



Uniwersytet  
Ekonomiczny  
w Katowicach

Katedra  
Badań  
Operacyjnych

SEKRETARIAT  
Rady Dyscypliny AEEITK

DR HAB. JERZY MICHNIK, PROF. UE

Wpłynęło dnia 24.03.2025

Zarejestrowano pod nr 310-16.7/24

Podpis Jm

## 1 Wstęp

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Pawła Łydka, zatytułowana „System wspomagania decyzji w projektowaniu i wdrażaniu przemysłowych systemów bezpieczeństwa wykorzystujących techniki sztucznej inteligencji”, wykonana w Akademii Górniczo Hutniczej, na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie: automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Promotorem rozprawy jest Prof. dr hab. inż. Andrzej M. Skulimowski. Uchwałą nr 70/2025 z dnia 9 stycznia 2025 r. Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne zostałem powołany na recenzenta, o czym zostałem poinformowany pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne dr hab. Ryszarda Sroki, prof. AGH, datowanym na 10 stycznia 2025 r.

## 2 Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa liczy 274 stron i obejmuje 14 rozdziałów podzielonych na mniejsze jednostki. Za stroną tytułową są streszczenia w języku polskim i angielskim oraz słowa kluczowe. Dalej następuje główny tekst rozprawy, po którym umieszczone są: spis rysunków, lista tabel, lista akronimów oraz bibliografia licząca 214 pozycji. Na końcu znajdują się ponadto: wykaz aktów prawnych, dokumentów wewnętrznych i standardów istotnych dla projektowania systemów wspomagania decyzji w sytuacji zagrożeń oraz dodatek A, zawierający specyfikację istniejącego systemu monitoringu bezpieczeństwa w Kopalni Wapienia Czatkowice (KWC).

Rozdział 1. stanowi wprowadzenie do problematyki zarządzania ryzykiem przemysłowym i prezentuje cel oraz zakres badań prowadzonych w ramach rozprawy. Wskazuje na kluczowe problemy związane z bezpieczeństwem przemysłowym oraz proponowane rozwiązania w postaci systemu IRM DSS (Industrial Risk Management Decision Support System). Teza pracy zakłada, że wykorzystanie sztucznej inteligencji i analizy wielokryterialnej pozwoli na skuteczniejsze zarządzanie zagrożeniami przemysłowymi.

Rozdział 2. koncentruje się na identyfikacji zagrożeń w przemyśle oraz metodach ich wykrywania i analizy. Opisuje zarówno klasyfikację zagrożeń, jak i konkretne technologie stosowane do ich detekcji. Opisane zostały najważniejsze zagrożenia w KWC, które obejmują intruzje, ruchy górotworu, awarie maszyn i cyberataki.

W rozdziale 3. podkreślono kluczowe potrzeby KWC w zakresie zarządzania ryzykiem, a także najważniejsze kierunki rozwoju, które obejmują m. in. lepszą integrację systemów bezpieczeństwa, rozszerzenie zastosowania robotów i dronów, zaawansowaną analizę danych w czasie rzeczywistym. Autor wskazał na konieczność wdrożenia holistycznego systemu zarządzania ryzykiem, który będzie integrować dane z różnych źródeł i zapewniać lepszą prewencję oraz szybsze reakcje na zagrożenia.

Rozdział 4. rozprawy poświęcony jest analizie literatury dotyczącej metod analizy i implementacji systemów zarządzania ryzykiem przemysłowym. Obejmuje on różne aspekty, od przeglądu metod bibliograficznych, przez fuzję informacji, po algorytmy ewakuacji i informatyczne narzędzia zarządzania bezpieczeństwem.

Metody analizy wielokryterialnej (MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis) stosowanych w systemie IRM DSS są przedmiotem rozważań rozdziału 5. Zostały omówione geneza i znaczenie MCDA w zarządzaniu ryzykiem oraz przedstawione konkretne metody optymalizacyjne i decyzyjne.

W rozdziale 6. Doktorant analizuje holistyczne podejście do zarządzania bezpieczeństwem w przemyśle. Podkreśla, że chociaż takie systemy oferują wiele korzyści, ich wdrożenie jest skomplikowane i kosztowne. Konieczna jest integracja różnych technologii, danych i procesów, co wymaga współpracy specjalistów z wielu branż. Autor rozważa przyszłość systemów bezpieczeństwa w przemyśle, wskazując zarówno ich zalety, jak i wyzwania we wdrażaniu. Najważniejsze kierunki rozwoju to IoT, robotyka, analiza predykcyjna i chmura obliczeniowa, które umożliwią bardziej efektywne zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwach.

