

Załącznik 2

dr inż. Przemysław Skotniczny

AUTOREFERAT WRAZ Z OPISEM OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO - BADAWCZYCH

w odniesieniu do art. 16 ust.2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i
tytule w zakresie sztuki

(Dz. U. 2016 r., poz 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311)

w języku polskim

1. Przebieg edukacji, posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- 1993 - 1998 Studia magisterskie na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki w Akademii Górniczo-Hutniczej, specjalność: Systemy, Maszyny i Urządzenia Energetyczne.
- 26.06.1998 Uzyskanie dyplomu ukończenia studiów wyższych i tytułu zawodowego magistra inżyniera w zakresie Systemy Maszyny i Urządzenia Energetyczne. Praca magisterska pt. "
- 1998 - 2003 Studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
- 25.06.2004 Uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w zakresie mechanika, specjalności mechanika płynów w Akademii Górniczo-Hutniczej, na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, na podstawie rozprawy doktorskiej pt. "Przepływ płynu nieściśliwego w dyfuzorze prostokątnym".

2. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2002 - 2003 Asystent w Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH
- 2004 - 2008 Specjalista w Pracowni Wentylacji Kopalń Instytutu Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- 2006 - nadal Kierownik ds. Jakości w Laboratorium Wzorującym Wentylacyjne Przyrządy Pomiarowe w Instytucie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- 2008 - 2016 Adiunkt w Pracowni Wentylacji Kopalń Instytutu Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- 2009 - nadal Kierownik Pracowni Wentylacji Kopalń w Instytucie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- 2012 - nadal Zastępca Kierownika Laboratorium Wzorującego Wentylacyjne Przyrządy Pomiarowe w Instytucie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- 2012 - nadal Zastępca Kierownika Technicznego Laboratorium Wzorującego Wentylacyjne Przyrządy Pomiarowe w Instytucie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.

3. Opis osiągnięcia naukowo-badawczego, w odniesieniu do art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

Jako osiągnięcie naukowo-badawcze stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego przedstawiam monografię pt.:

"Analiza przepływu powietrza w złożonych strukturach górniczych z wykorzystaniem metod numerycznej mechaniki płynów wraz z ich eksperymentalną walidacją".

Skotniczny P., 2018, Archiwum Górnictwa, Seria Monografie nr 18.

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Wacław Trutwin,
dr hab. inż. Elżbieta Fornalik-Wajs, prof. AGH.

Podjęty w omawianej monografii problem naukowy dotyczy zagadnień związanych z modelowaniem numerycznym przepływów powietrza w złożonych strukturach górniczych i stanowi oryginalne osiągnięcia naukowe w **discyplinie górnictwo i geologia inżynierska w zakresie aerologii górniczej**. Występujące w pracy sformułowanie „**złożone struktury górnicze**” odnosi się nie tylko do sieci wentylacyjnej kopalni. Pod tym terminem należy również rozumieć złożę porowate, takie jak zroby ścianowe oraz zwałowiska odpadów powęglowych.

Pozyskiwanie węgla kamiennego w polskich warunkach geologicznych jest nierozdzielnie związane z eksploatacją podziemną. Głębokość zalegania pokładów jest na tyle duża, że do wydobycia surowca niezbędne jest prowadzenie sieci wyrobisk o często skomplikowanych konfiguracjach przestrzennych. W tego typu sieciach zagadnienia związane z przepływem powietrza wentylacyjnego są szczególnie istotne dla bezpieczeństwa załóg oraz związanej z tym efektywności wydobycia kopaliny^{1 2}.

Równoległe z eksploatacją złóż wytwarzana jest duża ilość odpadów przerobczych i procesowych. Część z nich poddawana jest bieżącej utylizacji, natomiast pozostała część składowana jest na zwałowiskach odpadów powęglowych. W tych obiektach występuje zagrożenie pojawienia się pożarów endogenicznych związanych z obecnością tlenu zawartego

¹ Krause E., Dziurzyński W., 2015, Projektowanie eksploatacji pokładów węgla kamiennego w warunkach skojarzonego zagrożenia metanowo-pożarowego. Główny Instytut Górnictwa. Katowice

² Krause E., 2015, Krótkoterminowe prognozy wydzielania się metanu podczas wybierania ścian. Archives of Mining Sciences vol. 60, No 2, pp.629-642.

w powietrzu atmosferycznym przenikającym do wnętrza zwałowiska i wchodzącego w reakcję z resztkami zawartego w nich węgla.

Procesy wydobywcze i przeróbcze są ze sobą skorelowane technologicznie. Liczba wydobytych ton węgla przekłada się proporcjonalnie na liczbę odpadów przeróbczych, składowanych na zwałowiskach. Przyjmuje się że na 1 tonę wydobytego węgla przypada obecnie od 0.25 do 0.35 tony odpadów, jednak dla obiektów formowanych w ubiegłym wieku ta liczba osiągała wartość nawet do 0.5 tony na tonę wydobytego węgla³.

Specjaliści zajmujący się zagadnieniami aerologicznymi występującymi w szeroko rozumianym przemyśle wydobywczym analizują zjawiska przepływowe mogące wpływać na bezpieczeństwo pracy oraz efektywność procesów technologicznych. W przypadku występowania prostych zjawisk przepływowych, mających miejsce zazwyczaj podczas przepływu powietrza w nieskomplikowanych geometriach ich identyfikacja oraz adekwatna decyzja podejmowana jest błyskawicznie. Jednak gdy zjawisko przepływowe jest bardziej złożone, wtedy do właściwego rozeznania problemu potrzebna jest głębsza, nierzadko czasochłonna analiza. W takim przypadku atrakcyjne staje się wykorzystanie narzędzi numerycznej mechaniki płynów CFD (Computational Fluid Dynamics). Przy użyciu odpowiednich programów (*solverów*) stworzonych z myślą o rozwiązywaniu skomplikowanych przypadków przepływowych występujących w geometriach o złożonej topologii można relatywnie szybko oszacować wpływ zjawiska na bezpieczeństwo i efektywność procesu. Jednak wyniki obliczeń uzyskane z symulacji CFD używane do oceny ryzyka procesu technologicznego muszą być wiarygodne.

Wiarygodność wyników uzyskuje się poprzez walidację⁴ rozwiązania numerycznego. W znakomitej większości przypadków do walidacji wykorzystuje się dane pochodzące z eksperymentów laboratoryjnych. Istnieje jednak ryzyko, że w przypadku rozpatrywania zagadnień aerologicznych zachodzących w złożonych strukturach górniczych dane laboratoryjne niedokładnie odwzorują zjawisko. Jest to związane ze skalą przepływów rzeczywistych, którą jest trudno odwzorować w warunkach laboratoryjnych.

