

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Ostrogórskiego

*„Ocena i detekcja zagrożenia metanowego rejonu ściany
w oparciu o rozproszony system bezprzewodowy”*

1. Wprowadzenie

Opiniowana praca dotyczy nowej metody kontroli stężenia metanu za pomocą systemu pomiarowego integrującego indywidualne metanomierze górników (pracujące w sieci typu Ad Hoc), z autorskimi algorytmami przetwarzania i wymiany danych dla zwiększenia precyzji w czaso-przestrzennej lokalizacji zagrożenia metanowego. Badania mają charakter teoretyczno-eksperymentalny. Badania eksperymentalne, przeprowadzone w dwóch kopalniach węgla kamiennego, poprzedzono symulacjami działania systemu w autorskim programie DevSim, opracowanym dla potrzeb pracy doktorskiej.

Zagrożenie metanowe, jako jedno z naturalnych zagrożeń aerologicznych, nieodłącznie towarzyszy pracom w wyrobiskach górniczych. Należy podkreślić, że pomimo zastrzonych przepisów obowiązujących w zakładach górniczych prowadzących podziemną eksploatację surowców, wciąż odnotowuje się przypadki zapalenia bądź wybuchu metanu, z tragicznymi skutkami dla pracujących załóg. Pożądany jest zatem rozwój w zakresie metod monitoringu fizyko-chemicznych parametrów środowiska kopalni. Problematyka jest bardzo ważna i nigdy nie straci na znaczeniu, ponieważ obejmuje zagadnienia decydujące o zdrowiu i życiu człowieka pracującego w trudnym środowisku. Wczesna i wiarygodna detekcja niebezpiecznego stężenia metanu jest kluczem do podjęcia stosownych działań profilaktycznych w strefie zagrożenia.

Uwzględniając powyższe należy uznać, że tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Ostrogórskiego wpisuje się w niezwykle ważny nurt badawczy.

2. Zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 122 strony i obejmuje 8 zasadniczych rozdziałów, bibliografię (rozdział nr 9), 2 załączniki (rozdziały o nr. 10 i 11), spis treści, spis oznaczeń oraz zestawienie 6 definicji związanych z metanowością.

Rozdział pierwszy jest wstępem, w którym Autor informuje, czym są zagrożenia górnicze i jak ważny jest monitoring zagrożenia metanowego, wraz z transferem informacji pomiędzy przyrządami w systemie gazometrii. Dodatkowo, w ostatnim akapicie tego rozdziału przedstawiono pokrótce strukturę pracy.

W drugim rozdziale uzasadniono celowość opracowania nowego systemu do rejestracji stężenia metanu z równoczesną lokalizacją tej detekcji, bazującego na indywidualnych metanomierzach górników. Intencją Autora jest wdrożenie stosownych procedur komunikacji pomiędzy tymi przyrządami oraz implemencja algorytmów zapewniających wczesną identyfikację zagrożenia, z przekazaniem alarmowego sygnału pracownikom w strefie zagrożenia. Sformułowano tezę pracy o następującej treści: *„Zastosowanie sieci czujników indywidualnych stężenia metanu wraz z zaproponowanym algorytmem przetwarzania i weryfikacji danych pozwala na wyznaczenie aktualnego poziomu zagrożenia metanowego w miejscu przebywania załogi”*.

W ramach trzeciego rozdziału scharakteryzowano metan, wskazując warunki determinujące zapalenie/wybuch jego mieszaniny z powietrzem. W rozdziale 3.2 zaprezentowano metody prognozowania metanowości w wyrobisku górniczym, a w rozdziale 3.3 zdefiniowano kategorie zagrożenia metanowego i przedstawiono w sposób ogólny metody wykrywania zagrożeń. Kontynuację tych treści stanowi rozdział 3.5, w którym dokonano przeglądu systemów gazometrii i stosowanych czujników, jak również sieci bezprzewodowych (w tym sieci typu Ad Hoc, leżącej u podstaw systemu zaproponowanego przez Autora). Bardzo ważny jest rozdział 3.4, w którym zestawiono zdarzenia niebezpieczne w kopalniach węgla kamiennego z lat 2011-2020 (Tab. 3.4). Analiza danych pokazuje, że w większości przypadków zapalenia lub wybuchy metanu nie były poprzedzone alertami o przekroczeniu dopuszczalnego stężenia metanu. Istnieje zatem potrzeba doskonalenia systemów kontroli zagrożenia metanowego.

