

dr hab. inż. Dariusz Obracaj, prof. uczelni
Akademia Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Ładowej i Gospodarki Zasobami
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 18.05.2026r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Trzaskalika pt.:

"Krótkoterminowe prognozy stężenia metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołami ścian"

1. Przedmiot i podstawa formalna opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Trzaskalika napisana pod kierunkiem dr. hab. inż. Henryka Badury oraz promotora pomocniczego dr. inż. Andrzeja Walentka.

Recenzję rozprawy doktorskiej opracowano na podstawie zlecenia podpisanego przez Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy, Jarosława Zagórowskiego, pismem o numerze NOP.6000.2.2026.RN z dnia 20 kwietnia 2026 roku.

2. Dane bibliograficzne o pracy

Rozprawa zawiera stronę tytułową, podziękowania i 171 ponumerowanych stron tekstu oraz jednostronicowy załącznik. Strona pierwsza tekstu to spis treści, a strona druga i trzecia to streszczenie w języku angielskim (Abstrakt), które nie zostało ujęte w spisie. W pracy brakuje streszczenia w języku polskim. Tekst rozprawy zawiera 84 rysunki oraz 66 tabel. Spisy rysunków i tabel zamieszczono na końcu tekstu rozprawy.

Treść rozprawy podzielona została na 8 głównych rozdziałów. Bibliografia zawiera 113 pozycji ułożonych alfabetycznie i cytowane w treści rozprawy stylem IEEE. Bibliografia zawiera również 3 pozycje, w których Doktorant jest współautorem.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Trzaskalika poświęcona jest zagadnieniu prognozowania stężenia metanu w chodnikach wentylacyjnych przed frontem ścian eksploatacyjnych. Rejestrowane stężenia metanu charakteryzują się znaczną zmiennością, determinowaną przez liczne czynniki o charakterze chwilowym, w szczególności warunki geologiczne i technologiczne.

Problematyka badawcza koncentruje się na prognozowaniu średniodobowych oraz maksymalnych dobowych stężeń metanu przy założeniu tygodniowej cykliczności procesu produkcyjnego. Temat pracy należy uznać za istotny zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i aplikacyjnego. W praktyce górniczej powszechnie prowadzi się monitoring stężeń metanu oraz innych parametrów powietrza wentylacyjnego, jednak potencjał danych historycznych w zakresie ich wykorzystywania prognostycznego pozostaje nadal w niewystarczającym stopniu zagospodarowany. W tym kontekście podjęcie przez Doktoranta badań nad krótkoterminowym prognozowaniem stężeń metanu należy uznać za podejście wartościowe i aktualne.

Uzasadnienie wyboru tematu przedstawiono we wprowadzeniu, wskazując na konieczność doskonalenia systemów monitoringu oraz opracowania adaptacyjnych metod prognostycznych, wspierających zarządzanie ryzykiem metanowym i podejmowanie decyzji profilaktycznych w czasie rzeczywistym.

Cel pracy został sformułowany dwojako: jako naukowy oraz użyteczny. Celem naukowym jest opracowanie metody krótkoterminowej prognozy średnich i maksymalnych stężeń metanu w chodnikach przed frontem ścian, natomiast celem praktycznym – stworzenie programu komputerowego umożliwiającego ocenę zagrożenia metanowego i wspomagającego bezpieczne prowadzenie ruchu ściany eksploatacyjnej.

Doktorant przyjmuje założenie, iż istniejąca metoda bazowa oraz program PROGNET pozostają rozwiązaniami użytecznymi, co skutkuje odstępstwem od formułowania klasycznej hipotezy badawczej. Zamiast tego wskazuje możliwość ich udoskonalenia i proponuje własną metodę oraz program komputerowy MetPred. Walidacja opracowanego rozwiązania oparta została na porównaniu wyników uzyskanych metodą bazową oraz autorską.

Zakres i metodyka badań pozostają konsekwentnie podporządkowane realizacji przyjętych celów, zarówno w warstwie analitycznej (przeгляд i porównanie istniejących rozwiązań), jak i eksperymentalnej (weryfikacja na rzeczywistych danych pomiarowych).

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć opracowanie zmodyfikowanej metody prognozowania krótkoterminowego oraz autorskiej metody prognostycznej wraz z implementacją w postaci programu MetPred. W obliczu ograniczeń dotychczas stosowanych rozwiązań oraz rosnących potrzeb w zakresie oceny zagrożenia metanowego, praca cechuje się wysoką aktualnością oraz znaczącym potencjałem aplikacyjnym.