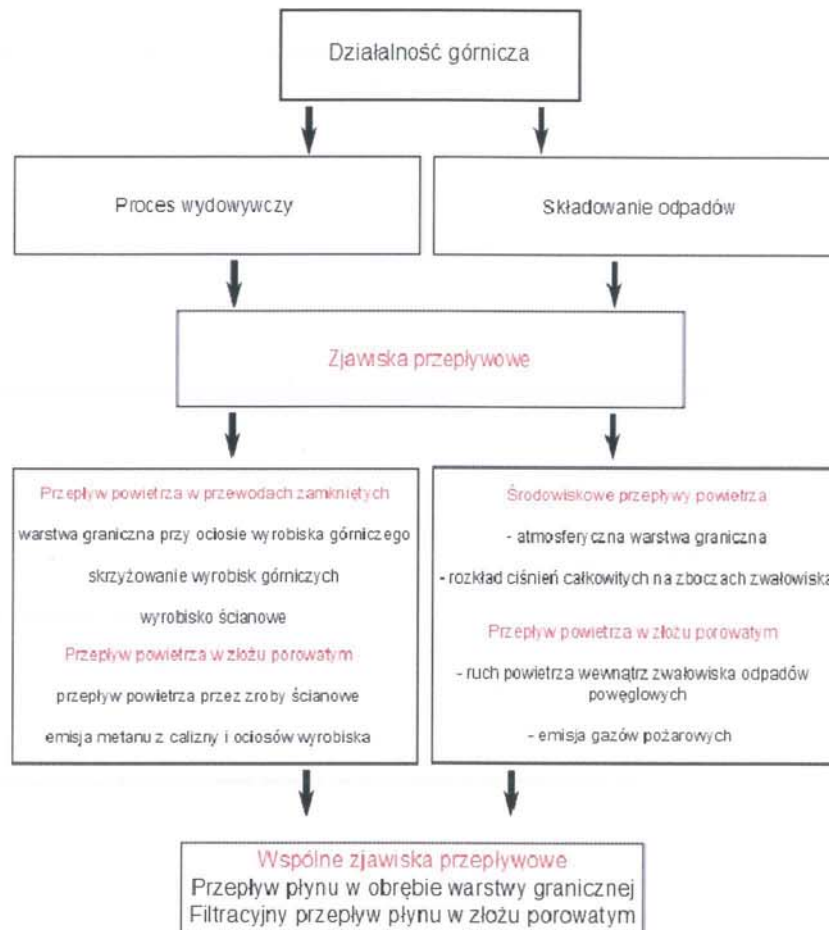
Zarówno podczas realizacji procesu wydobywczego, jak i przy składowaniu odpadów, występuje szereg zjawisk związanych z przepływem powietrza (Rys.1). Spośród wielu zjawisk obecnych w przepływie w omawianym obszarze wyróżniłem dwa, mające bezpośredni wpływ zarówno na intensywność i sposób wydzielania metanu ze zrobów oraz z

³ Kugiel M., Piekło R., 2002, Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Haldex S.A., Górnictwo i Geologia 2012 tom 7 zeszyt 1

⁴ Oberkampf W.L., Trucano T.G., "Validation methodology in computational fluid dynamics", AIAA Journal, 2000-2549,2000

calizny węglowej jak i na intensywność procesu samozagrzewania⁵. resztek węglowych obecnych w materiale zdeponowanym na zwałowisku odpadów powęglowych. Są nimi:

- przepływ powietrza w obrębie warstwy granicznej tworzącej się w pobliżu ociosów wyrobiska górniczego i zboczy zwałowiska odpadów powęglowych,
- przepływ filtracyjny w złożu porowatym rozumianym jako górotwór naruszony eksploatacją (zroby) oraz materiał zwałowiska odpadów powęglowych.



Rys.1. Zjawiska przepływowe w działalności górniczej. Miejsca występowania oraz cechy wspólne

⁵ Cygankiewicz J.: Modelowanie emisji gazów z zagrzewającego się złoża węgla. Materiały konferencyjne 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 2006 157

Gumińska, J. and Różański, Z. 2005. Analiza aktywności termicznej Śląskich zwałowisk odpadów powęglowych . *Karbo* nr 1.

Korski, J., Henslok, P. Bodynek, P. 2004. Doświadczenia z likwidacji zapożarowania zwałowiska odpadów powęglowych „Skalny” w Łaziskach Górnych . *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo* z 261, s. 463–474.

Korski, J., Friede, R. Henslok, P. 2007. Likwidacja egzogenicznych ognisk pożarowych zwałowiska odpadów powęglowych „Waleska” w Łaziskach Górnych . *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo* nr. 1715, z. 271.

Raport „Stan Środowiska w województwie Śląskim”, Raport 2015 BMS, Katowice.

Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Tekst jednolity Dz.U. z 2013 r. poz. 1136).

Report 2002. Coal Waste Impoundments Risks, Responses, and Alternatives Committee on Coal Waste Impoundments, Committee on Earth Resources, Board on Earth Sciences and Resources, Division on Earth and Life Studies National Research Council. NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington D.C.

Zidentyfikowanie wspólnego zbioru zjawisk przepływowych ma kluczowe znaczenie przy późniejszym procesie walidacji rozwiązań numerycznych. Na podstawie tej identyfikacji eksperymenty wykonywane w trudnych warunkach kopalnianych oraz na zwałowiskach odpadów powęglowych mogą zostać **ograniczone do zbioru danych wystarczających do opisu omawianych zjawisk**.

Poruszane w pracy zagadnienia przepływu powietrza, traktowanego jako płyn rzeczywisty, niezależnie od miejsca występowania (wzrost podziemne lub zwałowisko odpadów powęglowych) należą do klasy przepływów turbulentnych. W rozdziale 2 zaprezentowałem wstęp teoretyczny opisujący charakter przepływów turbulentnych w zakresie wymaganym do zrozumienia zagadnień opisywanych w monografii.

Obecność turbulencji w przepływie powietrza wymusza, zastosowanie odpowiednich technik pomiarowych w celu określenia interesujących w aspekcie walidacyjnym wielkości. W treści rozdziału 4 zaprezentowałem przegląd dostępnych technik oraz przyrządów pomiarowych używanych w przemyśle wydobywczym i w pomiarach laboratoryjnych. Walidacja rozwiązania numerycznego wykonana jednorazowo dla wybranego modelu turbulencji oraz dla konkretnej geometrii (domeny obliczeniowej), umożliwiłaby głębszą analizę przydatności wybranego modelu do określonych celów obliczeniowych. Zweryfikowany w ten sposób model mógłby być w następnym kroku wykorzystany w wielowariantowej analizie danego przypadku, umożliwiającej przeprowadzenie optymalizacji przepływu. Aby przedstawić istotę walidacji, w dalszej części rozdziału zaprezentowałem proste przypadki laboratoryjne, obejmujące charakterystyczne zjawiska przepływowe, takie jak rozkład wektora prędkości powietrza w obrębie warstwy granicznej oraz przepływ powietrza w złożu porowatym. Wykonałem dla nich walidację wyników obliczeń numerycznych z wykorzystaniem danych eksperymentalnych. Okazało się, że nie wszystkie modele turbulencji poprawnie odwzorowują sposób przepływu w omawianych domenach obliczeniowych. Użyte w tych eksperymentach wielokanałowe systemy termooanemometryczne pozwoliły uzyskać odpowiednie dane do walidacji rozwiązań numerycznych. W związku z powyższym zainteresowałem się możliwością wykorzystania termooanemometrów do pomiarów w warunkach górniczych.

