

Dr hab. inż. Grzegorz Pach, prof. PŚ
Katedra Geoinżynierii i Eksploatacji Surowców
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej
Politechnika Śląska, Gliwice

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. Truong Tien Quana

pt.: „Metody prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach ścianowych zmechanizowanych i niezmechanizowanych w warunkach kopalń wietnamskich”

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska pt.: „Metody prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach ścianowych zmechanizowanych i niezmechanizowanych w warunkach kopalń wietnamskich”. Autorem pracy jest mgr Truong Tien Quan, ubiegający się o stopień doktora Nauk Technicznych przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Promotorem pracy doktorskiej jest dr hab. inż. Marek Borowski, prof. Uczelni. Promotorem pomocniczym jest dr inż. Rafał Łuczak.

Podstawą formalną opracowania recenzji są pismo nr RD IŚGE-s/0154-59/21 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwa i Energetyki z dnia 28 września 2021 roku oraz umowa o dzieło zawarta w dniu 15 października 2021 roku pomiędzy Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie a recenzentem.

2. Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy

Recenzowana praca liczy 263 strony. Główna część pracy została zawarta na 203 stronach, załączniki w liczbie 6, stanowią kolejne 60 stron pracy. Praca zawiera 45 tabel oraz 106 rysunków. W pracy można wydzielić następujące główne części: literaturową, badawczą oraz analityczną. Na początku znajdują się wykaz ważniejszych oznaczeń, wprowadzenie oraz cel i zakres pracy, zaś na końcu rozdział zawierający podsumowanie oraz wnioski w liczbie 8. Po podsumowaniu następują spisy: tabel, rysunków oraz literatury. Spis literatury zawiera 132

pozycje, składające się z publikacji naukowych, norm, materiałów kopalnianych, stron internetowych. Znacząca część publikacji umieszczonych w spisie literatury została wydana w ciągu ostatnich dziesięciu lat. Ostatnią częścią pracy są załączniki, w których Autor kolejno zawarł wyniki pomiarów parametrów powietrza dla ścian zmechanizowanych i niezmechanizowanych (załączniki 1 i 2) oraz wyniki prognoz temperatury powietrza na wylocie ze ścian uzyskanych za pomocą różnych modeli regresji oraz uzyskanych z wykorzystaniem sieci neuronowych (załączniki 3-6).

We wprowadzeniu Doktorant opisuje problemy związane z narastającą temperaturą powietrza w podziemnych kopalniach. Wskazuje na kopalnie, w których temperatura powietrza przekracza 30°C, która to wartość jest graniczną dla kopalń wietnamskich. We wstępie Autor zaznacza, że proces mechanizacji górnictwa węglowego w Wietnamie będzie postępował, co przy jednoczesnym zwiększaniu się głębokości wydobycia stanie się przyczynkiem do wzrostu zagrożenia cieplnego w kopalniach. Doktorant we wprowadzeniu stwierdza, że praca doktorska jest pierwszą rozprawą naukową dotyczącą prognozowania temperatury powietrza dla kopalń Wietnamu.

Celem głównym pracy jest opracowanie metody prognozowania temperatury powietrza w rejonie ściany (ściślej na wylocie z wyrobiska ścianowego) zarówno zmechanizowanej, jak i niezmechanizowanej. W opinii Autora, opracowana przez niego metoda powinna zostać wdrożona w dowolnej podziemnej kopalni węgla kamiennego w Wietnamie. Dyplomant założył dwie tezy pracy:

1. „Ze względu na specyfikę warunków wietnamskich kopalń istnieje możliwość powiązania czynników górniczych i geologicznych z warunkami klimatycznymi w wyrobiskach ścianowych zmechanizowanych i niezmechanizowanych w warunkach wietnamskich”.
2. „Na podstawie metod statystycznych istnieje możliwość dokładnego prognozowania temperatury powietrza na etapie projektowania i prowadzenia eksploatacji w wyrobiskach ścianowych zmechanizowanych i niezmechanizowanych”.

Szczególnie warta podkreślenia jest tutaj druga teza, udowodnienie której miałoby znaczenie użyteczne.

