ryżu).

- 2014 – Wyjazd studyjny do Instytutu **IMAU** (Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht) na Uniwersytecie w Utrechcie, Holandia, gdzie pod opieką prof. Thomas Roeckman prowadziłem pomiary stężenia wodoru i metanu w atmosferze w pobliżu dużych źródeł tych gazów. Podsumowaniem tej działalności była publikacja naukowa z moim udziałem:

Thomas Röckmann, Simon Eyer, Carina van der Veen, Maria E. Popp, Béla Tuzson, Guillaume Monteil, Sander Houweling, Eliza Harris, Dominik Brunner, Hubertus Fischer, Giulia Zazzeri, David Lowry, Euan G. Nisbet, Willi A. Brand, Jarosław Nęcki, Lukas Emmenegger, Joachim Mohn, “In situ observations of the isotopic composition of methane at the Cabauw tall tower site”, Atmospheric Chemistry and Physics -2016 -vol. 16 iss. 16, s. 10469-10487.

O realizacji mojej działalności naukowej na więcej niż jednej uczelni świadczy także mój udział w międzynarodowych zespołach badawczych oraz kierowanie międzynarodowymi zespołami podsumowane szczegółowo w załączniku nr 4 (łącznie 15 projektów międzynarodowych).

6. *Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.*

Osiągnięcia dydaktyczne:

- Prowadziłem autorskie wykłady na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej (WFiIS AGH) oraz na Wydziale Geografii i Geologii Uniwersytetu Jagiellońskiego (WGiG UJ). Prowadziłem także autorskie ćwiczenia i laboratoria, których jestem twórcą, a część tych przedmiotów jest prowadzona obecnie przez innych pracowników WFiIS AGH:

„Podstawy chromatografii gazowej”, wykład i laboratorium (WFiIS AGH),

„Fizyka atmosfery”, wykład i ćwiczenia terenowe (WFiIS AGH),

„Fizyka atmosfery”, wykład, ćwiczenia rachunkowe i komputerowe (Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, WGiG, UJ)

„Atmospheric physics”, wykład, ćwiczenia komputerowe w jęz. angielskim (Instytut Nauk Geologicznych, WGiG, UJ oraz WFiIS AGH),

“Wstęp do modeli dyspersyjnych”, wykład i ćwiczenia terenowe (WFiIS AGH),

„Wprowadzenie do kowariancji wirów”, wykład i ćwiczenia terenowe (WFiIS AGH),

„Nowoczesne metody w badaniach środowiska”, wykład (WFiIS AGH),
„Współczesne metody analizy gazów”, wykład i laboratorium (WFiIS AGH).

- W roku 2018 oraz 2022 organizowałem obozy naukowe studentów WFiIS AGH na Islandii, podczas których studenci wykonywali badania uwalniania metanu z obszarów przylodowcowych.

- w latach 2018 i 2019 organizowałem szkołę letnią dla doktorantów w ramach projektu MEMO², prowadziłem zajęcia „introduction to statistics for environmental sciences”.

- W roku 2015 zorganizowałem obóz naukowy z pokryciem kosztów wyjazdu ze środków projektu ramowego UE InGOS dla 15 studentów AGH z kierunku Fizyki Technicznej w Hiszpani (delta rzeki Ebre – 14 dni), poświęcony pomiarom emisji metanu z pól ryżowych. Troje uczestników obroniło prace doktorskie napisane w tematyce badań metanu na Europejskich Uniwersytetach (Piotr Korbeń – Uniwersytet w Heidelbergu, Niemcy; Sara Defratyka – Uniwersytet Wersalski, Francja; Patryk Łakomicz – Uniwersytet w Lund, Szwecja).

- Współtworzyłem program studiów specjalności „Fizyka Środowiska” dla studentów kierunku „Fizyka Techniczna” na WFiIS AGH w 2008 roku i brałem udział w jego reorganizacji w roku 2022.

- W latach 2010 – 2023 byłem opiekunem 22 prac magisterskich i recenzentem 19 prac magisterskich studentów z kierunków Fizyka Techniczna, Fizyka Medyczna i Informatyka Stosowana WFiIS AGH.

- W roku 2021 byłem recenzentem pracy doktorskiej Maliki Menoud pt. „Isotopic characterisation of atmospheric methane at different locations in Europe” obronionej na Uniwersytecie w Utrechcie, Holandia.

