

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Wróblewskiego
pt. „Metoda wyznaczania strumieni ciepła procesów technologicznych dla okre-
ślenia bilansu cieplnego rejonów robót górniczych w kopalniach rud miedzi”

Promotor: dr hab. inż. Maciej Zawisławski

Promotor pomocniczy: dr inż. Sebastian Gola

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie zawiadomienia z dnia 20.07.2026r. nr 30/07/D08/2026 w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka nr 465/23/RDND08/2024-2028 z dnia 15.07.2026r. oraz w zw. z art. 190 us2 i art.183 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022r. poz. 574 z późn. zm.).

2. Charakterystyka rozprawy

Przedłożona do oceny dysertacja doktorska poświęcona jest problematyce związanej z analizą transportu energii na terenie kopalni rud miedzi. Temat dysertacji uważam za ważny i aktualny zważywszy na fakt prowadzenia prac wydobywczych w kopalniach na coraz większych głębokościach, co wiąże się z pogorszeniem warunków środowiskowych. W warunkach tych muszą funkcjonować ludzie i maszyny służące do wydobycia i zabezpieczenia prac. W związku z tym badania dotyczące wpływu pracy maszyn górniczych na otoczenie pracy człowieka winno być stale monitorowane i okresowo poddawane analizą pozwalających na wyciąganie ujednoliconych wniosków o charakterze praktycznym. Tematyka analizowanej pracy doktorskiej w pełni realizuje te cele. Z punktu widzenia ograniczania negatywnego wpływu rosnącej z głębokością oraz ilością wykorzystywanego sprzętu temperaturą oraz wilgotnością konieczna jest analiza powstających strumieni energii z lokalnych źródeł i ich transport w przestrzeni roboczej. Ocenić dysertacja ma na celu zaprezentowanie nowego podejścia do wykorzystania różnorodnej aparatury pomiarowej i systemów zdalnej detekcji powiązanych w spójnej procedurze zmierzającej do określenia emisji energii z maszyn pracujących w wyrobiskach. Może to zapewnić zwiększenie bezpieczeństwa pracy ludzi, przedłużyć żywotność maszyn i pozwoli na efektywniejsze wykorzystanie zasobów ludzkich i maszynowych. W konsekwencji przełoży się to na wydobycie, jego koszty i wydajność, a tym samym poprawi rentowność kopalni.

Rozprawa obejmuje 156 strony (numerowanych i nienumerowanych) oraz załącznik w postaci płyty CD. Monografia podzielona jest na dwanaście rozdziałów uzupełnionych bibliografią,

spisem rysunków i spisem tabel. Pracę rozpoczyna streszczenie w języku polskim oraz spis treści wraz z wykazem symboli, oznaczeń. Cechuje się dużą objętością, gdyż autor na czterech stronach zamieścił wszystkie stosowane symbole z indeksami. Pierwszym rozdziałem pracy jest wstęp, w którym autor w zwięzły sposób przedstawił motywację do podjęcia się analizy zagadnienia transportu energii w obrębie wyrobisk kopalnianych. Zwrócił, bardzo słusznie uwagę, że większość polskich kopalń kwalifikuje się do grupy bardzo dużego zagrożenia klimatycznego, wywołanego zmiennymi temperaturami i wilgotnością powietrza. Słusznie zauważa, że jedynie wiedza o lokalizacji i wydajności źródeł energii może być rzetelną podstawą projektową dla doboru układów wentylacji, względnie klimatyzacji w kopalni. Literatura światowa prezentowała wyniki badań wskazujących na negatywne efekty wzrostu temperatury i wilgotności na proces produkcyjny, ale co istotniejsze na zdrowie i życie górników.

