

Katowice 29.05.2023

Dr hab. Marek Sikora  
Katedra Sieci i Systemów Komputerowych  
Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 16  
44-100 Gliwice  
Email: [marek.sikora@polsl.pl](mailto:marek.sikora@polsl.pl)

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Tytuł rozprawy:** Nowa metoda wykorzystania wskaźnika Grahama do oceny stanu zagrożenia pożarowego w rejonach ścian inertyzowanych azotem

**Autor rozprawy:** mgr inż. Lucjan Świerczek

**Promotor rozprawy:** dr hab. inż. Stanisław Trenczek

**Dziedzina:** nauki inżyniersko-techniczne

**Dyscyplina:** inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka

## 1. Temat i cel rozprawy

Tematyka rozprawy obejmuje zagadnienia oceny zagrożenia pożarami endogenicznymi. Główny cel rozprawy to zaproponowanie nowej metody oceny zagrożenia bazującej na wartościach wskaźnika Grahama oraz pomiarach stężeń gazów mających związek z samozagrzewaniem węgla. Autor przedstawia propozycje dwóch metod, jedna opiera się na analizie statystycznej wiążącej wartości współczynnika Grahama z rzeczywistym stanem zagrożenia, druga wykorzystuje metody maszynowego uczenia do budowy klasyfikatora oceniającego poziom zagrożenia.

Uzasadnienie wyboru tematu nie budzi żadnych wątpliwości, autor bardzo dobrze i trafnie uzasadnia celowość podjęcia badań opisanych w rozprawie.

## 2. Zawartość i charakter rozprawy

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów oraz spisu literatury, a także krótkiego dodatku, w którym zamieszczono skrypt języka Python zawierający implementację eksperymentów związanych z trenowaniem sieci neuronowej.

We wstępie poza podaniem motywacji dla podjęcia badań, Autor przedstawił również obowiązujące przepisy prawne związane z oceną zagrożenia pożarami (pożarem endogenicznym) w polskich kopalniach węgla kamiennego. W rozdziale drugim kontynuowano uzasadnienie podjęcia badań odnosząc je do przedstawionej w nim tezy głównej i utylitarnych celów rozprawy. Rozdział zawiera również krótkie streszczenie – przewodnik – po zawartości pracy.

Rozdział trzeci poświęcony jest w całości analizie wskaźnika Grahama. Autor analizuje wzór analityczny współczynnika i na tym tle na podstawie odpowiednio dobranej próby danych benchmarkowych pokazuje mocne i słabe strony stosowania wskaźnika Graham do oceny zagrożenia pożarowego. Rozdział zawiera dokładny opis próbki danych benchmarkowych (z jakich ścian pochodzą, w jakich warunkach były gromadzone oraz jakie stany zagrożenia opisują). Materiał ten stanowić będzie „źródło prawdy” (tzw. ground truth) dla badań weryfikacyjnych metod zaproponowanych przez doktoranta. Rozdział zawiera również analizę statystyczną zakończoną podaniem przedziałów wiarygodności wskaźnika Grahama. Dokładniej, wartości wskaźnika (dokładniej mianownika) dla których ocena stanu zagrożenia wykonywana na ich podstawie jest wiarygodna.

Rozdziały czwarty i piąty podnoszą kwestię oceny stanu zagrożenia pożarowego za pomocą wskaźnika Grahama w ścianach poddanych inertyzacji azotem. Autor podobnie jak w rozdziale trzecim opisuje dokładnie próbkę danych poddawanych dalszej analizie. Próbkę analizowane są pod ze względu na stężenia gazów związanych z procesem samozagrzewania węgla, oraz wartości wskaźnika Grahama. Przy czym analizowane są dwie grupy próbek zawierających

poniżej i powyżej 80% stężenia azotu. Analiza statystyczna prowadzi Doktoranta do zaproponowania schematu blokowego (algorytmu) postępowania podczas oceny stanu zagrożenia pożarami w zrobach ścian i za tamami izolacyjnymi (w rejonach stosowania inertyzacji azotem).