4. Układ i treść rozprawy

Struktura rozprawy jest przejrzysta i logiczna, a układ rozdziałów podporządkowany realizacji założonych celów badawczych.

W rozdziale pierwszym Doktorant wskazuje, że współczesne zarządzanie bezpieczeństwem w kopalniach wymaga nie tylko monitorowania, lecz także prognozowania stężeń metanu. Podkreślono ograniczenia metod tradycyjnych w warunkach dynamiki emisji gazu oraz konieczność zastosowania zaawansowanych metod analitycznych.

Rozdział drugi zawiera sformułowanie celów pracy (naukowego i użytecznego) wraz z uzasadnieniem oraz określeniem zakresu prowadzonych badań i analiz.

W rozdziale trzecim przedstawiono charakterystykę zagrożenia metanowego, ze szczególnym uwzględnieniem czynników wpływających na zmienność stężenia metanu. Doktorant podkreśla znaczenie systemów monitoringu oraz możliwości analizy szeregów czasowych jako podstawy prognozowania. W opinii recenzenta rozdział ten, ze względu na swój charakter uzasadniający, mógłby poprzedzać rozdział drugi.

W rozdziale 4 skupiono się na doborze i przygotowaniu danych pomiarowych, Scharakteryzowano siedem ścian eksploatacyjnych przewietrzanych „na U” oraz opisano system pomiarowy. Dane pochodziły z czujników metanometrii automatycznej zlokalizowanych w chodnikach wentylacyjnych w odległości 10 m przed frontem ścian. Dokonano również uzasadnienia przyjęcia 24-godzinnego horyzontu prognostycznego.

Rozdział 5 zawiera szczegółowy opis przygotowywania wyników pomiarowych uzyskanych z systemów telemetrycznych oraz metody bazowej prognozowania stężeń metanu. Wyjaśniono sposób oczyszczania danych i ich grupowania z uwagi na konieczność usuwania błędnych

rekordów w zapisie telemetrycznym i uzupełniania ich braków za pomocą interpolacji liniowej. Metoda bazowa prognozowania średnich i maksymalnych stężeń w danym dniu tygodnia oparta jest o wyniki z dnia poprzedniego, z uwzględnieniem różnic między dniami tygodnia. Dla każdego dnia tygodnia ustala się odrębne parametry regresji. Porównanie wyników prognozy z wynikami pomiarowymi z 7 ścian eksploatacyjnych przeprowadzono na podstawie porównania miar statystycznych oraz szeregu wskaźników (błędy bezwzględne, względne, suma kwadratów różnic, R^2 , korelacja Pearsona, odchylenie standardowe, rozstęp, mediany, percentyle). Wykazano, że prognozy wartości maksymalnych cechują się większym błędem i mniejszą stabilnością niż prognozy wartości średniodobowych. Zidentyfikowane ograniczenia metody bazowej uzasadniają potrzebę opracowania bardziej zaawansowanego podejścia.

Rozdział 6 stanowi kluczową część pracy i dotyczy metody autorskiej oraz programu MetPred. Opracowana metoda opiera się na analizie danych historycznych oraz wykorzystaniu mechanizmów samouczenia. Wynik każdej kolejnej prognozy jest oceniany, a uzyskany błąd wykorzystywany do dalszego dostrajania modelu. Prognoza końcowa stanowi ważoną kombinację kilku metod cząstkowych (m. in. średnie, regresja liniowa, błędy względne i bezwzględna, trendy krótkoterminowe), przy czym wagi są adaptacyjnie modyfikowane w zależności od błędów wcześniejszych prognoz. Zastosowanie podejścia hybrydowego pozwoliło dostosować model do zmiennych warunków emisji metanu, ale poza nagłymi, wzmożonymi dopływami gazu. Połączenie metod „wyglądających” i reagujących na krótkoterminowe zmiany („agresywnych”) zapewnia wysoką dokładność i stabilność prognoz, co potwierdziła wysoka korelacja (0,95–0,98) wyników z danymi rzeczywistymi.