W następnej kolejności, autor, prezentuje trzy rozdziały analizy literaturowej odnoszące się do podstaw procesów transportu ciepła w wyrobiskach górniczych, a w szczególności rodzajów wymiany ciepła z jakimi mamy do czynienia w kopalni. Prezentuje w kolejnych podrozdziałach opis procesu transportu ciepła: na drodze przewodzenia w ujęciu różniczkowym; na drodze konwekcji wzmiankując o teorii podobieństwa oraz na drodze promieniowania w odniesieniu do fotonowego opisu transportu energii w warstwach powietrza i definiując zastępczy radiacyjny współczynnik wnikania ciepła bazujący na kombinacji transportu konwekcyjnego i promieniowania. Bardzo ważnym z punktu widzenia pracy, jest rozdział trzeci, w którym autor omówił źródła ciepła mogące wystąpić w wyrobiskach górniczych. Z analizy literaturowej jednoznacznie wynika, że w kopalniach występuje duża ilość lokalnych oraz obszarowych źródeł energii. Do najważniejszych można zakwalifikować: ciepło oddawane przez górotwór, ciepło oddawane przez maszyny i urządzenia, energia przemian fazowych, energia doprowadzana ze strumieniem wentylacyjnym oraz wyprowadzaną z urobkiem. Doktorant scharakteryzował wzmiankowane źródła powołując się na liczne publikacje naukowe w pięciu podrozdziałach obejmujących ciepło doprowadzane: z górotworu oraz z maszyn i urządzeń, przemian fazowych pary wodnej oraz ciepła wytworzonego w wyniku autokompresji, czyli pracy dmuchaw w systemie wentylacyjnym. Autor uwzględnił ponadto ilość energii wyprowadzanej z urobkiem na powierzchnię ziemi podczas etapu wydobywania. W rozdziale czwartym omówiono sposób wydobywania w kopalni z punktu widzenia bilansu energii. Autor wskazuje na prace, które mogą posłużyć do wyznaczenia temperatury i wilgotności powietrza w obszarze wyrobiska, które stosując odmienne podejście uwzględniające: energię doprowadzaną z górotworu, z maszyn, energię przemian fazowych, autokompresji oraz ciepła wymienianego z urobkiem. W kolejnych pięciu podrozdziałach zaprezentowano wzory ilościowo opisujące poszczególne strumienie energii. Rozdział czwarty kończy podsumowanie, w którym autor wskazuje na niedostatki metod stosowanych dotychczas, ale bez ich szczegółowego porównania i analizy.

Rozdział piąty prezentuje konkluzje autora opartą na wcześniejszej analizie i sformułowanej w postaci celów pracy i jej tezy. Autor jako główny cel pracy stawia sobie opracowanie nowej metody wyznaczania strumienia ciepła z maszyn i urządzeń górniczych pracujących w wyrobiskach opartą o analizę rzeczywistego stanu termicznego tych maszyn. W warunkach współczesnych głębokości eksploatacji promieniowanie cieplne, często pomijane w analizach cieplnych, staje się istotnym mechanizmem wymiany ciepła. W związku z tym teza pracy została przedstawiona taci trzech punktów:

„Wpływ mechanizmów wymiany ciepła w układzie maszyny i urządzenia górnicze – powietrze kopalniane na wzrost jego temperatury zmienia się przy rosnącej wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji temperaturze pierwotnej górotworu.

W warunkach współczesnych głębokości eksploatacji promieniowanie cieplne, często pomijane w analizach cieplnych, staje się istotnym mechanizmem wymiany ciepła.

Dostępne metody bezkontaktowe pomiaru temperatury umożliwiają określenie strumieni ciepła z maszyn i urządzeń górniczych pracujących w podziemnych wyrobiskach górniczych w celu wyznaczenia/określenia bilansów cieplnych oddziałów wydobywczych.”

Rozdział szósty to charakterystyka wybranego rejonu wydobywczego. Prace badawcze realizowane w ramach doktoratu realizowane były w kopalni O/ZG Polkowice-Sieroszowice należącej do KGHM Polska Miedź S.A. W pracy znalazły się rysunki stanowisk wydobywczych z ich opisem i charakterystyką. Autor rozprawy przedstawił wymiar pól wraz z eksploatowanymi komorami, omówił sposób transportu powietrza z podstawowymi danymi dotyczącymi strumieni objętości. Bardzo istotnym z punktu widzenia analizowanej pracy jest podrozdział 6.4 w którym zamieszczono rozkłady temperatury pierwotnego górotworu stanowiące jedną z danych podstawowych w analizie i jeden z czynników ujętych w celach analitycznych pracy.