W rozdziale szóstym opisano zastosowanie popularnej metody maszynowego uczenia jaką jest trenowanie sztucznej sieci neuronowej do budowy klasyfikatora przewidującego - na podstawie stężenia gazów mających związek z samozagrzewaniem węgla – stan zagrożenia pożarem endogenicznym. Autor przedstawia krótko podstawy teoretyczne metody opisuje również metodykę przeprowadzenia eksperymentu (train-and-test) oraz przeprowadza krótką analizę jakości analizowanych zbiorów danych. Autor zwraca uwagę, że rozkład klas jest nie zrównoważony i stosuje w dalszej części badań metodę SMOTE do zbalansowania liczby przykładów treningowych reprezentujących poszczególne klasy (w tym klasy wskazujące na wysoki poziom zagrożenia). Kluczowe znaczenie dla rezultatów prezentowanych w rozdziale ma analiza uzyskanych wyników klasyfikacji. Autor najpierw przeprowadza badania związane z doбором architektury sieci, a następnie przeprowadza analizę porównawczą wyników otrzymywanych za pomocą metody wskaźnika Grahama i sztucznej sieci neuronowej, wskazując na liczne przewagi modelu bazującego na sieci neuronowej.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie wyników oraz odniesienie się do tezy rozprawy.

### **3. Tezy rozprawy**

Doktorant stawia dwie tezy zasadnicze:

1. Istnieje możliwość opracowania kryteriów stosowania wskaźnika Grahama dla zwiększenia wiarygodności oceny stanu zagrożenia pożarem endogenicznym.
2. Możliwe jest wyznaczenie stanu zagrożenia pożarowego w oparciu o sztuczną sieć neuronową, stopniując to zagrożenie analogicznie do wskaźnika Grahama.

Tezy zostały postawione jasno i czytelnie, a badania opisane w rozprawie pokazują dążenie do ich weryfikacji empirycznej. Rozprawa wykazuje prawdziwość obu tez i pomimo pewnych uwag krytycznych/dyskusyjnych dotyczących metodyki eksperymentu pozytywnie oceniam przedstawiony w rozprawie sposób prowadzenia badań.

### **4. Analiza źródeł i zastany stan wiedzy**

Bibliografia recenzowanej rozprawy doktorskiej składa się ze 121 pozycji. Autor cytuje je w odpowiednim kontekście. Źródła te dobrze przedstawiają bieżący stan wiedzy w obszarze jakiego dotyczy tematyka rozprawy. W szczególności Autor przedstawia odpowiednie przepisy prawne regulujące procedury oceny zagrożenia pożarami w polskich kopalniach. Pewien niedosyt pozostawia rozdział związany z zastosowaniem metod (a w zasadzie jednej metody

analitycznej i jednej metody preprocessingu danych) maszynowego uczenia w budowie klasyfikatora oceniającego stan zagrożenia pożarami. Autor poprawnie przytacza literaturę dotyczącą sieci neuronowych, zapomina jednak o szerszym spectrum metod które nadają się do rozwiązania rozważanego problemu. W szczególności nie wspomina o klasyfikacji porządkowej z którą mamy do czynienia – wartości zmiennej decyzyjnej tworzą zbiór uporządkowany.

Autor powołuje się również na swoje publikacje dotyczące omawianego zagadnienia, pozwala to recenzentowi zorientować się w dorobku publikacyjnym Autora. Prace publikowane są w branżowych czasopismach i materiałach konferencyjnych, dorobek publikacyjny Doktoranta jest zdaniem recenzenta dobry.

## 5. Oryginalne wyniki i ich znaczenie

Doktorant podejmuje ważny problem udoskonalenia metod oceny zagrożenia pożarami (w szczególności w rejonach ścian inertyzowanych azotem) na podstawie analizy danych zgromadzonych w toku prowadzonych zarówno rutynowo jak i w sposób zaplanowany pomiarów. W ostatnim czasie popularne stało się stwierdzenie, że „dane to nowe paliwo gospodarki”, przykłady różnego rodzaju wdrożeń metod analizy danych w szerokim spectrum obszarów zastosowania pokazują, że stwierdzenie to jest nie tylko modne ale również prawdziwe.

W przemyśle wydobywczym metody bazujące na analityce danych mogą być (i są) stosowane m.in. w ocenie zagrożeń naturalnych i diagnostyce maszyn.