W rozdziale 7 przedstawiono porównanie wyników metody bazowej z metodą autorską. Wykazano istotną poprawę jakości prognoz średnich i maksymalnych stężeń metanu w porównaniu do prognozy bazowej, wyrażoną m.in. spadkiem błędów oraz wzrostem współczynnika determinacji. Metoda autorska charakteryzuje się również większą stabilnością i odpornością na zmienność danych.

Rozdział 8 podsumowuje realizację pracy, potwierdzając osiągnięcie założonych celów oraz przewagę metody autorskiej nad bazową. Doktorant wykazuje, że metoda oparta na podejściu hybrydowym i mechanizmie samouczenia wag metody okazuje się bardziej elastyczna, stabilna i lepiej dostosowana do zmiennych oraz nieregularnych danych pomiarowych, przy zachowaniu praktycznie pomijalnego czasu obliczeń. W tym rozdziale wskazano też na trudności związane z dostępnością, jakością i przetwarzaniem danych pomiarowych. Wskazano na dalsze kierunki badań, zwłaszcza lepszego wykorzystywania zaawansowanych metod sztucznej inteligencji i systemów zintegrowanego monitoringu dla zwiększenia bezpieczeństwa pracy przy zagrożeniu metanowym w kopalniach węgla kamiennego.

5. Ocena merytoryczna

Należy stwierdzić, że problematyka rozprawy jednoznacznie mieści się w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Podjęcie tematu krótkoterminowego prognozowania metanowości ścian lub stężeń metanu w powietrzu odprowadzanym ze ścian jest niezwykle istotne, zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy, jak i doboru środków zabezpieczających przed zagrożeniem metanowym. Podjęcie tej tematyki należy uznać za w pełni uzasadnione.

Tytuł rozprawy jest precyzyjny i wskazuje, że w pracy znajdują się krótkoterminowe prognozy stężenia metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołami ścian. Tytuł jest adekwatny do treści gdyż Doktorant omawia dwie metody, bazową oraz autorską. Choć nie sformułowano klasycznej

hipotezy badawczej, jasno określono cele naukowe i aplikacyjne. Celem naukowy było opracowanie metody umożliwiającej przeprowadzenie krótkoterminowej prognozy średnich i maksymalnych stężeń metanu, a celem praktycznym było opracowanie użytkowego programu komputerowego do tej prognozy.

Głównym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie metody krótkoterminowej prognozy średniodobowych oraz maksymalnych w ciągu doby stężeń metanu w chodnikach wentylacyjnych przed frontem ściany. Doktorant zastosował podejście hybrydowe łącząc elementy metod statystycznych z mechanizmem adaptacyjnym (heurystyki, algorytmy wyznaczania wag funkcji). Istotnym elementem opracowanej metody jest dynamiczne „dostrajanie” wag z wykorzystaniem błędów prognoz wstecznych. Jak wykazały wyniki prognozy stężeń, metoda autorska lepiej niż metoda bazowa odwzorowuje nieregularność stężeń metanu dzięki wykorzystaniu zarówno metod „wygładzających” (stabilizujących), jak i „agresywnych” (reagujących na krótkoterminowe zmiany). Jest to wynikiem opracowania algorytmu dynamicznego dostrajania wag funkcji (metod) inspirowanego mechanizmami „uczenia nadzorowanego”. Funkcje błędów wcześniejszej prognozy (z poprzednich dni) są adaptowane do wyznaczania ciągu geometrycznego wag.

Dla praktycznego znaczenia istotne jest opracowanie programu komputerowego MetPred w oparciu o metodę autorską.

Jednocześnie Doktorant zachowuje dystans do swoich osiągnięć, wykazuje świadomość heurystycznego charakteru opracowanej metody i nie deklaruje optymalności, a wskazuje na ograniczenia i wykazuje otwartość na konieczność dalszych badań w tym zakresie.

Reasumując, recenzowana rozprawa doktorska, a w szczególności jej część badawcza dotycząca doboru i łączenia kilku metod statystycznych o różnych własnościach (metody „wygładzające” i „agresywne”) z adaptacyjnym mechanizmem doboru wag opartym na analizie błędów prognoz wskazuje jednoznacznie na bardzo dobrze opanowany warsztat naukowy Doktoranta. Szczególnie istotne jest, że przeprowadzone badania mają charakter aplikacyjny w postaci opracowanego programu komputerowego MetPred.