W rozdziale trzecim Autor przedstawia informacje dotyczące procesu wymiany ciepła, który zachodzi w wyrobiskach górniczych. Opisuje kolejno procesy: przewodnictwa cieplnego,

konwekcji ciepła, promieniowania i parowania oraz prezentuje zależności związane z tymi procesami. Wskazuje na wagę niejawnego przepływu ciepła (związanego z odparowaniem wilgoci) w warunkach kopalń wietnamskich. Doktorant w tym rozdziale przedstawia także wskaźniki mikroklimatu cieplnego stosowane w kopalniach, takie jak: wskaźnik dyskomfortu cieplnego „ δ ”, temperatura zastępcza klimatu, temperatura WBGT oraz opisuje wpływ wysokiej temperatury powietrza kopalnianego na górników. W tym rozdziale znajduje się krótki opis obowiązujących w Wietnamie norm i przepisów prawnych oraz stosowanych metod zwalczania zagrożenia cieplnego.

Rozdział czwarty kontynuuje studia literaturowe i dotyczy metod prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych. Autor szczegółowo przedstawia szereg metod prognozowania: PTO (opracowana przez GIG), J.Wacławika, J.Voß'a, A. Woropajewa wraz z odpowiednimi wzorami. Rozdział ten jest zdecydowanie zbyt długi, przedstawione w nim 44 wzory nie zostały wykorzystane w dalszej części pracy. Istotna jest natomiast konkluzja wynikająca z niego, że przedstawione metody są trudne do wykorzystania w warunkach kopalń wietnamskich.

W stosunkowo krótkim, liczącym 7 stron, rozdziale piątym Autor dokonuje charakterystyki kopalń węgla kamiennego w Wietnamie. Ukazuje wielkość wydobycia w ciągu ostatnich dziesięciu lat z podziałem na ściany zmechanizowane oraz niezmechanizowane, powszechnie stosowane we Wietnamie wyposażenie wyrobisk ścianowych oraz przedstawia wartości parametrów prędkości powietrza, temperatury powietrza oraz wilgotności względnej.

Od rozdziału szóstego rozpoczyna się część badawcza pracy doktorskiej. Autor przedstawia w nim wyniki pomiarów parametrów powietrza w 12 rejonach eksploatacyjnych, które znajdowały się w 10 kopalniach. Mierzonymi parametrami były: prędkość powietrza, temperatura sucha i temperatura wilgotna powietrza, ciśnienie powietrza. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant wyznaczył strumień objętości powietrza, wilgotność względną powietrza. Wyniki zostały przedstawione w formie tabelarycznej oraz za pomocą rysunków. Szczegółowe wyniki pomiarów zostały zawarte w załącznikach 1 i 2. Wymienione parametry powietrza były mierzone i obliczane w dwóch miejscach rejonu eksploatacyjnego: na wlocie do chodnika przyścianowego oraz na wylocie ze ściany. Korekty wymaga nazewnictwo punktów pomiarowych oznaczonych jako P1 – nie są to, jak podaje Autor, wloty do ściany.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawia także wyniki symulacji wykonanej w programie Ventsim Design. Dotyczy ona zmian temperatury powietrza w wybranych ścianach. Wyniki symulacji wskazują na istotny udział ciepła utajonego w procesach związanych z wymianą ciepła w wyrobiskach podziemnych kopalń węgla kamiennego w Wietnamie.

W rozdziale siódmym Autor dokonuje analizy statystycznej danych pomiarowych wpływających na temperaturę powietrza na wylocie ze ściany. Wybranymi przez Doktoranta zmiennymi niezależnymi są: temperatura powietrza na wlocie, wilgotność względna powietrza, strumień objętości powietrza, głębokość zalegania wyrobiska, moc urządzeń elektrycznych pracujących w wyrobisku, wydobyte dobowe, długość wyrobiska. Autor wykorzystując program Statistica dokonuje badania normalności rozkładu zmiennych niezależnych (z wykorzystaniem testów: Kołmogorowa-Smirnowa oraz Shapiro-Wilka). Wyznacza wartości średniej arytmetycznej, średniej geometrycznej, mediany, mody, liczności mody, minimum, maksimum, odchylenia standardowego, współczynnika zmienności, skośności oraz kurtozy. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdza o normalności rozkładu zmiennych niezależnych. W kolejnym kroku bada korelacje pomiędzy poszczególnymi zmiennymi niezależnymi, a zmienną zależną (temperaturą powietrza na wylocie ze ściany). Wyniki przedstawia za pomocą macierzy korelacji i odpowiednich rysunków. Doktorant wyznacza równania regresji liniowej oraz regresji kwadratowej, które to równania łączą zmienną zależną, ze zmiennymi niezależnymi. Dla uzyskanych równań wyznacza wartości współczynników korelacji i determinacji oraz wartości standardowego i względnego błędu estymacji. Autor dokonuje wspomnianej analizy rozdzielnie dla ścian zmechanizowanych i niezmechanizowanych.