Czwarty rozdział rozprawy jest wprowadzeniem do koncepcji systemu zaproponowanego przez Autora. Jest to rozproszony system złożony z indywidualnych metanomierzy górników, przy czym zadaniem każdego z nich jest nie tylko pomiar stężenia metanu i alarmowanie o przekroczeniu stężenia dopuszczalnego, ale też buforowanie danych i ich bezprzewodowy transfer do wszystkich metanomierzy, które znajdują się w zasięgu wskutek przemieszczania się górników. Wspomniana komunikacja jest komunikacją bezpośrednią i dwukierunkową.

Rozdział piąty składa się z czterech podrozdziałów i zawiera autorskie algorytmy odpowiedzialne za pracę proponowanego systemu. W pierwszym z nich zaprezentowano „algorytm wyboru wzorca odcinkowego”, który umożliwia ustalenie przebiegów odniesienia dla wszystkich zdefiniowanych odcinków pomiarowych (tras przejścia górników), ograniczonych referencyjnymi węzłami położenia. Jest on niezbędny do czaso-przestrzennej lokalizacji zarejestrowanego stężenia metanu, jak również określenia pola tolerancji w detekcji zagrożenia. Podrozdział 5.2 zawiera opis algorytmu wyznaczania obszaru dopuszczalnych zmian stężenia metanu dla wcześniej zdefiniowanych odcinków pomiarowych. W jednym z kroków algorytmu wyznacza się graniczne funkcje dla pola

tolerancji stężenia metanu w każdym punkcie pomiarowym danego odcinka. W modelowaniu uwzględnia się średnią prędkość przemieszczania się górnika w wyrobisku (wraz z odchyleniem od tej wartości), co implikuje niepewność określenia jego położenia, a tym samym niepewność ustalenia miejsca pomiaru stężenia metanu. W podrozdziale 5.3 wyjaśniono pokrótce zasadę oceny poziomu zagrożenia metanowego w kategorii „poziom niski” lub „poziom wysoki” – gdy dochodzi do przekroczenia górnej granicy obszaru dopuszczalnych zmian stężenia metanu na odcinku. Ostatni podrozdział (5.4) poświęcono problematyce transferu danych pomiędzy metanomierzami górników, sugerując rozwiązania logiczne dla eliminacji dublowania się zapisów w pamięci tych urządzeń.

W szóstym rozdziale opisano autorski program DevSim, opracowany celem weryfikacji algorytmów systemu detekcji zagrożenia metanowego, przy symulowanym ruchu załogi na zdefiniowanych trasach wyrobiska górniczego. Został on przygotowany w języku skryptowym Python i działa bazując na odpowiednio zdefiniowanych klasach i zależnościach pomiędzy nimi (cechy klas zamieszczono w Załączniku B). Ma też możliwość importu danych z programu Ventgraph – uznanego w branży górniczej programu do symulacji pracy systemów wentylacyjnych. Dzięki temu, w programie DevSim weryfikowano funkcjonalność opracowanego systemu pomiarowego, symulując ruch załogi z uwzględnieniem migracji metanu (zmiany jego stężenia) w korytarzach wentylacyjnych wyrobiska. Opisy programu, łącznie z prostym przykładem ilustrującym jego działanie, zamieszczono w podrozdziałach 6.1–6.3. Natomiast w podrozdziale 6.4 zaprezentowano wyniki trzech symulacji działania systemu detekcji zagrożenia metanowego, przy implementacji rzeczywistych map wyrobisk górniczych w programie. W pierwszym przypadku zilustrowano funkcjonalność sieci Ad Hoc utworzonej z metanomierzy wirtualnie poruszających się górników, analizując skuteczność komunikacji pomiędzy nimi. W dwóch pozostałych przypadkach przedstawiono wybrane wyniki oceny poziomu zagrożenia metanowego na zdefiniowanych trasach górników. Pokazano też wpływ górnej granicznej prędkości poruszania się górnika, szerokości pola tolerancji stężenia metanu oraz liczby przebiegów odcinkowych uwzględnianych przy wyznaczaniu wzorca odcinkowego na wyniki symulacji.