Spośród dostępnych przyrządów, wybrałem wielokanałowy system termooanemometryczny w wykonaniu specjalnym⁶, który umożliwił pomiar **zmiennych w**

⁶ Ligęza P., Poleszczyk E., Skotniczny P., 2009, Hot-wire anemometric measurement systems in mining applications. Archives of Mining Sciences., Monograph No 6, s.1-92

czasie składowych wektora prędkości U w wybranych punktach wyrobisk korytarzowych. Pomiary wykonałem w rzeczywistych warunkach, podczas normalnego ruchu kopalni. Należy nadmienić, że omawiany system termooanemometryczny został po raz pierwszy z sukcesem wykorzystany w tak trudnych warunkach środowiskowych⁷.

Uzyskane z pomiarów dane eksperymentalne posłużyły do walidacji rozwiązań numerycznych przeprowadzonych dla omawianych w pracy przypadków przepływowych z wykorzystaniem dostępnych w komercyjnym *solwerze* CFD (Ansys Fluent) modeli turbulencji. (opisanych w rozdziale 3). Dobór właściwego modelu, stanowiącego domknięcie turbulentnych równań ruchu, jest najistotniejszym elementem przeprowadzanej analizy zagadnienia przepływowego.

Ze zbioru dostępnych modeli turbulencji, charakteryzujących się różnym podejściem do zagadnienia wyznaczania wartości składowych tensora naprężeń turbulentnych (tensora Reynoldsa), wybrałem na podstawie wyników eksperymentów walidacyjnych, najlepszy w aspekcie wykorzystania do obliczeń omawianych w pracy przypadków przepływowych. Okazał się nim **dwurównaniowy model $k-\omega$ -SST, należący do grupy modeli uRANS (*unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes*)** mogący być wykorzystywany wymiennie z modelem hybrydowym SAS (będącym rozszerzeniem modelu $k-\omega$ -SST). Wyniki wykonanych przeze mnie symulacji numerycznych przypadków przepływowych, obliczonych przy użyciu tych dwóch modeli, były najbardziej zbliżone do wartości danych eksperymentalnych pozyskanych z pomiarów *in situ*.

Wprowadzenie technik anemometrycznych do metrologii górniczej dało bardzo mocny walor poznawczy, jak również okazało się nieocenione w procesie walidacji rozwiązań numerycznych (por. rozdział 4 oraz 5). Oczywiście należy pamiętać o tym, że ze względu na niską trwałość sond termooanemometrycznych oraz braku iskrobezpieczeństwa urządzeń, termooanometrię można stosować tylko w celach badawczych, w kontrolowanych warunkach.

Na interesujący aspekt poznawczy zwróciłem uwagę podczas analizowania rozwiązania numerycznego z zastosowaniem modelu turbulencji SAS. Przykład, opisany w rozdziale 5 dotyczył określenia rozkładu wartości wektora prędkości w strefie przyociosowej wyrobiska prowadzonego w obudowie typu ŁP. Podczas przygotowywania modelu CFD użytkownik opiera się najczęściej na danych literaturowych, określających

Ligęza P., 2001, Układy termooanemometryczne: struktura, modelowanie, przyrządy i systemy pomiarowe, Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków

⁷ Ligęza P., Poleszczyk E., Skotniczny P., 2008, Analiza rozkładu prędkości powietrza w warstwie przyściennej w warunkach przepływu w wyrobisku górniczym. Prz. Gór. vol.7-8

rodzaj zastosowanego modelu turbulencji w podobnym przypadku geometrycznym i dynamicznym. **Takie podejście może okazać się niewłaściwe z uwagi na dość częsty brak w literaturze dokładnych danych, dotyczących warunków brzegowych i początkowych eksperymentu porównawczego.** W omawianym przykładzie, wprowadzenie do obliczeń bardziej zaawansowanego modelu SAS oraz późniejsza analiza danych numerycznych niestacjonarnej symulacji przepływu powietrza w strefie przyciosowej wyrobiska, umożliwiła mi dokładne wytłumaczenie rozbieżności pomiędzy danymi eksperymentalnymi a wynikami obliczeń numerycznych stanu ustalonego, wykonanych z zastosowaniem "prostszego" modelu $k-\omega$ -SST. Poprzez przytoczony powyżej przykład **zaakcentowałem wagę prowadzenia symulacji komputerowych przy znajomości eksperymentalnych rozkładów wartości parametrów charakteryzujących turbulentny ruch płynu w wybranym przekroju wyrobiska korytarzowego.** Przy braku tej wiedzy przedstawione rozwiązanie mogłoby zostać uznane za prawidłowe i obowiązujące w dalszych rozważaniach. Bez uwzględnienia w przepływie dodatkowych czynników 'turbulizujących' strugę powietrza można było uzyskać zaniżone wartości parametrów charakteryzujących przepływ turbulentny.

W dalszym ciągu rozdziału 5 wskazałem na kolejną ważną funkcją numerycznego modelowania procesów przepływowych w wyrobiskach kopalnianych sieci wentylacyjnych, jaką jest możliwość odtwarzania zdarzeń na podstawie niepełnych informacji, pochodzących z punktowych pomiarów systemu monitoringu kopalnianego. To działanie przedstawiłem na przykładzie nagłego wypływu metanu z rejonu przodka wyrobiska korytarzowego. W wyniku przeprowadzonej symulacji numerycznej **odtworzyłem możliwy przebieg zdarzenia, podając wartości oraz czas utrzymywania się niebezpiecznych stężeń metanu w warunkach znanej wartości strumienia objętości powietrza przewietrzającego ślepe wyrobisko.** Ponieważ uzyskane z obliczeń numerycznych dane pokrywały się z wartościami stężeń zarejestrowanych przez kopalnianą sieć monitoringu, mogły zostać uznane za wiarygodne.

Następnie skoncentrowałem się na możliwościach wykorzystania numerycznej mechaniki płynów w zagadnieniach związanych z przepływami środowiskowymi. W rozdziale 6 przedstawiłem rozkłady ciśnień statycznych tworzących się na zboczach oraz wartości wektora prędkości powietrza podczas turbulentnego przepływu powietrza wokół bryły zwałowiska odpadów powęglowych. Rozważania przeprowadziłem na podstawie analizy wyników symulacji przeprowadzonej dla modelu cyfrowego istniejącego zwałowiska „Stożki Rymer”.