Jednym z podstawowych czynników analizy transportu energii w kopalni jest udział w nim promieniowania. W związku z powyższym konieczne jest określenie temperatur w jakich obiekty wzajemnie na siebie promieniają. Rozdział siódmy poświęcony jest kwestii określenia oddziaływania na drodze promieniowania w obszarze wyrobiska różnych obiektów materialnych. Pomiar temperatur jako najważniejszy w tej sytuacji realizowany był przy użyciu termometru kulistego czernionego o bliskim jedności współczynnika emisyjności. Metoda pomiaru ujęta jest w normie ENISO 7726, co stanowi o jej wiarygodności w pomiarach. W podrozdziale 7.1 autor scharakteryzował procedurę pomiaru parametrów mikroklimatycznych, prędkości, termogramów, wskazano miejsca pomiaru oraz warunki pomiaru. Na rysunku 10 pokazano lokalizację punktów pomiarowych w kopalni, a w tabelach 1 i 2 wyniki pomiarów. Ponieważ pomiary były dublowane umożliwiło to ich weryfikację i oszacowanie niepewności. Analizując dane autor zauważa że różnice w uzyskanych wynikach mogą być skutkiem zastosowania czujników opierających wskazanie na pomiarze całkowitego strumienia ciepła (przewodzenie, konwekcja, promieniowanie) i częściowego. W podrozdziale 7.4 omówiono metodykę badań w warunkach laboratoryjnych w kanale modelowym. Autor przedstawił warunki przeprowadzenia badań, geometrię komory wzorcowania z umiejscowionym czujnikiem kulowym. Wykonane w tym kanale badania zestawiono w tabelach i na wykresach dla różnych temperatur odpowiadających warunkom kopalnianym w warunkach konwekcji naturalnej oraz przy prędkości powietrza w kierunku poprzecznym 1 m/s. W podsumowaniu zauważa, że różnice we wskazaniach temperatury wynoszą około 1 stopnia z tendencją rosnącą w miarę wzrostu temperatury. Sugeruje to niewielki wpływ procesu radiacji przy niskich wartościach temperatury ośrodka promieniującego.

Zagadnienie pomiaru temperatury przy użyciu technik termowizyjnych jest przedmiotem rozważań w rozdziale 8. Autor krótko opisał podstawę teoretyczną techniki termowizyjnej, a w podrozdziale 8.1 omówił metodologię badań wybranej maszyny górniczej (ładowarki kołowo-przegubowej typ LKP-0900B), która napędzana jest silnikiem spalinowym umieszczonym na końcu pojazdu po przeciwnej stronie do łyżki ładowarki. Umożliwia to łatwy dostęp do powierzchni zewleczonych otaczających silnik bez utrudnień w pracy samej maszyny. Termogramy wzorcowe wykonane zostały przy wyłączonym silniku, na biegu jałowym oraz przy 2400

obr/min wału silnika spalinowego. W podrozdziale tym zamieszczono również rysunek ze wskazaniem miejsca, w którym pracować będzie ładowarka i wykonane zostaną badania. W podrozdziale 8.3 autor zamieścił serie rozkładów temperatury prezentujących powierzchnie grzewcze ładowarki w różnych momentach jej pracy. W kolejnym podrozdziale umieszczono wyniki pozyskane z rejestratora pracy ładowarki, w szczególności obroty silnika, chwilowe zużycie paliwa i temperaturę powietrza dolotowego. Zestaw tych wyników pozwala na ocenę strumieni energii doprowadzanych do maszyny oraz temperatury powierzchni grzewczych. Razem stanowią dane do kolejnej analizy czyli określenia strumieni energii doprowadzanych z powierzchni grzewczych do atmosfery. Autor zauważa, że parametry pracy silnika mają istotny wpływ na temperaturę powierzchni i tym samym strumień oddawany do otoczenia, a obroty silnika są z tymi strumieniami skorelowane.