Zaawansowana analiza propagacji ryzyka w systemach przemysłowych oraz omówienie nowoczesnych podejść, takich jak sieci Bayesa, modele dyfuzyjne i automaty komórkowe, które umożliwiają dokładniejsze przewidywanie zagrożeń i opracowanie skuteczniejszych strategii zarządzania ryzykiem znajdują się w rozdziale 7.

Tematem rozdziału 8. jest modelowanie ryzyka w celu implementacji systemu IRM DSS. Analizowane są różne podejścia do zarządzania ryzykiem, zastosowanie grafów wiedzy, a także strategie ewakuacyjne i optymalizacja procesów decyzyjnych. Zwrócono uwagę na zastosowanie grafów wiedzy, algorytmu NSGA-II i uczenia maszynowego, które pomagają w skuteczniejszym planowaniu działań prewencyjnych.

Rozdział 9. nosi tytuł „Implementacja IRM DSS w kontekście obecnych rozwiązań informatycznych w KWC”. Autor przedstawił analizę istniejących systemów informatycznych, ich interoperacyjności i luk funkcjonalnych. Zwrócił uwagę na to, że obecnie systemy ERP, SCADA i AWIA Machines działają niezależnie, co prowadzi do braków w wymianie danych i ograniczonej analizie ryzyka. IRM DSS ma wypełnić te luki, zapewniając jednolity system zarządzania bezpieczeństwem i ryzykiem. Przedstawiona też została analiza ryzyka i wrażliwości oraz analiza SWOTC dla implementacji IRM DSS w KWC.

Podsumowaniem rozdziału 9. jest omówienie celów i problemów badawczych związanych z zarządzaniem ryzykiem przemysłowym w KWC.

Rozdział 10. zajmuje centralne miejsce w rozprawie. Przedstawia projekt architektury systemu IRM DSS, który został oparty na badaniach Doktoranta i jest pierwszym etapem planowanego wdrożenia. Najważniejsze elementy systemu to:

- Automatyizacja analizy ryzyka – wykorzystanie AI do przewidywania zagrożeń.
- Integracja z systemami ERP, SCADA, IoT– zapewnienie płynnej wymiany danych.
- Modularność i elastyczność – umożliwiające rozwój i dostosowanie systemu do nowych technologii.

Główną zaletą systemu IRM DSS jest zdolność do dynamicznej reakcji na zagrożenia i optymalizacja procesów decyzyjnych w zarządzaniu ryzykiem przemysłowym.

Kontynuacją rozważań rozdziału 10. są praktyczne kwestie implementacji problemu ewakuacji maszyn i zespołów roboczych w środowisku przemysłowym, zawarte w rozdziale 11. Opisano w nim strukturę interfejsu symulacyjnego, sposoby modelowania tras ewakuacyjnych oraz wykorzystanie algorytmów optymalizacyjnych do zarządzania ewakuacją w sytuacjach kryzysowych. Wykorzystując program Matlab do modelowania tras i analizy zagrożeń, zbudowano system, który pozwala na dynamiczne planowanie tras, uwzględniając blokady, ograniczoną przepustowość i zmieniające się warunki. Zaprojektowany przez Doktoranta interfejs użytkownika daje operatorowi pełną kontrolę nad symulacją, pozwalając na testowanie różnych strategii i scenariuszy awaryjnych.

W zakończeniu rozdziału 11. Doktorant przedstawia propozycję następnego kroku w integracji zarządzania ryzykiem, jakim byłoby połączenie zarządzania ryzykiem przemysłowym z zarządzaniem ryzykiem finansowym w ramach systemu ERP. Według Autora taka integracja dałaby możliwość lepszej kontroli zagrożeń w czasie rzeczywistym, poprawiłaby efektywność operacyjną oraz wsparła podejmowanie optymalnych decyzji. Jednakże, wymagałoby to dostosowania do dynamicznych zmian technologicznych oraz przezwycięzenia barier związanych z inercją istniejących systemów.

Uzupełnieniem treści zawartej w dwóch poprzednich rozdziałach jest materiał rozdziału 12. Opisuje on harmonogram wdrożenia systemu IRM DSS w KWC. Przedstawia etapy implementacji systemu, uwzględniając kluczowe priorytety i wyzwania związane z jego integracją z infrastrukturą kopalni.