Osiągnięcia popularyzatorskie:

-Brałem czynny udział w projekcie „Małopolska Chmura Edukacyjna”, ukierunkowanym na organizację zajęć uniwersyteckich dla uczniów szkół średnich woj. małopolskiego. W 2015 roku Prowadziłem zajęcia z fizyki atmosfery, statystyki i wyjazd terenowy w Tatry.

-Prowadziłem cotygodniowe pokazy doświadczeń z fizyki dla dzieci ze szkół podstawowych i średnich w latach 2000 – 2006.

- Organizowałem pokazy fizyki i opiekowałem się stanowiskiem przedstawiającym Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH na Festiwalu Nauki w Krakowie w latach od 2000 do 2008.

- W latach 1999 – 2005 organizowałem stanowisko Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH na dniach otwartych AGH.

Osiągnięcia organizacyjne:

- Byłem wykonawcą **8 grantów krajowych**, z czego kierowałem 3. Szczegółowy wykaz projektów zamieszczam w załączniku nr 4.

- Byłem wykonawcą **15 grantów międzynarodowych** (w tym 13 w ramach projektów ramowych UE), z czego kierował 2, a w 3 był kierownikiem zespołu AGH. Szczegółowy opis projektów znajduje się w załączniku nr 4.

- Kierowałem pracą zespołów AGH realizujących zlecenia agend **ONZ** (IMEO oraz UNEP) na wykonywanie badań emisji metanu w Polsce i innych krajach gdzie prowadzone jest wydobycie surowców energetycznych (Australia, Emiraty Arabskie, Oman, Rumunia).

- Współpracowałem z **UNECE** w zakresie badań emisji metanu (ekspert CCAC Energy Hub organizując tzw. „metanowe poniedziałki” – wygłosiłem dwa referaty na spotkaniach zespołu w odniesieniu do pomiarów stężenia metanu i zapożarowania złóż węgla) rok 2021 – 2023

- Współpracowałem z pozarządową organizacją **Ember** w latach 2021 – 2022, raport pt.: “Coal mine methane - emission estimation metrology” przygotowane na potrzeby CCAC i EDF.

- Współpracowałem z NGO (organizacja pozarządowa) **Client Earth** w latach 2021 – 2022 w zakresie emisji metanu z sieci wydobycia i dystrybucji gazu ziemnego w Polsce. W 2022 ukazał

się raport: „Emisje metanu wyzwanie dla klimatu, energetyki i prawa.”, ISBN 978-83-953040-95

- Współpraca z Komisją Europejską (**KE**) przy tworzeniu Rozporządzenia Metanowego 2021 – 2024, w charakterze specjalisty od pomiarów stężenia metanu.

- Brałem udział w 24 konferencji **COP**, w Katowicach (na zaproszenie Europejskiej Agencji Kosmicznej) – wykład dotyczący badań emisji metanu w woj. śląskim z lat 2016 – 2018 w projekcie CoMet.

- Reprezentując Polskę, brałem udział w spotkaniu ekspertów ds. stężenia dwutlenku węgla i innych gazów śladowych powołanego przez **WMO**, które odbyło się w Toronto w 2003 roku w celu ustalenie nowej skali odniesienia pomiarów metanu. Jako ośrodek, który będzie tworzył i zarządzał tą skalą wybrano CMDL NOAA. Rok później powstała obowiązująca do dziś skala odniesienia NOAA04, przemianowana na WMOX2004, na innym spotkaniu ekspertów WMO w Tokio, w którym także brałem czynny udział.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

- W latach 2022 i 2023 otrzymałem indywidualną **Nagrodę Rektora AGH I stopnia** za osiągnięcia naukowe.

- W 2007 roku otrzymałem **Nagrodę Ministra Środowiska** za badania nad emisją gazów cieplarnianych (w tym metanu) z hydrofitowych oczyszczalni ścieków. „Zespołowa Nagroda Ministra Środowiska za szczególne osiągnięcia: Badanie funkcjonowania oraz udział w upowszechnianiu hydrofitowych oczyszczalni ścieków w Polsce”.

- W roku 2005 otrzymałem **Krzyż Zasługi III stopnia** (brązowy) za wkład w rozwój pomiarów gazów szklarniowych w Polsce.

.....
(podpis wnioskodawcy)