Za najbardziej wartościowe wyniki uzyskane przez doktoranta uważam:

- Zdefiniowanie na podstawie badań eksperymentalnych i analiz statystycznych przedziału wiarygodności stosowania wskaźnika Grahama jako kryterium oceny zagrożenia pożarami endogenicznymi.
- Opracowanie rzeczywistych – popartych wynikami badań eksperymentalnych – warunków stosowania wskaźnika Grahama jako kryterium oceny zagrożenia pożarami w rejonach ścian poddawanych inertyzacji azotem.
- Zaproponowanie rozważania problemu oceny stanu zagrożenia pożarami jako problemu klasyfikacji, bazującego na pomiarach stężeń gazów mających związek z samozagrzewaniem węgla.
- Przygotowanie zbioru przykładów treningowych, wytrenowanie i analiza użyteczności modelu prognostycznego bazującego na sztucznej sieci neuronowej.
- Zaproponowanie schematu – algorytmu - postępowania podczas oceny stanu zagrożenia pożarowego uwzględniającego ograniczenia stosowalności wskaźnika Grahama jako kryterium tej oceny.

## 6. Redakcja rozprawy i prezentacja wyników

Rozprawa zredagowana jest w sposób bardzo dobry, układ pracy jest czytelny i przejrzysty. Kolejne rozdziały tworzą logiczną i spójną całość. Indeksy i spisy ułatwiają czytanie i zrozumienie prezentowanego materiału. Pracę dobrze się czyta – napisana jest starannie pod względem stylistycznym i typograficznym. Uwaga krytyczna dotyczy graficznej formy prezentowania wyników, prezentowanie wyników jedynie w postaci tabelarycznej utrudnia ich analizę. W niektórych przypadkach lepsza zdaniem recenzenta byłaby prezentacja w postaci rozkładów lub histogramów - w szczególnym stopniu uwaga ta dotyczy to rozdziału szóstego.

## 7. Słabe strony i uwagi krytyczne/dyskusyjne

W rozdziałach związanych z analizą statystyczną metodyka badań przyjęta przez Doktoranta polega na kilkukrotnym wykonywaniu testów statystycznych w celu określenia przedziałów wiarygodności wskaźnika Grahama.

1. Wobec przyjętej metodyki rodzi się pytanie czy w analizie nie powinno się uwzględnić faktu wielokrotnych porównań i zastosować odpowiednich technik korekty fałszywych odkryć?

Kolejne pytanie dotyczy p-wartości.

2. Dlaczego Autor nie zdecydował się podawać p-wartości testów? Autor stwierdza jedynie czy można czy nie można odrzucić hipotezę zerową na zadanym poziomie istotności. Informacja o p-wartościach byłaby źródłem dodatkowej – cennej informacji.

Ostatnia uwaga związana z badaniami statystycznymi dotyczy użytego testu.

3. Doktorant powołując się m.in. na licznosc próbki i tw. graniczne, z definicji przyjmuje ze badanych rozkład jest normalny, w pracy – fragment o usuwaniu wartości odstających - są jednak sformułowania o skośności rozkładu. Dlaczego zatem nie sprawdzano empirycznie czy rozkłady są normalne lub nie rozważono użycia odpowiedniego testu nieparametrycznego?

W zakresie zastosowania sieci neuronowej do budowy klasyfikatora określającego stan zagrożenia pożarami recenzentowi nasuwa się kilka uwag krytycznych i pytań:

4. Z jakiego powodu Autor ograniczył się do metody trenowania sieci neuronowych. Obecnie dostępnych jest wiele metod (i gotowych do użycia bibliotek), które jak wykazuje analiza danych benchmarkowych uzyskują dużo lepsze wyniki w zakresie predykcji niż sieci neuronowe. Dane poddawane analizie to dane tabelaryczne, średnio najlepsza metoda dla tego typu danych to metoda wzmocnienia gradientu (ang. gradient boosting) dla której istnieją co najmniej dwie bardzo dobre implementacje (XGB, LightGBM). Autor całkowicie zignorował też metodykę automodelowania ML

(AutoML), które pozwala na zbadanie szerokiego spectrum metod analitycznych wraz ze strojeniem ich hiperparametrów.