Wyraźna obecność obszarów charakteryzujących się dużymi różnicami ciśnień statycznych p_s , całkowitych p_c oraz ich gradientów na powierzchni zwałowiska, spowodowanymi ruchem mas powietrza w otoczeniu zwałowiska, mogła mieć wpływ na intensywność potencjalnych procesów termicznych wewnątrz zwałowiska. Duże różnice ciśnień na powierzchni zwałowiska powodują, że wewnątrz zwałowiska, traktowane jako materiał porowaty, łatwiej ulega penetracji, co intensyfikuje jego napowietrzenie. Intensywna wymiana masy spowodowana napowietrzeniem, w warunkach słabej wymiany energii cieplnej produkowanej w procesie niskotemperaturowego utleniania resztek węglowych obecnych w materiale zwałowiska, może spowodować wzrost temperatury materiału aż do wartości krytycznej, powyżej której rozpoczyna się proces pożaru endogenicznego. Do zobrazowania zjawiska lokalnego napowietrzania konieczna była modyfikacja zaprojektowanej domeny obliczeniowej polegająca na określeniu wewnątrz zwałowiska jako złoża porowate o znanych parametrach. Do wyznaczenia parametrów złoża porowatego, takich jak współczynnik filtracji ξ oraz porowatość Φ została użyta metoda opisana w normie PN-EN 1097-3/2000.

Podczas analizy wartości parametrów ξ oraz Φ określonych na podstawie próbek materiału pozyskanych z odwiertów zlokalizowanych na zwałowisku "Stożki Rymer" zauważyłem bardzo duży rozrzut wartości parametrów szczególnie współczynnika filtracji ξ . Był on spowodowany złą jakością próbek, pozyskanych z rdzeni wykonanych podczas odwiertów kontrolnych w materiale zwałowiska. Pobrane próbki nie odzwierciedlały struktury wewnętrznej zwałowiska i uniemożliwiły określenie rzeczywistych parametrów złoża.

W związku z brakiem danych parametrów złoża, rozwiązania numeryczne zagadnienia przepływu filtracyjnego wewnątrz bryły zwałowiska mogłem traktować jedynie jakościowo. Pomimo tego uważam, że **uzyskane wyniki obliczeń były przydatne w aspekcie poznawczym**. Wykonując obliczenia dla uśrednionych wartości ξ oraz Φ można było zauważyć następujące prawidłowości w mechanizmie wymiany masy powietrza pomiędzy atmosferą a zwałowiskiem:

- bezpośrednia penetracja materiału zwałowiska pod wpływem działania ciśnienia całkowitego na zbcze,
- tworzenie się tzw. kominów konwekcyjnych pod wpływem specyficznych konfiguracji przestrzennych gradientów ciśnień statycznych na powierzchni zwałowiska.

Metoda numeryczna, sprzężona z eksperymentem *in situ*, jest obiecująca w aspekcie wdrożenia efektywnego monitoringu termicznego zwałowiska oraz, w razie konieczności, przeprowadzenia racjonalnego procesu jego rekultywacji.

W dalszej części rozdziału 6 zaprezentowałem wyniki analiz korelacyjnych wartości stężeń tlenu w otworach badawczych, wykonanych w wybranych miejscach zwałowiska „Waleska”, z wartościami danych meteorologicznych, takich jak prędkość i kierunek wiatru przepływającego w otoczeniu omawianego obiektu. Wyniki pochodziły z długoterminowych pomiarów⁸ i uzyskano je w trakcie realizacji projektu badawczego trwającego od 2009 do 2011 roku. W ramach projektu w wybranych miejscach zwałowiska wykonano otwory badawcze. Wybór miejsca ulokowania otworu był podyktowany potrzebą określenia wpływu warunków meteorologicznych (takich jak kierunek i prędkość wiatru oraz ciśnienie barometryczne) na stężenie tlenu wewnątrz zwałowiska, czyli na parametr określający napowietrzenie materiału deponowanego oraz ryzyko wystąpienia pożaru endogenicznego. Źródłem danych były autonomiczne stacje pomiarowe zabudowane w otworach badawczych, umieszczonych w wybranych miejscach zboczy zwałowiska. Zainstalowany na zwałowisku system pomiarowy umożliwiał całodobowy i całoroczny zapis zmierzonych danych w nieulotnej pamięci wewnętrznej. Pojedyncza stacja pomiarowa rejestrowała dane zawierające stężenia gazów (CO, CO₂ i O₂) oraz temperatur wewnątrz zwałowiska w odstępach co 30 minut. Posiadając komplet danych pomiarowych z trzech lat funkcjonowania systemu pomiarowego mogłem przeprowadzić analizę zmiany zawartości tlenu, zmierzonego w otworach badawczych, w funkcji zmian warunków meteorologicznych w otoczeniu zwałowiska.

Ze względu na to, że liczba zgromadzonych danych była bardzo duża, analiza całościowa była utrudniona. Dodatkowo, z uwagi na wielowymiarowość czynników mogących mieć wpływ na zjawisko napowietrzania zwałowiska, podczas próby globalnej analizy danych z całego roku, można było popełnić błąd, spowodowany wpływem przypadkowych zdarzeń losowych, zaistniałych podczas procesu zbierania danych. Z tego powodu musiały one zostać odpowiednio przygotowane. Czynność ta polegała na doborze zestawu zmierzonych wartości stężenia tlenu i skorelowaniu ich z danymi meteorologicznymi, charakteryzującymi się niezmiennością w pewnym interwale czasowym. Po analizie danych meteorologicznych okazało się, że jedyną wielkością zachowującą się *quasi* - stacjonarnie w dostatecznie długim przedziale czasu, jest kierunek wiatru napływającego na zwałowisko. Terminem ‘dostatecznie długi przedział czasu’ w omawianym

⁸ Wasilewski S., Skotniczny P., 2015, Mining waste dumps – modern monitoring of thermal and gas activities, Mineral Resources Management, issue 1 vol.31

przypadku określiłem przedział czasu wynoszący minimum 6 godzin. Czas ten umożliwiał rejestrację próbki z 12 obserwacjami stężenia tlenu. Liczba ta była wartością minimalną potrzebną do analizy statystycznej zjawiska.