Rozdział dziewiąty prezentuje wyniki analizy numerycznej wykonanej przy użyciu pakietu Ansys Fluent. Autor zaprezentował w nim dobór rozwiązywanych równań transportu, ciągłości przepływu oraz uzupełniających w tym modelu turbulencji. Zaprezentowano geometrie analizowanych komór wykonane z wykorzystaniem skaningu laserowego. Opracowana w ten sposób geometria wykorzystana została jako domena obliczeniowa po nałożeniu siatki objętości skończonych oraz umiejscowieniu modelu ładowarki w wyrobisku. Autor omówił zastosowane siatki obliczeniowe oraz warunki brzegowe analizy. Wyniki obliczeń zaprezentowano w podrozdziale 9.6 w postaci pól temperatury powietrza wypełniającego komory oraz rozkładów prędkości i linii prądu dla powietrza wentylującego. W podsumowaniu autor odniósł się do uzyskanych rozkładów temperatury oraz przedstawił sugestie odnośnie przyczyn nierównomierności rozkładu prędkości.

Zwieńczeniem prac doktoranta są wyniki analiz oraz schemat blokowy rozwiązania przedstawiony w rozdziale dziesiątym. Autor określił wielkość powierzchni grzewczych ładowarki oraz średnie ich temperatury dla różnych trybów pracy (bieg jałowy 840 obr/min, bez obciążenia dla 2400 obr/min oraz przy zmiennych obrotach podczas pracy normalnej) dla trzech różnych dni, tj. 17.08, 30.08. i 01.09.2023. Wyznaczone w ten sposób temperatury, po wyznaczeniu współczynnika przejmowania ciepła pozwoliły na obliczenie wilgotności właściwej powietrza oraz strumienia energii przekazanego przez ładowarkę do otoczenia. W tabeli 18 przedstawiono wyniki uzyskane w ramach prób teoretycznych oraz w badaniach wzorcowych. Autor wskazuje na rozbieżności podczas pracy maszyny na biegu jałowym i równocześnie obszernie opisuje warunki pomiarów, które mogły rzutować na jakość uzyskiwanych wyników pomiarów. W rozdziale jedenastym autor zaprezentował analizę wpływu pracy ładowarki na warunki środowiskowe w kopalni. Wyniki wcześniejszych badań i obliczeń zgodne z zaproponowaną metodologią. Pomiary oparto na monitorowaniu temperatury powietrza doprowadzanego i wyprowadzanego z części kopalni pokazanej na rysunku 74 z zaznaczonymi punktami pomiarowymi zlokalizowanymi na rysunku 75. Na podstawie pomiarów: temperatur suchych i mokrej oraz strumienia masy powietrza wyznaczono zmiany wilgotności powietrza oraz strumienia entalpii. Pozwoliło to na określenie wpływu pracującej maszyny na warunki środowiskowe w kopalni. W podsumowaniu tego rozdziału autor odnosi się do różnic uzyskiwanych w trakcie pomiarów oraz do przyczyn mogących odpowiadać za uzyskane rozbieżności.

W podsumowaniu swojej dysertacji, w rozdziale dwunastym, autor sformułował konkluzje, które zawarł w dwunastu wnioskach oraz dwunastu efektach użytecznych prac. Wnioski dotyczą: możliwości prowadzenia pomiarów i analiz przy użyciu aparatury kontrolno-pomiarowej

kopalni; konieczności stosowania modeli w większym stopniu uwzględniających wpływ promieniowania; metody termowizyjne dają nowe skuteczne narzędzie analiz; w złożonych geometrycznie szybach kopalnianych metody CFD są dodatkowym narzędziem analiz; pomiary środowiskowe wymagają dużej precyzji i muszą obejmować pomiary mikroklimatu (temperatur, ciśnień wilgotność); opracowany bilans jest dokładniejszym opisem strumieni ciepła niż stosowane dotychczas; strumień ciepła jawnego jest o około dziesięć razy mniejszy niż wyznaczany na podstawie przyrostu temperatury w wyrobisku, skutkiem tego metoda przy uwzględnieniu wszystkich maszyn w kopalni daje wyniki zbliżone do bilansu strumienia energii wymienianego przez osłonę układu bilansowego.