5. Przyjęta metodyka testowania train-and-test (80% do 20%) chociaż w świetle wielkości próbki nie budzi zasadniczych zastrzeżeń to jednak standardem jest obecnie stosowanie metod walidacji krzyżowej (powtarzanej wielokrotnie) co pozwała na lepsze oszacowanie zdolności predykcyjnych klasyfikatora oraz ocenę wariancji wyników.
6. Forma prezentacji wyników działania klasyfikatora budzi moje zastrzeżenia (rozdział 6). W tabelach, Autor prezentuje stan zagrożenia „oszacowany” metodą wskaźnika Grahama oraz przez klasyfikator natomiast nie podaje wartości ground truth. Takie postępowanie w zasadzie uniemożliwia łatwe oszacowanie czułości i specyficzności klasyfikacji (zwłaszcza dla klasy najmniej licznej). W przyjętej próbie danych prawidłowa – rzeczywista – wartość zagrożenia pożarem jest przecież znana i właśnie ta wartość powinna być punktem odniesienia dla wartości estymowanych przez metodę wskaźnika Grahama i sieci neuronową.
7. Analiza czułości i specyficzności klasyfikatora przeprowadzana jest na tle wartości wskaźnika Grahama (patrz uwaga pkt. 6), natomiast w ogóle nie podano standardowych – w przypadku klasyfikacji wieloklasowej i niezbalansowanych zbiorów danych – wskaźników opisujących jakość klasyfikacji. Wskaźnikami takimi są m.in. czułość, specyficzność, PPV i NPV. Analiza tych wartości – dla każdej klasy decyzyjnej oddzielnie pozwala lepiej oszacować jakość klasyfikacji. Dokładność klasyfikacji (tzw. overall classification accuracy), której używa Doktorant nie jest zbyt dobrą miarą do oceny klasyfikacji w przypadku niezbalansowania klas. Chociaż analizy Autora przeprowadzane w rozdziale szóstym częściowo pokazują, że specyficzności i czułość klasyfikacji jest dobra jednak brak w pracy syntetycznej i zbiorczej analizy tego zagadnienia.
8. Największe zastrzeżenie recenzenta budzi kolejność wykonania prac mających na celu trenowanie sieci i balansowanie zbioru przykładów. Autor niezbyt precyzyjnie opisuje przyjęty sposób postępowania. Z tekstu wynika, że najpierw równoważy rozkład klas, a dopiero potem dokonuje podziału na zbiór treningowy i testowy. Takie postępowanie nie jest prawidłowe i może zaburzać wyniki związane z czułością i specyficznością klasyfikatora.

Recenzent ma również uwagę dotyczącą odtwarzalności wyników prezentowanych w rozprawie. Doktorant nie udostępnia analizowanych zbiorów danych – udostępnianie danych jest obecnie standardem w naukach eksperymentalnych w szczególności w dziedzinie maszynowego uczenia i eksploracji danych. Udostępniane dane są oczywiście zanonimizowane. W zasadzie w żadnym liczącym się czasopiśmie naukowym nie można obecnie opublikować wyników badań bez udostępnienia danych będących podstawą ich otrzymania.

## 8. Podsumowanie i wniosek końcowy

Po analizie rozprawy mogę stwierdzić, że umieszczone w niej rezultaty badań uzyskano w sposób rzetelny, a wyniki stanowią nowy wkład w dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka - w szczególności wnoszą wkład do metodyki oceny zagrożenia pożarami endogenicznymi. Rozprawa potwierdza zdolność Doktoranta do dalszej pracy naukowej. Uwagi krytyczne i dyskusyjne nie umniejszają mojej jednoznacznie pozytywnej oceny przedstawionej rozprawy, a ich celem jest m.in. chęć podjęcia dyskusji podczas obrony pracy.

**Stwierdzam, że recenzowana rozprawa pt. „Nowa metoda wykorzystania wskaźnika Grahama do oceny stanu zagrożenia pożarowego w rejonach ścian inertyzowanych azotem” przygotowana przez mgr. inż. Lucjana Świerczka spełnia wymagania i warunki określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (jednolity tekst Dz. U. z 2023 r. z późn. zm.). i wnoszę o przyjęcie ww rozprawy doktorskiej, dopuszczenie jej do publicznej obrony i dalszych etapów postępowania doktorskiego.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Monika Sahn', is located in the lower right quadrant of the page.