Badania eksperymentalne, przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, opisano w rozdziale siódmym. Z tym rozdziałem jest skojarzony Załącznik A, gdzie zamieszczono dane techniczne metanoanemometrów typu SOM 2303, używanych podczas badań. Eksperymenty zorganizowano w dwóch kopalniach węgla kamiennego – charakterystykę wyrobisk górniczych, zastosowaną metodykę badawczą, wybrane wyniki pomiarów i matematycznego modelowania z wykorzystaniem autorskich algorytmów przedstawiono odpowiednio w podrozdziałach 7.1 i 7.2. Rezultaty badań opatrzone stosowną dyskusją.

Główną część rozprawy kończy rozdział ósmy, gdzie podsumowano wykonane prace i uzyskane wyniki. Wskazano też kierunki rozwoju dla proponowanego systemu pomiarowego i związanej z nim metody detekcji zagrożenia metanowego.

Spis literatury (rozdział nr 9) zawiera 115 pozycji, przy czym pozycja [16] nie została przywołana w głównym tekście rozprawy.

3. Ocena rozprawy

- 1) Tematyka podjęta przez mgr. inż. Piotra Ostrogórskiego jest w mojej opinii bardzo ważna i równocześnie trudna z uwagi na czynnik ludzki i szereg ograniczeń w podziemnym wyrobisku górniczym. Przedłożona do recenzji rozprawa jest spójna tematycznie, ma wartość poznawczą oraz użyteczną.
- 2) Zaproponowano nową metodę kontroli zagrożenia metanowego za pomocą systemu pomiarowego utworzonego z indywidualnych metanomierzy górników, bezprzewodowo komunikujących się pomiędzy sobą i z innymi urządzeniami pracującymi w sieci typu Ad Hoc.
- 3) Opracowane przez Autora algorytmy obliczeniowe, odpowiedzialne za funkcjonalność systemu, dają możliwość czaso-przestrzennej lokalizacji stężeń metanu zarejestrowanych przyrządami transportowanymi przez górników pokonujących wcześniej zdefiniowane trasy wyrobiska. Dla każdego z odcinków trasy, w sposób automatyczny jest wyznaczana granica dopuszczalnych zmian stężenia metanu, a informacja o jej przekroczeniu ma szansę w krótkim czasie dotrzeć do pozostałych członków załogi.
- 4) Opracowano program DevSim dla weryfikacji algorytmów systemu detekcji zagrożenia metanowego, podczas symulowanego ruchu górników w wyrobisku. Badania numeryczne umożliwiły identyfikację wpływu kluczowych parametrów na wybór wzorców odcinkowych i czas transferu danych w opracowanym systemie. Wykazano między innymi znaczący wpływ szerokości pola tolerancji stężenia metanu i liczby przebiegów odcinkowych uwzględnianych przy wyznaczaniu wzorca odcinkowego na wyniki symulacji.
- 5) Ważny aspekt stanowią badania eksperymentalne przeprowadzone w warunkach rzeczywistych. Odcinkowe pomiary stężenia metanu są podstawą oceny zagrożenia dokonywanej przy udziale opracowanych algorytmów. W badaniach potwierdzono zdolność systemu do wczesnego ostrzegania o niebezpieczeństwie – wnioskowanie odbywa się po uzyskaniu znacznych różnic w stężeniach metanu lub kształcie przebiegu odcinkowego na tle dotychczasowych przebiegów. Zweryfikowano ponadto przyjętą metodykę prowadzenia badań i zidentyfikowano problemy wymagające eliminacji w przyszłych badaniach.
- 6) Na podkreślenie zasługuje kompleksowe rozwiązanie postawionego problemu badawczego – opracowano koncepcję struktury systemu i zasadę jego działania, opracowano algorytmy zapewniające jego funkcjonalność, opracowano narzędzie do prowadzenia analiz numerycznych, przygotowano i przeprowadzono badania eksperymentalne w dwóch kopalniach węgla kamiennego. Wymagało to od Autora opanowania szeregu zagadnień teoretycznych związanych z górnictwem, inżynierią mechaniczną, informatyką, jak również osiągnięcia odpowiedniego poziomu samodzielności w organizacji i prowadzeniu pracy badawczej.
- 7) Wskazano kierunki doskonalenia zaproponowanego systemu detekcji zagrożenia metanowego w wyrobiskach górniczych.