Autor potwierdził słuszność stawianych przez siebie tez: istnieje związek pomiędzy rosnącą temperaturą górotworu i ilością energii wymienianej przez maszyny z otoczeniem, promieniowanie nie może być pomijane w analizach ponieważ dopiero po jego uwzględnieniu bilansują się strumienie wymieniane z otoczeniem oraz że metody bezkontaktowej analizy skaning i termowizja pozwalają rozszerzyć możliwości analiz.

Rozprawę kończy wykaz bibliograficzny zawierający dziewięćdziesiąt pięć pozycji (w tym pięć pozycji w których doktorant jest pierwszym autorem), spis rysunków oraz tabel.

3. Komentarze oraz spostrzeżenia wymagające komentarza autora

Cała analizowana rozprawa doktorska, przedłożona do oceny, jest przygotowana w sposób bardzo dobry. Mimo dużej ilości rozdziałów, cechuje ją poprawny układ podziału treści, ułożonych w sposób chronologiczny, adekwatny do potrzeb analizy zagadnienia badawczego. Autor dysertacji nie ustrzegła się drobnych błędów redakcyjnych, które w mojej ocenie nie umniejszają wartości całej pracy.

W odniesieniu do wykazu symboli, indeksów i skrótów muszę zauważyć, iż ich objętość utrudnia niejednokrotnie identyfikację wielkości fizycznej nie zdefiniowanej w tekście. Przyjęta konwencja wprowadzania symboli w kolejności chronologicznej do kolejności rozdziałów i kolejności realizowanych prac powoduje znacznie rozbudowanie całego wykazu symboli. Mam miejscami wątpliwości odnośnie nazewnictwa np. „ I ” to energia wewnętrzna, a powinniśmy dawać z racji odniesienia do masy „ w właściwa” lub „jednostkowa”. Dystans „ l ” pokonywany przez promieniowanie cieplne przez powietrze jest zwrotem niefortunnym, ponieważ trudno zinterpretować, co jest podmiotem promieniowanie czy powietrze. Powinno być „... pokonywane przez promieniowanie (podmiot) w powietrzu”. Jeżeli małe „ q ” to gęstość strumienia ciepła [W/m^2] to $\dot{Q}_s$ to również gęstość strumienia, ponieważ gęstość strumienia zależy od okoliczności odnoszona jest do objętości, powierzchni lub długości np. rurociągu i zawsze jest gęstością oznaczaną małą literą „ q ”. Wszystkie c_p to współczynniki. Nie należy tego słowa pomijać gdyż oznacza ono, że „ c_p ” nie jest wielkością fizyczną, a jedynie współczynnikiem proporcjonalności. Przyspieszenie „ g ” nazwane grawitacyjnym to żargon, powinno być przyspieszenie w polu grawitacyjnym. Takich drobnych nieścisłości jest kilka, ale nie utrudniają one odbioru treści. Użyty w równaniach (46-49) symbol S (człony źródłowe) nie występuje w wykazie.

Na stronie 4 autor pisze: „W temperaturze zera absolutnego wszystkie ciała są zdolne do emitowania promieniowania elektromagnetycznego ...” Chyba zabrakło tutaj „nie”, w przeciwnym razie zdanie można by uznać za rewolucyjne.

Poniżej autor posługuje się terminem „laminarna warstwa przyścienna”. Jest to sformułowanie poprawne dla przepływu laminarnego. W przepływach turbulentnych warstwa przyścienna transportuje fluktuacje prędkości do ściany, gdzie mierzone są fluktuacje ciśnienia. Dlatego od końca lat siedemdziesiątych obszar bezpośrednio przy ścianie warstwy przyściennej turbulentnej nazywany jest „potencjalnym”. Warstwa jest zamała, aby formowały się w niej wiry, ale transportuje fluktuującą energię od przepływu głównego do cząsteczek ciała stałego. Proszę rozstrzygnąć o jakiej warstwie Pan pisze.