W rozdziale ósmym Autor przedstawił wyniki prognozy temperatury powietrza na wylocie ze ściany uzyskaną z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych. Do obliczeń wykorzystał pakiet Sieci neuronowe STATISTICA. Doktorant wybrał po 5 typów sieci neuronowych (dla ścian zmechanizowanych i niezmechanizowanych) różniących się od siebie liczbą neuronów i funkcją aktywacji. Uzyskane wyniki wykazały się dobrym dopasowaniem (o średnim błędzie mniejszym niż $0,31^{\circ}\text{C}$ dla ścian zmechanizowanych oraz $0,26^{\circ}\text{C}$ dla ścian niezmechanizowanych).

W przedostatnim, dziewiątym rozdziale pracy, Autor dokonuje weryfikacji otrzymanych przez niego wcześniej metod prognozowania temperatury powietrza na wylocie ze ściany. Weryfikacja została dokonana dla jednej ściany zmechanizowanej i jednej

niezmechanizowanej. Wybrane zostały modele uwzględniające: regresje liniową, regresje kwadratową oraz jeden model z wykorzystaniem sieci neuronowej.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie oraz wnioski w liczbie ośmiu.

Na podstawie celu i tez postawionych w pracy doktorskiej oraz przedstawionych przez Doktoranta badań, analizy oraz wniosków uważam, że temat pracy jest adekwatny do treści w niej zawartych, a zagadnienie w niej rozważane ma znaczenie praktyczne ograniczone jednak do kopalń wietnamskich.

3. Merytoryczna ocena pracy

Zagrożenie związane z wysoką temperaturą powietrza występująca w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego jest istotne ze względu na zdrowie i życie górników. W warunkach kopalń wietnamskich, ze względu na wzrastającą mechanizację wydobycia, a poprzez to wzrost mocy elektrycznej urządzeń zainstalowanych w wyrobiskach oraz na wzrastającą głębokość wydobycia zagrożenie to będzie wzrastać. Dodatkowym czynnikiem jest wysoka wilgotność względna powietrza w kopalniach. Mając na uwadze powyższe temat podjęty przez Doktoranta jest istotny, otrzymanie metody pozwalającej na prognozowanie temperatury powietrza na wylocie z wyrobiska ścianowego ma znaczenie praktyczne.

Na korzyść Autora należy podkreślić pozyskanie znacznej liczby danych pomiarowych (wyniki z 274 dni pomiarowych dla ścian zmechanizowanych oraz 292 dni dla ścian niezmechanizowanych). Poza danymi pomiarowymi Doktorant uwzględnił w swojej analizie także dane z map górniczych (głębokość zalegania, długość wyrobisk), wydobycie dobowe i moc urządzeń zainstalowanych w wyrobiskach. Uzyskane wyniki dotyczyły 12 ścian zlokalizowanych w 10 kopalniach, pozwala to już na uzyskanie zbioru danych wejściowych posiadających znaczenie statystyczne. Kolejność statystycznej obróbki danych wejściowych – badanie normalności rozkładu zmiennych niezależnych, wyznaczanie wartości dla macierzy korelacji pomiędzy zmiennymi oraz wyznaczenie równań regresji liniowej i kwadratowej – jest właściwa. Utylitarne znaczenie mają równania opisane wzorami 7.5 (dla regresji liniowej) i 7.7 (dla regresji kwadratowej) dla ścian zmechanizowanych (lub ich uproszczone wersje – równania 7.6 i 7.8) oraz 7.10 i 7.12 (lub ich uproszczone wersje – równania 7.11 i 7.13) dla ścian niezmechanizowanych. Zaletą tych wzorów jest ich prostota, należy jednak pamiętać, że uzyskane one zostały dla warunków wietnamskich, więc stosowanie ich w kopalniach innych krajów może prowadzić do błędnych wniosków. Pewne nadzieje, budzi także model