Przeprowadzone przeze mnie analiza statystyczna dobowych zmian stężeń tlenu mierzonego w otworach badawczych w funkcji zmian kierunku wiatru doprowadziła do ciekawych wniosków omówionych na podstawie zamieszczonych w rozdziale przykładów. W zestawie danych eksperymentalnych można było znaleźć wartości skorelowane ze sobą, jednak częstość ich występowania nie była zadawalająca. Najprawdopodobniej było to związane ze sposobem pozyskiwania danych meteorologicznych. Dane te nie były zbierane bezpośrednio na zwałowisku, lecz na stacji meteo oddalonej od omawianego obiektu o kilkadziesiąt kilometrów. Fakt ten mógł spowodować występowanie danych błędnie odzwierciedlających faktyczne warunki pogodowe w otoczeniu zwałowiska "Waleska". Precyzja danych meteo mogła być szczególnie istotna podczas nagłych zmian wartości i kierunku wiatru. Pomimo tego uważam, że **podejście statystyczne do procesów aeracji materiału zwałowiska, pod warunkiem wprowadzenia usprawnień w postaci lokalnego pomiaru warunków atmosferycznych oraz ciągłości rejestracji danych pomiarowych jest słuszne i przydatne szczególnie w aspekcie poznawczym.**

W dalszej części pracy (rozdział 7) zająłem się szczególnym przypadkiem numerycznej mechaniki płynów – przepływem stycznym płynu nad złożem porowatym. Zainteresowanie tym tematem wynikało bezpośrednio z analiz wyników symulacji numerycznych przeprowadzanych zarówno dla przypadków przepływu powietrza w wyrobisku górniczym, jak i w otoczeniu zwałowiska odpadów powęglowych, opisanych we wcześniejszych rozdziałach. W obu przypadkach podczas przepływu powietrza istnieje obszar, w którym struga powietrza przepływa stycznie do ociosu, lub zbocza zwałowiska. Zwróciłem uwagę na braki w matematycznym opisie tego zjawiska. Obszar warstwy granicznej, tworzącej się nad złożem porowatym w omawianej konfiguracji przepływowej jest niewystarczająco określony, co powoduje różnice w wartościach rozkładów prędkości nad złożem, w przypadku porównywania danych numerycznych i eksperymentalnych. Efekt ten wynika z pominięcia w omawianym obszarze istnienia naprężeń lepkich w równaniach transportu na rzecz składowej turbulენტnej naprężeń stycznych. Jest to związane z brakiem możliwości wprowadzenia na styku obu faz warunku brzegowego typu 'półprzepuszczalna ściana'.

Z tego powodu zaproponowałem stworzenie modelu, który będzie posiadał dodatkową warstwę 'łączącą' obszar porowaty z przepływem swobodnym. Dla tej

warstwy, o wstępnie szacowanej niezerowej grubości, można wprowadzić dodatkowy człon źródłowy do równania zachowania pędu w wybranym modelu turbulencji.

Dodatkowy człon źródłowy, uwzględniający obecność dużego gradientu lepkich naprężeń stycznych w pobliżu płaszczyzny podziału, odpowiednio 'symulowałyby' istnienie półprzepuszczalnej ściany, wpływającej na wartości prędkości w jej pobliżu.

Zaproponowana koncepcja hybrydowego modelu złoża porowatego, charakteryzująca się występowaniem dodatkowego warunku brzegowego typu 'półprzepuszczalna ściana' określonego w płaszczyźnie łączącej przepływ swobodny oraz filtracyjny, ma również zastosowanie jako warunek brzegowy podczas przepływu przyściennego w wyrobisku górniczym prowadzonym w obudowie łukowej. Wykazana na podstawie danych eksperymentalnych i numerycznych periodyczność w przepływie powietrza w warstwie granicznej, tworzącej się nad omawianym w treści rozdziału 7, modelowym złożem kulek, jest tożsama jakościowo z warstwą graniczną tworzącą się w pobliżu ociosów wyrobiska (rozdział 5).

Omówiony efekt z całą pewnością ma wpływ na wyniki uzyskiwane z analizy numerycznej w przypadku 'czystego' przepływu stycznego powietrza nad złożem porowatym. Jednak w tym miejscu pojawia się pytanie o realny wpływ tego zjawiska na wyniki symulacji rzeczywistych przypadków przepływowych.

Rozpatrując sposób przepływu powietrza w wyrobiskach ścianowych wraz z przylegającymi do nich zrobami, jak również w zwałowiskach odpadów powęglowych, można stwierdzić, że 'czysto styczna' konfiguracja przepływowa pojawia się zarówno w pierwszym, jak i w drugim przypadku, na relatywnie niewielkim obszarze:

- dla wyrobiska ścianowego jest to jego fragment w rejonie środka ściany,
- dla zwałowiska odpadów powęglowych – część wierzchołki zwałowiska.

Zdecydowana większość powietrza, decydująca o napowietrzaniu (aeracji) opisywanych obiektów, pochodzi z gwałtownej zmiany pędu strugi przepływającego powietrza. W przypadku zrobów jest to rejon skrzyżowania wyrobiska podścianowego z kanałem ściany (dolne naroże), gdzie w wyniku zmiany kierunku przepływu (o 90°) następuje spiętrzenie strugi powietrza, decydujące o powstaniu dużej strefy nadciśnienia, oraz obszar skrzyżowania wyrobiska nadścianowego z kanałem ściany (górne naroże), w którym zmiana kierunku przepływu powietrza powoduje powstanie strefy podciśnienia. Występowanie dwóch dużych stref ciśnień o różnych znakach wywołuje gradient ciśnienia, który jest odpowiedzialny za przepływ filtracyjny w obszarze zrobów.

Na zwałowiskach odpadów powęglowych proces napowietrzania ma podobny przebieg. Przepływająca masa powietrza, napotykając od strony nawietrznej zbocza zwałowiska, wytraca swój pęd na rzecz zwiększenia wartości ciśnienia całkowitego. W zależności od liczby tarasów technologicznych, wykonanych podczas budowy zwałowiska, proces ten powtarza się, powodując lokalne gradienty ciśnień, które miejscowo intensyfikują wymianę powietrza pomiędzy zwałowiskiem a otoczeniem.

Jednak w przypadku przepływu powietrza w prostoliniowym wyrobisku korytarzowym, przy założeniu, że wyrobisko znajduje się w otoczeniu górotworu naruszonego eksploatacją (znana wartość porowatości oraz współczynnika filtracji), można mówić o przepływie czysto stycznym. **Dla tego przypadku idea hybrydowego złoża porowatego wraz z wprowadzonym warunkiem brzegowym ‘półprzepuszczalna ściana’ jest istotna, szczególnie w warunkach wydzielania metanu z ociosów lub spągu wyrobiska.**

Monografię kończy podsumowanie, w którym zebrałem uzyskane wyniki badań. Przypadki przepływowe, które opisałem w pracy, ich reprezentacja numeryczna oraz eksperymentalna, wskazują na występowanie cech wspólnych przepływów obecnych w podziemnych sieciach wyrobisk oraz na zwałowiskach odpadów powęglowych. Te podobieństwa umożliwiają stosowanie tych samych modeli turbulencji do opisów zjawisk przepływowych mających wpływ na bezpieczeństwo oraz efektywność procesów technologicznych.