W rozdziale 2.2 pojawia się termin i wielość brzeg F obszaru. Czy F oznacza granicę obszaru izolowanego, w którym prowadzi Pan analizy?

W rozdziale kolejnym F_{ij} to powierzchnia ciała promieniującego (analizowanego), wówczas ϵ_{ij} jest emisyjnością zastępczą uwzględniającą emisyjności i obie powierzchnie. Proszę o wyjaśnienie oznaczeń równania (13).

We wprowadzeniu do rozdziału 3 wymieniono w drugim akapicie ciepła które należy uwzględnić w analizach. Wątpliwości moje budzi użyta terminologia. Górotwór zmienia energię wewnętrzną, maszyny oddają strumienie ciepła ale również strumień entalpii spalin, przemiany fazowe zmieniają entalpie płynów lub energie wewnętrzną górotworu względnie urobku. Nie wszystko jest „cieplem”.

Na stronie 23, w podrozdziale 4.6 wspomina Pan o „innych modelach”. W pracy nie znalazłem informacji jakie modele już analizowano. Może warto było w kilku zdaniach scharakteryzować, co proponowali inni autorzy. Nawet wówczas, gdy ich propozycje były nieprecyzyjne i niekompletne z punktu widzenia Pana modelu. Zabrakło mi w tym podrozdziale na jego końcu konkluzji, co warto by zmienić lub dodać. Czytający dysertacje musi to wywnioskować sam po przeanalizowaniu Pana modelu.

Teza dysertacji sformułowana jest w trzech częściach. Pierwsza, jest natury bardzo ogólnej, ponieważ zawsze zmiana temperatury źródła (górotworu) spowoduje zmianę ośrodka (powietrza). Pytanie, jak istotnie ją zmieni. Druga część tezy nie budzi moich zastrzeżeń. Trzecią uzupełnić powinien dopisek, że dotyczy to konkretnie członów odpowiedzialnych za promieniowanie w bilansie maszyny.

W rozdziale 7.1, w ostatnim akapicie opisano metodę „trawersu ciągłego”. Proszę o rozwinięcie znaczenia tego terminu. Rysunek 10 wskazuje na miejsca pomiaru, ale w tekście nie zauważyłem uzasadnienia tego wyboru.

Na stronie 47 w ostatnim akapicie napisano, że „... intensywność konwekcyjnego przepływu ciepła zależy od charakteru przepływu, a więc prędkości powietrza, średnicy wyrobiska i różnicy temperatur.” Co oznacza „intensywność” w kontekście przepływu ciepła? Prędkością, średnicą i lepkością rozróżniamy ruch laminarny od turbulentnego, ale intensywność zależy od poziomów fluktuacji prędkości i gradientów temperatury, lokalnych sił bezwładności w płynie i sił lepkości. Użyte przez autor zdanie ma zbyt ogólny charakter.

Kanał pokazany na rysunku 16 wydaje mi się mało obiektywnym modelem. Nie odniósł się Pan do długości kanału dolotowego i wylotowego, do odległości czujnika od ścian i wpływu jego gabarytów. Czy przepływ wokół kuli nie deformuje linii prądu powietrza prowadząc do lokalnego wzrostu ciśnienia statycznego w strefie pomiędzy kulą i ścianą kanału. Gdzie umiejscowiony jest wentylator wymuszający przepływ z prędkością 1m/s? Co to znaczy 0m/s przecież pojawi się ruch konwekcyjny mogący przy dużych gradientach temperatury sięgać 0,5m/s?

Czy rysunek 27, 61, 74 i 75 nie jest obrócony o 180°.

W rozdziale 8.4 autor używa terminu „obciążenie silnika”. Jeżeli to nie prędkość obrotowa, to do jakiej wielkości odnosi się ten termin.