Zakończenie głównej części rozprawy stanowią rozdziały 13. i 14. Obejmują one dyskusję – dalsze kierunki rozwoju systemów bezpieczeństwa w KWC (rozd. 13) oraz wnioski końcowe (rozd. 14). Do kluczowych kierunków rozwoju Autor zaliczył m. in. rosnącą rolę AI, automatyzacji, cyberbezpieczeństwa i analizy danych. We wnioskach końcowych Doktorant wskazał, że:

- Jego praca wniosła wkład w rozwój nauki o zarządzaniu ryzykiem, wskazując na możliwości zastosowania sztucznej inteligencji w kontekście złożonych procesów przemysłowych.

- Wyniki badań potwierdziły skuteczność metod analizy ryzyka wspieranych AI w zarządzaniu bezpieczeństwem przemysłowym.
- Zaproponowany system IRM DSS może być zaadaptowany w innych sektorach przemysłowych, poprawiając reakcję na zagrożenia i optymalizując decyzje dotyczące bezpieczeństwa.

Poza tym, Doktorant spodziewa się, że połączenie analizy ryzyk przemysłowych i finansowych pozwoli na bardziej kompleksowe podejście do zarządzania, co przyniesie dalsze korzyści przedsiębiorstwu.

### 3 Uwagi dotyczące rozprawy doktorskiej

Doktorant przedstawił obszerne i wyczerpujące opracowanie na temat systemu wspomagania decyzji w projektowaniu i wdrażaniu przemysłowych systemów bezpieczeństwa z użyciem technik sztucznej inteligencji i tym samym zrealizował swój cel badawczy. Poszczególne części rozprawy prezentują realizację celów szczegółowych. Uważam, że Doktorant w pełni wywiązał się z postawionych sobie zadań badawczych.

Obszerny przegląd literatury świadczy o ogólnej wiedzy Doktoranta w zakresie ryzyka przemysłowego, metod wspomagania decyzji, a także technik informatycznych. Jakkolwiek dysertacja przypisana jest do dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, ma charakter interdyscyplinarny. Obejmuje rozważania i wyniki wkraczające na pole nauk społecznych, w obszarze nauk o bezpieczeństwie oraz nauk o zarządzaniu i jakości.

#### 3.1 Istotne uwagi merytoryczne i pytania

1. Na s. 184 w p. 2 Warstwa logiki (analityki). Autor pisze o module analizy wielokryterialnej i module predykcji i optymalizacji. Działania tych dwóch modułów są mocno powiązane. Jak Autor wyobraża sobie podział zadań na te dwa moduły?
2. W rozdziale 11.4 poruszono temat integracji zarządzania ryzykiem przemysłowym z systemem ERP oraz analizą ryzyka finansowego. Ciekawym aspektem tego zagadnienia są relacje i wzajemne powiązania pomiędzy różnymi rodzajami ryzyka. Jakie korzyści, zdaniem Doktoranta, mogłoby przynieść uwzględnienie zarówno ryzyka przemysłowego, jak i finansowego w ramach jednego, zintegrowanego podejścia? Czy można wskazać konkretne przykłady zależności, które potwierdzają zasadność takiej integracji?

#### 3.2 Uwagi o mniejszym znaczeniu i kwestie dyskusyjne

1. s. 17; „Budowa odporności” wymienia się jako termin występujący na rys. 2, ale go tam nie ma, jest za to termin „Bezpieczeństwo zakładu”.