Cel rozprawy, jakim było opracowanie metody krótkoterminowych prognoz średnich i maksymalnych metanu w chodnikach przed frontem ściany oraz opracowanie programu komputerowego umożliwiającego przeprowadzenie oceny zagrożenia metanowego i bezpiecznego prowadzeniu ruchu ściany eksploatacyjnej, **został osiągnięty**.

6. Uwagi krytyczne o charakterze dyskusyjnym

- 1) Doktorant wskazuje, iż dane pomiarowe pochodzące z 7 ścian eksploatacyjnych zostały wyselekcjonowane na podstawie określonych kryteriów, mających na celu eliminację czynników zakłócających oraz zapewnienie wysokiej jakości materiału wejściowego do modelowania. Jednocześnie podkreśla, że dane poddawano procedurom oczyszczania, filtrowania oraz interpolacji braków. W tym kontekście rodzi się pytanie o relację pomiędzy tak przygotowanymi danymi a docelowym zastosowaniem programu MetPred, który zgodnie z założeniami, ma być uczony na bieżących danych pomiarowych dla konkretnej ściany. Wymaga to doprecyzowania, czy i w jakim zakresie analogiczne procedury wstępnego przetwarzania danych będą konieczne w zastosowaniach praktycznych.
- 2) W związku z powyższym zasadne jest również rozważenie stopnia ogólności uzyskanego modelu (np. w zakresie współczynników równań liniowych przedstawionych w tab. 6.1 i 6.2). Nie jest bowiem w pełni jasne, czy parametry uzyskane na podstawie tak przygotowanych danych mogą być aplikowane w szerszym zakresie, obejmującym ściany eksploatacyjne o odmiennych warunkach geologiczno-górnictwowych i wentylacyjnych.

- 3) Metoda autorska i program MetPred mają charakter heurystyczny i inżynierski, a nie formalnego modelu statystycznego czy matematycznego. Z uwagi na takie podejście, nie zastosowano klasycznych procedur walidacyjnych (np. walidacji krzyżowej czy testów na niezależnych zbiorach danych). Rodzi to pytanie o odporność modelu na zjawisko przeuczenia („overfitting”), zwłaszcza w warunkach ciągłego rozszerzania zbioru uczącego o nowe dane. W szczególności interesujące byłoby odniesienie się do sytuacji występowania tzw. „nietypowych tygodni wydobywczych”, związanych np. ze zmianą warunków geologicznych i nagłymi zmianami emisji metanu skutkującymi diametralnie różnymi stężeniami metanu w odniesieniu do poprzednich tygodni.
- 4) Przyjęte założenie liczby wersów zbioru uczącego ($LW > 7$ w załączniku 1), oraz minimalnej liczby danych niezbędnych do „dostrajania wag” (trzy obserwacje) wymagają dalszego doprecyzowania. Również warunek logiczny kończący działanie algorytmu („czy bieżący wers = LW ”) nie został w pełni objaśniony. Kwestie te powinny zostać szerzej skomentowane w celu zapewnienia pełnego odwzorowania proponowanej metody.
- 5) W rozdziale 6.4 przyjęto przedział prognozy odpowiadający 80%–120% wartości prognozowanej, a także określono górną granicę akceptowalnego błędu dla prognoz maksymalnych na poziomie 130%. W pracy nie przedstawiono jednak uzasadnienia dla takich wartości, ani ich odniesienia do standardowych podejść statystycznych (np. przedziałów ufności). Przyjęte założenia wydają się mieć charakter arbitralny i wymagają dodatkowego uzasadnienia lub szerszej interpretacji.

7. Uwagi szczegółowe

- 1) W rozdziale 4.4 nie przedstawiono informacji dotyczących niepewności pomiarowej czujników metanu. Parametr ten ma istotne znaczenie dla interpretacji uzyskiwanych błędów bezwzględnych, analizowanych w kolejnych częściach pracy (rozdziały 5.2 i 6.5).
- 2) Analiza statystyczna mogłaby zostać wzmocniona poprzez określenie poziomu istotności wyników, np. z wykorzystaniem formalnych testów statystycznych lub odniesienie uzyskanych wyników do innych metod referencyjnych
- 3) Choć Doktorant ostrożnie posługuje się pojęciami „uczenie maszynowe” czy „uczenie nadzorowane” w kontekście wyznaczania wag funkcji (metod), należałoby wyraźniej podkreślić, że zastosowany mechanizm ma charakter heurystyczny i nie odpowiada klasycznym algorytmom uczenia maszynowego ani modelom sieci neuronowych. Wskazane jest doprecyzowanie tego aspektu na poziomie terminologicznym.
- 4) W końcowej części pracy brakuje syntetycznego zestawienia ograniczeń opracowanej metody oraz jednoznacznego określenia zakresu jej stosowalności.