Bardzo proszę autora o ustosunkowanie się do moich uwag, zmieszczonych powyżej. Równocześnie pragnę oświadczyć, że dostrzeżone przeze mnie błędy i nieścisłości nie rzutują negatywnie na mój pogląd o całej rozprawie. Jej chronologia jest adekwatna do zakresu wykonanych prac, a przyjęte metody wnioskowania ze wszech miar poprawne. Uzyskane wyniki są zaprezentowane w sposób czytelny i nie pozostawiający wątpliwości, co do przesłanek autora, którymi kierował się formułując wnioski w podsumowaniach.

4. Ocena wartości merytorycznej rozprawy

W mojej opinii, struktura pracy nie budzi zastrzeżeń. Rozprawę uznaję za spójną, jej objętość za adekwatną do zakresu tematycznego i mieszczącą się w ramach przyjętych dla prac doktorskich. Autor przedstawia i komentuje wyniki uzyskane podczas analiz: eksperymentalnej i numerycznej odnoszących się do procesu transportu energii w kopalni i wpływu emisji energii z maszyn roboczych do otoczenia. Cała rozprawa potwierdza dobrą znajomość wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Głównym osiągnięciem autora jest opracowanie procedury analitycznej pozwalającej na wiarygodniejsze odwzorowanie rzeczywistych strumieni energii doprowadzanych od maszyn roboczych w kopalniach do ich otoczenia, kształtujących mikroklimat w kopalni. Wnioski te potwierdzają wykonane wielowariantowe badania przy użyciu różnych technik pomiarowych na obiekcie rzeczywistym oraz metod numerycznych uzupełnianych badaniami laboratoryjnymi. W analizowanej pracy doktorskiej zaprezentowano autorską metodę wyznaczania strumieni ciepła pochodzących z urządzeń górniczych pracujących w podziemnych wyrobiskach górniczych. Model został zilustrowany analizą ładowarki kołowo-przegubowej typ LKP-0900B produkcji KGHM ZANAM.

Do osiągnięć autora zaliczam:

- wnikliwy przegląd literaturowy, który jednoznacznie wskazał obszar ewentualnych badań,
- opis strumieni ciepła występujących w wyrobiskach a związanych z górotworem, maszynami, doprowadzanym powietrzem, przemianami fazowymi oraz wydobywanym na powierzchnię urobkiem,
- wykonanie pomiarów bilanowych fragmentu kopalni w zakresie recyrkulującego powietrza wentylacyjnego,
- testy dokładności pomiarowej czujnika kulowego z wykorzystaniem miernika mikroklimatu w warunkach laboratoryjnych,
- wykonanie pomiarów termowizyjnych w warunkach pracy rzeczywistej oraz warunkach odniesienia ładowarki kołowo-przegubowej,
- opracowanie geometrii obliczeniowej w oparciu o technike skaningu laserowego oraz wykonanie obliczeń CFD dla testowego przypadku,
- weryfikację opracowanej procedury eksperymentalno-analitycznej.

Wszystkie wymienione, przeze mnie efekty poznawcze rozprawy doktorskiej potwierdzają, w mojej opinii, że dysertacja jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego w sferze

gospodarczej i zgodnej z dyscypliną inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Autor rozprawy udowodnił, że w sposób wyważony w oparciu o dane literaturowe, wyniki obliczeń numerycznych i eksperymentalnych oraz własne interpretacje danych potrafi uzasadnić słuszność swoich założeń i formułować wnioski o charakterze użytkowym.

5. Podsumowanie

Moim zdaniem rozprawa doktorska Pana mgr inż. Adama Wróblewskiego stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego i potwierdza wiedzę autora w obszarze wymiany ciepła z aspektami mechaniki płynów w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie naukowej: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Metoda wyznaczania strumieni ciepła procesów technologicznych dla określenia bilansu cieplnego rejonów robót górniczych w kopalniach rud miedzi” autorstwa Pana mgr inż. Adama Wróblewskiego spełnia wymagania określone dla tego typu prac zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 Dz.U. oraz Dz. U. z 2022r. poz. 574 z późn. zm.).

Stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony, co może stanowić podstawę do nadania jego Autorowi stopnia naukowego doktora, po spełnieniu pozostałych warunków określonych w przywoływanej Ustawie.