Należy jednak pamiętać, że wybór modelu turbulencji, używanego do ich opisu, powinien być sprzężony z analizą adekwatnych do przypadku danych eksperymentalnych. Umiejętnie wykonany eksperyment umożliwia uchwycenie charakteru przepływu oraz zespołu zjawisk określających jego główny mechanizm. Dokonany na tej podstawie dobór odpowiedniego modelu turbulencji będzie gwarantował uzyskanie poprawnych wyników obliczeń numerycznych, umożliwiającą dalszą analizę wielowariantową danego przypadku.

4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

4.1. Działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

Studia magisterskie ukończyłem 26 czerwca 1998 roku na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH, na specjalności Maszyny i Urządzenia Energetyczne z wynikiem dobrym. Pracę magisterską pod tytułem "Podstawy konstrukcji elektrowni wiatrowych z uwzględnieniem lokalnych zasobów wiatru" napisałem pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Stanisława Gumuły. Od września 1998 roku rozpocząłem studia na stacjonarnym studium doktoranckim na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. W trakcie studiów doktoranckich prowadziłem zajęcia laboratoryjne z przedmiotu **Miernictwo Ciepne i Energetyczne** dla studentów dziennych Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Do ćwiczenia laboratoryjnego **Termoanemometryczne metody wyznaczania prędkości powietrza w przewodach zamkniętych** – wykonałem projekt stanowiska i instrukcję do ćwiczenia.

W latach 1999 – 2003 prowadziłem ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu **Mechanika Płynów** dla studentów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH:

- **Termoanemometryczne metody pomiaru prędkości przepływu gazu**
- **Współpraca równoległa pomp**

Ponadto w tym okresie prowadziłem również ćwiczenia z przedmiotu **Informatyka** dla studentów zaocznych Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH.

W latach 1998 – 2000 współpracowałem z *Krakowskim Zespołem Ekspertów* w szkoleniach o tematyce **budowlano – inżynieryjnej**.

W latach 1998 – 2001 prowadziłem **Kurs Audytorów Energetycznych** (organizowany przez Narodową Agencję Poszanowania Energii).

W trakcie trwania studiów doktoranckich zainteresowałem się zaawansowanymi technikami pomiaru wektora prędkości strugi gazu (powietrza) w zagadnieniach optymalizacyjnych elementów maszyn przepływowych. Moje zainteresowania znalazły odzwierciedlenie w szeregu publikacji⁹.

⁹ Gumuła S., Prync Skotniczny K., Skotniczny P., 1999, Wybrane charakterystyki katalizatora silnika wysokoprężnego SW-400. Fourth International Symposium „Combustion Engines in Military Applications”, SILWOJ'99, Jurata, 13-15 października

Gumuła S., Prync Skotniczny K., Skotniczny P., 1999, Korekta konstrukcji katalizatora silnika spalinowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Inżynieria Środowiska z.41

Równocześnie, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Stanisława Gumuły rozpocząłem badania związane z przepływem płynów rzeczywistych w kanałach rozbieżnych, których wyniki publikowane w materiałach konferencyjnych oraz w artykułach naukowych¹⁰ umożliwiły późniejsze sformułowanie tematu mojej rozprawy doktorskiej.

W roku 2004 obroniłem pracę doktorską pod tytułem "Przepływ płynu nieściśliwego w dyfuzorze prostokątnym", której promotorem był prof. dr hab. inż. Stanisław Gumuła, a recenzentami w przewodzie doktorskim byli: prof. dr hab. Jan Kiełbasa, KMiUE AGH, prof. dr hab. inż. Waław Trutwin, IMG PAN oraz dr hab. inż. Krzysztof Jesionek, Prof. PW. 25 czerwca 2004 r. Rada Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH w Krakowie nadała mi stopień naukowy doktora nauk technicznych.

4.2. Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

W lipcu 2004 roku, po obronie pracy doktorskiej zostałem przyjęty do Pracowni Wentylacji Kopalń w Instytucie Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk.

Od samego początku pracy w Instytucie wykorzystywałem wiedzę zdobytą podczas studiów doktoranckich do rozwiązywania zagadnień związanych z wentylacją kopalń. W pierwszych miesiącach mojego zatrudnienia współtworzyłem grupę zajmującą się wdrażaniem obliczeń numerycznych do rozwiązywania zagadnień przepływów w wyrobiskach górniczych oraz problemów dotyczących zagadnień związanych z ochroną powierzchni przed skutkami eksploatacji podziemnej. W ramach tej grupy byłem współtwórcą systemu obliczeniowego¹¹ (klastr komputerowy) odpowiedzialnym za funkcjonowanie *solvera* CFD Fluent v.6.1. Pierwsze symulacje numeryczne wykorzystujące moc klastra obliczeniowego wykonane przeze mnie dotyczyły badań w rozgałęzieniach

Gumuła S., Prync Skotniczny K., Skotniczny P., 1999, Wybrane charakterystyki katalizatora silnika spalinowego. VI Ogólnopolskie Sympozjum. Zastosowanie Mechaniki Płynów w Inżynierii Środowiska'99, Gliwice-Wisła

Gumuła S., Prync Skotniczny K., Skotniczny P., 1999, Wybrane charakterystyki katalizatora silnika spalinowego. VI Ogólnopolskie Sympozjum. Zastosowanie Mechaniki Płynów w Inżynierii Środowiska'99, Gliwice-Wisła

¹⁰ Gumuła S., Prync Skotniczny K., Skotniczny P., 2000, Wybrane właściwości przepływu powietrza w dyfuzorze. Ciepłotechniczne maszyny przepływowe. Turbomachiny, No.117, s. 55-61, Łódź

Gumuła S., Prync Skotniczny K., Skotniczny P., 2002, Kształtowanie profilu prędkości w dyfuzorze przy pomocy układu kierownic. XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna. Wentylacja, Klimatyzacja i Energetyka Ciepła w Budownictwie Ogólnym. 9-11 października, Zakopane-Kościelisko, s. 117-126

Skotniczny P., 2004, Struktury turbulენტne występujące w strudze powietrza w kanale rozbieżnym. XII Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Kraków, s. 773

¹¹ Skotniczny, P., Krawczyk J., Sobczyk J., Florkowska L., 2005, Uruchomienie klastra obliczeniowego w Instytucie Mechaniki Górniczej PAN, IMG PAN

wyrobisk korytarzowych¹². W ramach tych badań po raz pierwszy wykorzystałem z powodzeniem termoanemometr z grzany włóknem do pomiarów rozkładu prędkości w przekroju poprzecznym wyrobiska w wyrobisku górniczym oraz określeniu zasięgu strefy recyrkulacji za odzwaniami tamy wentylacyjnej. Wyniki eksperymentu zostały opublikowane¹³ i zweryfikowane w późniejszym czasie badaniami *in situ* z zastosowaniem termoanemometrycznego systemu wielopunktowego¹⁴.