8. Uwagi redakcyjne

- 1) Układ pracy jest zasadniczo poprawny, jednak struktura rozdziału 4.3 wymaga rozważenia korekty w kontekście zakresu pracy. W celu poprawy spójności logicznej korzystniej byłoby zamieścić rozdział 4.3 jako ostatni w rozdziale 4 a podrozdział 4.5 przesunąć do rozdziału 5.
- 2) Rozdział 6, stanowiący około połowy objętości pracy, mógłby zostać podzielony na część metodologiczną oraz część prezentującą wyniki prognoz stężenia metanu dla analizowanych ścian eksploatacyjnych. Ponadto, opisy analiz wyników prognozy dla kolejnych ścian eksploatacyjnych w podrozdziałach 6.4.1–6.4.7 są nadmiernie rozbudowane i w dużej mierze powtarzalne. Zasadne byłoby pozostawienie pełnego opisu dla ściany pierwszej, natomiast dla

ścian 2–7 przedstawienie ujęcia syntetycznego, przy jednoczesnym przeniesieniu szczegółowych wyników do załączników. Przyczyniłoby się to do poprawy przejrzystości i czytelności rozprawy doktorskiej.

- 3) Brakuje syntetycznych podsumowań cząstkowych po większych blokach opisowych wyników dla poszczególnych ścian eksploatacyjnych, np. po analizie danych pomiarowych, wynikach prognozy metodą bazową oraz wynikach uzyskanych metodą autorską. Wprowadzenie takich podsumowań przyczyniłoby się do zwiększenia przejrzystości analizy oraz umożliwiłoby łatwiejsze, zbiorcze porównanie wyników, zarówno pomiędzy poszczególnymi ścianami, jak i pomiędzy prognozami średnimi i maksymalnymi oraz zastosowanymi metodami.
- 4) W pierwszej części rozdziału 8 podsumowanie ma charakter streszczenia a nie syntetycznego ujęcia wyników rozprawy doktorskiej.
- 5) Język rozprawy jest odpowiedni dla pracy naukowej, co świadczy o dobrym przygotowaniu Doktoranta do publikowania wyników badań. Jednak występują sporadycznie nieprecyzyjne lub potoczne sformułowania, które należałoby skorygować, np.: „...z rejonu urabianego” (str. 30), „...lokalnych zastoisk” (str. 30), „...postawienie prognozy” (str. 58), „...trudne warunki prognozy” (str. 132).
- 6) Sformułowania o charakterze ogólnym: „wniosek jest oczywisty”, „sytuacja wygląda podobnie”, „nie budzi wątpliwości” nie odpowiadają stylowi rozprawy naukowej i wymagają doprecyzowania.
- 7) Sformułowanie: „Poprzez „współpracę” należy rozmieść szeroko rozumianą manipulację danymi...” (str. 62) może być interpretowane niejednoznacznie i powinno zmienione.
- 8) Używanie pojęcia „wylot” chodnika przyścianowego oraz wentylacyjnego (str. 22) nie jest intuicyjne przy rozpatrywaniu kierunku przepływu powietrza.
- 9) Bibliografia wymaga korekty i ujednoczenia zapisów:
 - Należy ujednoczyć zapis autorów, np. występuje raz „Badura H.”, drugi raz „Badura Henryk” (poz. 8), oraz „Dubiński J. i inni”, a innym razem pełne listy autorów.
 - Zapisy nazw czasopism są różne, np. „Przegląd Górniczy, Przegl. Górn., Przegląd Górn.; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Zeszyty Nauk. Pol. Śl..
 - Dostrzeżone literówki i błędy językowe, które należy poprawić: „honicvi” (poz. 4); „Minimg” (poz. 12); „geostatystycznym” (poz. 14); „Wentilation” (poz. 27); „effivency” (poz. 111)
 - W pozycji 40 występuje błąd w nazwisku autora.
 - Pozycja 55 zawiera dwie pozycje w jednym numerze (Kubaczka + Kufel)
 - Brak daty dostępu i opisu typu źródła w pozycji 29.

Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości naukowej rozprawy doktorskiej.

9. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, polegające na opracowaniu autorskiej metody prognozowania średnich oraz maksymalnych dobowych stężeń metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołem ścian eksploatacyjnych. Jednocześnie praca wnosi istotny wkład w rozwój metod krótkookresowego

prognozowania stężeń metanu, ukierunkowanych na poprawę bezpieczeństwa pracy. Opracowana metoda wraz z implementacją w postaci programu komputerowego MetPred, świadczy o umiejętności mgr. inż. Pawła Trzaskalika w samodzielnym rozwiązywaniu problemów naukowych i potwierdza jego zdolność do prowadzenia badań naukowych. **Rozprawa doktorska dowodzi** również posiadania przez Doktoranta ugruntowanej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego.

Na podstawie przeprowadzonej recenzji stwierdzam, że Doktorant osiągnął postawiony cel badawczy. Poziom merytoryczny rozprawy, pomimo przedstawionych uwag krytycznych, uważam za bardzo dobry, a kompozycja pracy tworzy logicznie przemyślaną i spójną całość. **Oryginalność przeprowadzonych badań**, wyrażającą się w opracowaniu metody i jej implementacji w programie komputerowym MetProg, stanowi w pełni wystarczającą podstawą do sformułowania wniosku końcowego.

10. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej przez mgr. inż. Pawła Trzaskalika rozprawy doktorskiej pt.: *„Krótkoterminowe prognozy stężenia metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołami ścian”* stwierdzam, że **spełnia ona warunki** określone w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571) i wnioskuję do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa - Państwowego Instytut Badawczy w Katowicach o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktorskiego.

Jednocześnie wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Uzasadnienie:

1) Wysoki poziom merytoryczny pracy

O wartości naukowej rozprawy świadczy wysoki poziom transparentności algorytmicznej opracowanej metody krótkoterminowego prognozowania średniodobowych stężeń metanu, która jest w pełni interpretowalna i może być w przyszłości modyfikowana. Opis metodologiczny metody autorskiej, selekcji danych, rodzaju analiz statystycznych oraz jakości materiału wejściowego wskazuje na wysoką rzetelność metodyczną rozprawy doktorskiej. Jednocześnie Doktorant zachowuje krytycyzm wobec własnych osiągnięć.

We wszystkich zastosowanych miarach jakości prognoz metoda autorska wykazała trwałą i istotną przewagę nad metodą bazową. Dodatkowo Doktorant krytycznie ocenił ograniczenia własnego rozwiązania oraz wskazał realistyczne kierunki dalszego rozwoju, co świadczy o dojrzałości naukowej pracy.

2) Oryginalność pracy

O oryginalności pracy decyduje opracowana metoda autorska prognozowania średniodobowych i maksymalnych w ciągu doby stężeń metanu w chodnikach wentylacyjnych przed frontem ścian eksploatacyjnych. Autorska metoda MetPred, oparta na zaawansowanych technikach szeregów czasowych, funkcjach statystycznych, heurystycznych algorytmach dynamicznego dostrajania wag modelu oraz programowaniu numerycznym (język skryptowy

Phyton), została walidowana poprzez porównanie z metodą bazową opartą o regresję liniową wag modelu. Na szczególne podkreślenie zasługuje:

- jasne uzasadnienie doboru metod obliczeniowych w kontekście zmienności stężeń metanu;
- szczegółowy i jednoznaczny opis algorytmów, umożliwiający ich odtworzenie;
- krytyczne podejście autora do heurystycznego charakteru zastosowanych rozwiązań;
- uzyskane wyniki prognoz, charakteryzujące się wysoką zgodnością z danymi pomiarowymi (wysokie wartości współczynników korelacji i R^2 , niewielkie błędy bezwzględne);

co stanowi oryginalny wkład Doktoranta.

3) Wysoka wartość aplikacyjna i wdrożeniowa wyników pracy doktorskiej

Opracowany w ramach rozprawy doktorskiej program komputerowy MetPred ma wysoką wartość aplikacyjną i jawi się jako **narzędzie gotowe do wdrożenia**, co znacząco podnosi wartość pracy. Opracowana metoda krótkoterminowego prognozowania stężeń średniodobowych stanowi oryginalny i istotny wkład w bieżącą ocenę zagrożenia metanowego w ścianach eksploatacyjnych i może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pracy w górnictwie podziemnym.

Podpis odręczny autora