4. Uwagi o charakterze dyskusyjnym

- 1) Teza pracy jest w moim odczuciu sformułowana w sposób zbyt oczywisty. Nie obejmuje ona złożoności zagadnienia – nie uwzględnia cech szczególnych proponowanego systemu z autorską metodą detekcji zagrożenia metanowego.
- 2) U podstaw prawidłowego funkcjonowania systemu leży wybór wzorca odcinkowego dla zdefiniowanej trasy przejścia górników. Na jego ustalenie ma wpływ liczba przebiegów odcinkowych, co wykazano na Rys. 35 i 36. Nasuwa się pytanie, jakie działania można podjąć, by osłabić to ograniczenie w początkowym okresie pracy systemu?
- 3) s.18, r-nie (3.2): Wartościowe dla czytelników spoza branży górniczej byłoby podanie zakresów wartości współczynników k_1 i k_2 występujących w tym równaniu.
- 4) s.19: W równaniu (3.7) występują 4 składowe, przy czym pokazano wzory opisujące tylko trzy z nich. Należało pokazać również korelacje do szacowania strumienia objętości metanu wydzielanego z chodników przyścianowych (V_{E3}).
- 5) s.20: W równaniu (3.15) występuje metanonośność wtórna eksploatowanego pokładu (W_{we}) – w jaki sposób jest ona wyznaczana?
- 6) s.36, cytat: „*W zakresie zagrożenia metanowego sporządzane są dobowe raporty stężenia, z których wylicza się wartość maksymalną minimalną i stężenie.*”
Jaki dodatkowy parametr Autor ma na uwadze, pisząc o jego wartości maksymalnej i minimalnej?
- 7) s.44: Nierówność zapisana wzorem (4.1) jest niezrozumiała w świetle informacji zawartej na Rys. 15. Wymiana informacji pomiędzy urządzeniami uaktywni się gdy $l_u \leq (Z_1 + Z_2)$.
- 8) s.45: Opis skalowania przebiegów odcinkowych jest logiczny, ale interpretacja zapisanego w formie ogólnej wyrażenia matematycznego (5.1) budzi wątpliwości, ze względu na niespójność wymiarową argumentu funkcji.
- 9) s.59: W drugim akapicie wprowadzono pojęcie „*współczynnika trudności przejścia*” pomiędzy referencyjnymi węzłami położenia. Zabrakło informacji, skąd zaczerpnąć jego wartość i/lub jaki jest zakres zmian wartości tego współczynnika w zależności od ukształtowania trasy górnika.
- 10) s.59/60, cytat: „*Maszyna stanów przechodzi do stanu nr 2 jeżeli spełniony został warunek, że liczba iteracji jest mniejsza niż początkowo przyjęta liczba wszystkich iteracji do wykonania.*”
W jaki sposób ustala się wyżej wspomnianą początkową liczbę iteracji?

5. Uwagi krytyczne

- 1) Spis oznaczeń jest niekompletny. Pomocny w śledzeniu treści pracy byłby również spis zastosowanych w niej skrótów.
- 2) s.48, akapit pod Tab.5.2: Prędkość poruszania się górników błędnie wyrażono w [m].
- 3) W treści pracy brakuje przywołania następujących rysunków (numery: 4, 11, 24, 32, 38, 42-46, 51, 52) i tabel (numery: 6.1, 6.3, 6.4).