W tym samym roku miałem okazję zetknąć się z problematyką pożarów endogenicznych występujących na zwałowiskach odpadów powęglowych. Od tej chwili moje prace naukowe przebiegały równolegle, w dwóch następujących obszarach:

1. **określenie parametrów przepływowych w obrębie warstwy granicznej tworzącej się przy ociosie wyrobiska górniczego,**
2. **określenie czynników aerologicznych mających wpływ na rozwój pożarów endogenicznych na zwałowiskach odpadów powęglowych.**

Obszary badawcze oraz dorobek naukowo-badawczy po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Obszary badawcze	Określenie parametrów przepływowych w obrębie warstwy granicznej tworzącej się przy ociosie wyrobiska górniczego	Określenie czynników aerologicznych mających wpływ na rozwój pożarów endogenicznych na zwałowiskach odpadów powęglowych
Dorobek naukowo-badawczy	<ul style="list-style-type: none"> • 4 monografie • 6 publikacji naukowych w czasopismach JCR • 14 artykułów krajowych (w tym konferencje) • 1 patent • 1 rozdział w monografii • 7 projektów badawczych • 39 prac naukowo-badawczych 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 monografie • 2 publikacji naukowych w czasopismach JCR • 12 artykułów krajowych (w tym konferencje) • 4 rozdziały w monografiach • 6 projektów badawczych • 8 prac naukowo-badawczych

Przepływy powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych mają zawsze charakter turbulentny. Do wyznaczenia parametrów charakteryzujących tego typu przepływ

¹² Badanie przepływu powietrza w rozgałęzieniach wyrobisk z zastosowaniem trójwymiarowego opisu. Projekt nr 5T12A 009 24

¹³ Skotniczny P., 2005, Simulation of air flow in mining workings, Przegląd Górniczy 61 (7-8), s. 54-62

¹⁴ Eksperymentalna weryfikacja numerycznej symulacji przepływu powietrza w wyrobisku górniczym z zastosowaniem termoanemometrycznego systemu wielopunktowego pomiaru pola prędkości. Projekt nr 4 T12A 00830

(intensywność turbulencji, energia kinetyczna turbulencji) konieczne jest zastosowanie odpowiednich przyrządów pomiarowych.

W **pierwszym obszarze badawczym** skoncentrowałem się na wykonaniu cyklu eksperymentów w skali laboratoryjnej oraz w skali przemysłowej. Korzystając z doświadczenia zdobytego podczas wykonywania pomiarów laboratoryjnych do pracy doktorskiej, później opisanych w monografii podoktorskiej¹⁵, wykorzystałem trójwłóknowe czujniki termooanemometryczne umożliwiające wyznaczenie zmian wartości wektora prędkości w czasie oraz istotnych, z punktu widzenia poznawczego, wielkości turbulentnych obecnych w strudze powietrza przepływającego w wyrobisku górnictwym.

Badania przemysłowe prowadzone w wymagających warunkach kopalnianych powodowały konieczność ciągłego doskonalenia systemu pomiarowego. Podczas tych badań prowadzonych w ramach projektu¹⁶ dostarczałem koncepcję kolejnych, coraz bardziej zaawansowanych układów pomiarowych. Ostateczna wersja układu została przedstawiona w monografii¹⁷. Opisany w niej unikalny, wielokanałowy system termooanemometryczny umożliwiał wielopunktowe pomiary wielkości turbulentnych w skali zarówno przemysłowej jak i laboratoryjnej¹⁸. System wykorzystany do pomiarów w skali przemysłowej dostarczył cennych informacji umożliwiających trafne określenie rozmieszczenia anemometrów stacjonarnych wchodzących w skład telemetrycznej sieci kopalnianej¹⁹. Dokładne określenie miejsca umieszczenia anemometru stacjonarnego w przekroju poprzecznym wyrobiska było możliwe dzięki wykonaniu oraz analizie danych uzyskanych z termooanemometrycznych

¹⁵ Skotniczny P., 2004, Rozwój strugi powietrza w dyfuzorze prostokątnym, Prace IMG PAN. Rozprawy i Monografie, nr 8, s.144, Kraków

¹⁶ Eksperymentalna weryfikacja numerycznej symulacji przepływu powietrza w wyrobisku górnictwym z zastosowaniem termooanemometrycznego systemu wielopunktowego pomiaru pola prędkości". Projekt nr 4 T12A 00830

¹⁷ Lięża P., Poleszczyk E., Skotniczny P., 2009, Hot-wire anemometric measurement systems in mining applications, Archives of Mining Sciences, Monograph, nr 6, s. 92

¹⁸ Skotniczny P., Sławomirski M. R., 2012, Czynniki wpływające na deformację warstwy przyściennej przy statycznym przepływie powietrza nad złożem porowatym oraz ich wpływ na prędkość poślizgu cz. 2. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 14, z. 1-4, s. 165-177

Skotniczny P., Cierniak W., Gorgoń J., Nowak R., 2009, Eksperymentalna weryfikacja zjawiska wymiany masy i energii w medium w porowatym. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 11, z. 1-4, s. 123-138

Skotniczny P., 2011, Określenie prędkości poślizgu przy stycznym przepływie powietrza nad złożem porowatym. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 13, z. 1-4, s. 183-193

Skotniczny P., Sławomirski M. R., 2012, Czynniki wpływające na deformację warstwy przyściennej przy statycznym przepływie powietrza nad złożem porowatym oraz ich wpływ na prędkość poślizgu cz. 2. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 14, z. 1-4, s. 165-177

¹⁹ Zadanie badawcze Nr 9 (SP/K/9/208302/13) Pt Wyznaczanie współczynnika korekcji pomiędzy automatycznym pomiarem prędkości powietrza a uśrednioną wartością prędkości mierzoną anemometrem ręcznym

pomiarów rozkładów prędkości oraz intensywności turbulencji w obszarach przyociosowych wyrobisk górniczych²⁰.

Prowadzone przeze mnie prace w **drugim obszarze badawczym** wymagały odmiennego podejścia do problemu pozyskiwania danych pomiarowych. Zbiór danych opisujących zjawisko napowietrzania, prowadzące w konsekwencji do pożaru endogenicznego składał się z wielowymiarowych zmiennych losowych. W przypadku rozpatrywania czynników charakteryzujących proces napowietrzania istotną rolę odgrywały wartości i rozkłady temperatur oraz stężeń tlenu, mierzone wewnątrz zwałowiska. Na ich wartości mają wpływ takie parametry jak kierunek i prędkość wiatru²¹. Pomiary wartości temperatur i stężeń tlenu wewnątrz bryły zwałowiska musiały być przeprowadzane w sposób ciągły. Tylko wtedy można było uzyskać pełną informację o dynamice zmian ich wartości oraz skorelować je z dostępnymi danymi meteorologicznymi. Bazując na wynikach symulacji numerycznych, które wykonałem dla zdygitalizowanego modelu zwałowiska „Waleska”^{19,22} określiłem miejsca, które z uwagi na ukształtowanie zboczy oraz orientację bryły zwałowiska w stosunku do dominującego kierunku wiatru, charakteryzowały się największą podatnością na napowietrzanie. Trafność uzyskanych wyników symulacji potwierdziłem przy analizując zestawy danych opisujących wielosezonowe rozkłady stężeń tlenu oraz temperatur w otworach badawczych zlokalizowanych w wybranych miejscach zwałowiska²¹.