utworzony z zastosowaniem sieci neuronowych. Wymaga on jednak dalszego „uczenia się”. Przedstawiona w rozdziale dziewiątym weryfikacja modeli prognostycznych wykazała dobrą dokładność dopasowania wyników uzyskanych z modeli regresji liniowej i regresji kwadratowej do wartości zmierzonej temperatury powietrza na wylocie ze ściany. Wielkość średniej odchyłki temperatury prognozowanej i mierzonej dla modelu wykorzystującego sieć neuronową wynosząca 1,39°C dla ścian zmechanizowanych oraz 0,89°C dla ścian niezmechanizowanych jest jednak stosunkowo wysoka. Wskazuje to na konieczność rozszerzania zbioru danych wejściowych do modeli. Wnioski wynikające z pracy mają charakter praktyczny i udowadniają tezy pracy.

Pod względem graficznym praca stoi na dobrym poziomie – rysunki i tabele są czytelne. Pewnych poprawek wymaga stylistyka wypowiedzi. Doktorant poprawnie sformułował problem badawczy oraz przeprowadził właściwą dyskusję wyników.

Wobec powyższego, poziom merytoryczny pracy oceniam pozytywnie.

4. Uwagi szczegółowe

Mimo pozytywnie ocenianej rozprawy doktorskiej mam kilka uwag/pytań do przedstawionych treści pracy, które wymagają wyjaśnienia:

1. Doktorant wybrał siedem zmiennych niezależnych: temperaturę powietrza na wlocie, wilgotność względną powietrza, strumień objętości powietrza, głębokość zalegania wyrobiska, moc urządzeń elektrycznych urządzeń pracujących w wyrobisku, wydobywanie dobowe, długość wyrobiska wpływających na zmienną niezależną jaką jest temperatura powietrza na wylocie ze ściany. Czy wśród zmiennych niezależnych nie powinna być uwzględniona powierzchnia całkowita wyrobiska ścianowego, a nie tylko długość wyrobiska? Parametr ten ma przecież istotne znaczenie w procesie wymiany ciepła.
2. Czy temperatura pierwotna górotworu nie byłaby zmienną niezależną lepiej obrazującą model prognostyczny w stosunku do zmiennej jaką jest głębokość zalegania?
3. W równaniach regresji wartość współczynnika zmiennej niezależnej jaką jest wilgotność względna posiada znak minus. Niektórzy z czytelników pracy doktorskiej mogliby dojść do wniosku, że w celu polepszenia warunków cieplnych na wylocie

ze ściany należy doprowadzać powietrze o jak największej wilgotności względnej. Proszę odnieść się do tej kwestii.

4. Do weryfikacji modeli zostały wybrane ściany 14-5-5 w kopalni Khe-Cham III (ściana zmechanizowana) oraz ściana II-7-3 w kopalni Nam Mau (ściana niezmechanizowana). Parametry powietrza z tych ścian były także danymi wejściowymi wykorzystywanymi podczas tworzenia modeli prognostycznych. Czy nie lepiej byłoby przeprowadzić weryfikację modeli dla ścian, które nie zostały ujęte w pracy doktorskiej?
5. Dyplomant w rozdziale szóstym często opisuje punkt P1 jako wlot do ściany. Analizując rysunki przedstawione w tym rozdziale stwierdzam, że punkt ten nie jest jednak wlotem do wyrobiska ścianowego.

Wątpliwości te winny być wyjaśnione przed dalszym publikowaniem wyników pracy.

5. Wniosek końcowy

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają wartości pracy doktorskiej, która posiada duże znaczenie praktyczne. Jej wyniki mogą być przydatne w kopalniach węgla kamiennego w Wietnamie przy prognozowaniu temperatury powietrza.

Podsumowując uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał się umiejętnością stawiania problemów naukowych, prowadzenia badań oraz dokonywania analiz wyników statystycznych oraz ich weryfikacji. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz stanowi samodzielne rozwiązanie problemu badawczego. Doktorant wykazał się dobrym poziomem wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej, w której prowadził badania. Mgr Truong Tien Quan dowiódł tym samym, że spełnia wymagania do otrzymania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Stwierdzam, że praca doktorska mgra Truong Tien Quana pt. „Metody prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach ścianowych zmechanizowanych i niezmechanizowanych w warunkach kopalń wietnamskich” w pełni odpowiada warunkom określonym w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. Z 2021r. poz. 478 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej przez Radę Dyscypliny

Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie do publicznej obrony.

Gliwice, 12.12.2021r.

Pach