- 4) W licznych przypadkach przywołanie rysunków lub tabel następuje dopiero po ich prezentacji (Rysunki: 12, 14, 16, 21, 22, 25-29, 34-37, 39-41, 47-50, 53-60, 62, 66, 67; Tabele: 3.1, 3.4, 6.2). Taka forma utrudnia śledzenie treści pracy.
- 5) s.100, pierwszy akapit: Jeśli objaśniana jest trasa przejścia Zespołu nr 1, to błędnie zapisano odniesienie do rysunku (w nawiasie powinno być „Rys. 63, węzeł 1”). Z kolei w przypadku trasy Zespołu nr 2 w ogóle nie podano odniesienia do Rys. 64.
- 6) s.65: Jeśli w równaniu (6.21) położenie początkowe oznaczono jako „ x_0 ”, to w kolejnej linii należało zachować to oznaczenie oraz konsekwentnie oznaczyć czas początkowy jako „ t_0 ”.
- 7) W podpisach Rys. 33 i 34 zaakcentowano „*variant I*”, ale w treści rozdziału nie ma skojarzonej z tym informacji.
- 8) Na Rys. 43-46 brakuje oznaczenia chodnika numerem 582, choć w treści rozdziału występuje kilkukrotne odwołanie do tego oznaczenia. Ponadto, na tych rysunkach nie oznaczano sekcji numerami 30, 60, 90, 104, do których nawiązano w pierwszym akapicie strony 87. To samo dotyczy punktu „*DI*”, wymienionego w drugim akapicie na tej stronie.
- 9) s.90: W opisie Autor wskazuje na lokalizację oznaczoną „*punktem F*”, odwołując się do Rys. 42, lecz na tym rysunku brakuje tego oznaczenia.
- 10) W podpisach Rys. 57-60 dostrzega się odniesienia do numerów sekcji, które nie występują na schematach rejonu ściany. Analogiczne uchybienie występuje podczas prezentacji wyników badań w rozdziale 7.2.
- 11) W opisie *Eksperymentu II* (rozdział 7.2) brakuje wymiarowej charakterystyki rejonu ściany wyrobiska górniczego.
- 12) Zabrakło konsekwencji w stosowaniu oznaczeń. Na Rys. 21 jedną z klas oznaczono jako „*Metan Gen*”, a w rozdziale 6.2 Autor posługuje się oznaczeniem „*MetanGenerator*”. Z kolei postęp ściany w równaniu (3.8) oznaczono jako „ p_L ”, podczas gdy w spisie oznaczeń zastosowano oznaczenie „ p_e ”.
- 13) s.106: Zdanie „*Dalsza poprawa metodyki wykonywania eksperymentów prowadzi poprzez doskonalenie narzędzi*” jest merytorycznie niepoprawne. Narzędzia służą realizacji badań zgodnie z przyjętą metodyką.
- 14) W spisie literatury dostrzega się wiele pozycji z niekompletnym opisem bibliograficznym (dotyczy to nawet autocytowania – poz. [70]. Pod pozycją [46] znajduje się patent, ale nie przywołano jego numeru.

6. Uwagi edytorskie

W recenzowanej pracy dostrzeżono błędy literowe (w tym jeden błąd ortograficzny na stronie 103) i liczne błędy interpunkcyjne. Ponadto występują uchybienia w zakresie składni, których przykłady podaję poniżej:

- s.18: „*Metanowość g_3 proporcjonalna do g_1 uzależniona współczynnikiem kierowania stropem*” (zdanie pozbawione orzeczenia);

- s.38: „Pośrednio np. poprzez repeatery, czyli urządzenia powtarzające komunikaty transmisyjne” (zdanie pozbawione orzeczenia);
- s.40: „Węzły przenośne mają kilka rodzajów między innymi są to przenośne radia, przenośne urządzenia wyposażone w czujniki”;
- s.84: „Różnica jednak polega na dodatkowemu uzależnieniu od pola tolerancji stężenia metanu”.

Dostrzeżono stosowanie żargonu (sformułowania typu „eksploatacja ściany”, czy „wejście do ściany”) oraz osobowej formy wypowiedzi (strona 9), co nie powinno mieć miejsca w pracach kwalifikacyjnych.

Do innych potknięć edytorskich można także zaliczyć niefortunny podział tabeli 6.4 i zbyteczny nawias w zdaniu „W jednym przypadku odnotowano spadek (stężenia metanu).” ze strony 29.

Chciałbym w tym miejscu podkreślić, że w moim przekonaniu powyższe uwagi edytorskie nie obniżają merytorycznej wartości opiniowanej rozprawy, a jedynie utrudniają śledzenie jej treści.

7. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Piotra Ostrogórskiego pt.: „Ocena i detekcja zagrożenia metanowego rejonu ściany w oparciu o rozproszony system bezprzewodowy” zawiera sformułowanie i rozwiązanie zadania badawczego ważnego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Zrealizowany zakres prac, jak również dyskusja uzyskanych wyników, potwierdza gotowość Autora do prowadzenia badań naukowych.

Do głównych osiągnięć Autora zaliczam:

- podjęcie trudnego i ważnego zadania badawczego,
- opracowanie autorskiej metody kontroli stężenia metanu w wyrobiskach górniczych z algorytmami do wczesnego wykrywania zagrożenia metanowego,
- opracowanie autorskiego programu symulatora do weryfikacji funkcjonalności przygotowanych algorytmów,
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych w warunkach kopalnianych.

Stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Piotra Ostrogórskiego spełnia wymagania określone w art. 186 ust. 1 pkt 5 (ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