Podczas analizowania wyników symulacji numerycznych, opisujących przepływ powietrza wokół zwałowisk odpadów powęglowych, traktowanych jako złożę porowate, zauważyłem braki w modelu matematycznym zawartym w kodzie CFD, przejawiające się niedostatecznym odwzorowaniem zjawiska przepływu stycznego strugi powietrza nad zboczami zwałowiska (w szczególności nad jego wierzchowiną). To spostrzeżenie skłoniło mnie do rozpoczęcia prac badawczych mających na celu odnalezienia modelu umożliwiającego poprawne określenie tych wielkości, mających znaczenie nie tylko w przypadku przepływu powietrza nad wierzchowiną zwałowiska ale również dla przypadku przepływu powietrza w wyrobisku górniczym prowadzonym w górotworze naruszonym

²⁰ Skotniczny P., Ostrogórski P., 2018, Three-Dimensional Air Velocity Distributions in the Vicinity of a Mine Heading's Sidewall. Archives of Mining Sciences 63 (2), pp. 335-352

²¹ Badania aerologiczne i termiczne składowisk odpadów kopalnianych celem prognozowania rozwoju ognisk samorzagrzewania oraz możliwości ich likwidacji, projekt nr N N524 372934, Kierownik projektu prof. dr hab. inż. Stanisław Wasilewski, 2009-2011

²² Skotniczny P., 2005, Modelowanie trójwymiarowego przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 7, z. 1-2, 6

eksploatacją. Zwieńczeniem badań w tym obszarze było opracowanie koncepcji hybrydowego złoża porowatego²³

Zarówno w obszarze badawczym pierwszym jak i drugim, uzupełnieniem wiedzy na temat omawianych zjawisk przepływowych były wyniki symulacji numerycznych. Kody CFD (w szczególności komercyjne) są zazwyczaj tworzone dla ściśle określonych klas i przypadków przepływowych. Rozwiązania numeryczne zagadnień przepływowych, które uzyskałem miały miejsce w niestandardowych, skomplikowanych geometrycznie domenach obliczeniowych. Uzyskane przez mnie wyniki symulacji numerycznych musiały zatem zostać zwalidowane. Ponieważ walidacja oznacza proces ustalenia, do jakiego stopnia zastosowany model jest dokładną reprezentacją modelowanego zjawiska fizycznego, do przeprowadzenia tego procesu użyłem zgromadzonych danych pomiarowych opisujących szeroką gamę przypadków przepływowych spotykanych w korytarzowych wyrobiskach kopalnianych. Do walidacji rozwiązań numerycznych przypadków przepływowych mających miejsce na zwałowiskach odpadów powęglowych użyłem wyników analiz statystycznych, opartych na danych meteorologicznych oraz wieloletnich danych gromadzonych przez autonomiczne stacje pomiarowe zainstalowane w otworach badawczych na zboczach zwałowiska „Waleska”.

Wyniki badań uzyskane z dwóch omawianych obszarów badawczych zawarte są w monografii **„Analiza przepływu powietrza w złożonych strukturach górniczych z wykorzystaniem metod numerycznej mechaniki płynów wraz z ich eksperymentalną walidacją”**, którą przedstawiłem jako moje osiągnięcie naukowo-badawcze w odniesieniu do art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Opisane w monografii wyniki, oprócz usystematyzowania wiedzy i doświadczeń w dziedzinie stosowania metod numerycznej mechaniki płynów w górniczych zagadnieniach przepływowych, wskazują również możliwe kierunki prowadzenia przyszłych prac badawczych mających na celu dalsze pogłębienie wiedzy o mechanizmie złożonych procesów przepływowych mających miejsce w szeroko rozumianym przemyśle górniczym.

²³ Skotniczny P., Sławomirski M. R., 2013, Model hybrydowy złoża porowatego. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 15, z. 3-4, s. 27-52

5. Podsumowanie wyników działalności naukowo – badawczej

Publikacje

Efektom mojej dotychczasowej działalności naukowo – badawczej są 52 publikacje, w tym 42 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (Tab. 1). Pozostałe dane zamieściłem w tabelach 2,3,4 oraz 5.

Tab. 1. Zestawienie publikacji

Wyszczególnienie	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem
Artykuły w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (samodzielne)	0(0)	10(3)	10(3)
Monografie (samodzielne)	0	7(2)	7(2)
Rozdziały w monografiach (samodzielne)	0	4	4
Artykuły w czasopismach zagranicznych	0	0	0
Artykuły w czasopismach krajowych (w języku angielskim)	12	20(4)	32
Artykuły w publikacjach konferencji zagranicznych w tym (w bazie WoS)	0	1	1
Ogółem publikacji	11	42	54
Suma punktów za publikacje	23	337,51	360,51

Prace naukowo – badawcze

Tab. 2. Realizacja prac naukowo - badawczych

Wyszczególnienie	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem
Realizacja prac naukowo – badawczych; Kierowanie (udział)	0	0(47)	47
Realizacja prac statutowych Kierowanie (udział)	0	9(10)	10
Razem w tym: kierowanie (udział)	0	9(57)	57

Wskaźniki dokonań naukowych

Tab. 3. Wskaźniki dokonań naukowych

Wyszczególnienie	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem
Impact Factor	0	4,28	4,24
Liczba cytowań według bazy Web of Science	0	21	21
Indeks Hirscha według bazy Web of Science	0	3	3

Projekty badawcze

Tab. 4. Kierowanie i udział w projektach badawczych

Wyszczególnienie	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem
Realizacja projektów MNiSW; Kierowanie (udział)	0	6(udział)	6
Realizacja projektów NCBiR	0	5 (udział)	5
Realizacja projektów SPO-WKP	0	1(udział)	1
Realizacja projektów RFCS	0	2(udział)	2
Razem	0	14(udział)	14

Nagrody za działalność naukową

1. Za osiągnięcia naukowe otrzymałem trzy nagrody II stopnia Dyrektora IMG PAN
2. Nagrodę im. W. Budryka otrzymałem za pracę pod tytułem „Rozwój strugi powietrza w dyfuzorze prostokątnym”, przyznaną przez Wydział VII Nauk o Ziemi i Nauk Górniczych.

Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach

Tab. 5. Wygłoszenie referatów

Wyszczególnienie	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem
Referaty na konferencjach krajowych	6	7	13
Referaty na konferencjach międzynarodowych	1	1	2
Razem	11	4	15

Szczegóły dotyczące mojej działalności badawczo naukowej po uzyskaniu stopnia doktora znajdują się w załączniku."Wykaz dorobku badawczo-naukowego".