2. s. 27; rys. 7 Brak objaśnienia zróżnicowania kolorów konceptów.
3. s. 71; nieściśle sformułowanie: „Klasyczne podejście do analizy wielokryterialnej [Bao i in., 2020] zmierza do zaproponowania rozwiązań optymalnych (często wielu rozwiązań optymalnych)”. *W przypadku wielu kryteriów używane jest inne pojęcie – rozwiązania niezdominowane.*
4. s. 94; „które z kryteriów lub alternatyw są ważniejsze i o ile bardziej.” *To sformułowanie w odniesieniu do metody AHP jest nieściśle, ponieważ w AHP używana jest skala ilorazowa.*
5. s. 95; „Natomiast rozwiązanie anty-idealne jest to odwrotność rozwiązania idealnego.”. *Raczej „przeciwnieństwo” (w odniesieniu do metody TOPSIS).*
6. s. 96; „tworzy się tzw. relację przewagi, która pokazuje,”. *W metodach agregacji relacji preferencji, do których należy rodzina metod ELECTRE, przyjęło się w języku polskim używać terminu „relacja przewyższania”.*
7. s.99, rys. 35; „ [wg Skulimowski, 2023]”. *W cytowanej pozycji nie znalazłem podobnego rysunku.*
8. s. 100; *Niejasna jest notacja dotycząca ścieżek w multigrafie. Co oznaczają węzły V z dwoma indeksami?*
9. s. 112, wzór (7.1). *Brak objaśnień dla wszystkich symboli. Czemu sumowanie po 'q'? Uwaga o braku kompletnych objaśnień do wzorów odnosi się do wielu miejsc w dysertacji, np. wzory (7.2), (7.4), (7.5).*
10. s. 130; „Poniżej znajdują się kluczowe miary ryzyka stosowane”. *Tymczasem poniżej jest lista definicji typów (źródeł) ryzyka, a nie miar.*
11. s. 133; „Ciekawą i wielowymiarową analizę metod oceny zagrożeń przedstawił [Zobel, 2010]. Artykuł powstał w oparciu o rzeczywiste zdarzenie, które dotknęło miasto Nowy Jork, a był nim huragan Sandy, który zaatakował wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych w roku 2012.” *Czyżby autor tego artykułu miał zdolność przewidywania przyszłości? A może chodziło jednak o inny huragan?*
12. s. 161-162, Algorytm 8.3 p. 4; „rozwiązania nie-dominujące są zachowywane.” *Zapewne chodziło o rozwiązanie niezdominowane.*
13. s. 162 Algorytm 8.4 Krok 4; „Rozwiązania dominujące trafiają do pierwszego zbioru Pareto”. *Chyba „niezdominowane”?*
14. s. 184; „Implementacja zaawansowanych technik AI/ML, takich jak analiza wielokryterialna oraz algorytmy optymalizacyjne,”. *Nie zgodziłbym się, że analiza wielokryterialna jest zaawansowaną techniką AI/ML.*

15. s. 189; „że charakterystyka zagrożeń przemysłowych oraz wynikająca z zagrożeń antropogenicznych (takich jak intruzje) i zjawisk naturalnych (takich jak klęski żywiołowe) jest optymalnie dopasowana do metod i narzędzi AI, które zostaną nabyte lub opracowane w celu zastosowania w IRM DSS.” *Chyba odwrotnie?*

### 3.3 Uwagi redakcyjne

Skupienie Autora na zawartości merytorycznej, skądinąd bardzo obszernej, było zapewne powodem wielu niedostatków w formie pracy. Widać to m. in. w znacznej liczbie błędów językowych, w tym tzw. literówek. Wybrane przykłady: s. 9 „Analiza zagrożeń i przeprowadzona została”; s. 30 „podejście pozawala przenalizować”; s. 45 „z niej ości ogrodzenia”; s. 82 „obejmują zakładają”; s. 110 „struktura zbudowana o model PRA”; s. 117 odniesienie do rys. 38, powinno być rys, 39; s. 121 „do popisania cech”; s. 139 „kumulacji się ryzyk”; s. 157 „ryzkiem”; s. 183 „Aby to osiągnąć niezbędną”; s. 242 „czy inne sytuacji”.

Inne uwagi redakcyjne:

1. Czytanie pracy o tak znacznej objętości byłoby ułatwione przez umieszczenie w paginacji informacji o aktualnym rozdziale (i ewentualnie podrozdziale).
2. Materiał w rozdziale 6 jest zbyt skromny na osobny rozdział (2 strony). Należałoby wprowadzić go jako część innego rozdziału, np. rozdziału 4. lub 9.
3. s. 31, wzór (2.1). Różna liczba lewych i prawych i nawiasów.
4. s. 50, wzór (2.2). Brak źródła wzoru.
5. s. 64-65. Brak objaśnienia symboli  $W/x$ , które występują na rys. 25-27.
6. s. 69, rys. 31; s. 75, rys. 34. Prognozy niewidoczne na rysunkach.
7. s. 76-81, tab. 16; jest „Interpretatice”, a powinno być „Interpretive”.
8. s. 116, rys. 38; w diagramie przeprowadzona jest strzałka od wierzchołka „Strata finansowa/Strata wizerunkowa” do wierzchołka „Utrata możliwości prowadzenia produkcji/Narażenia życia lub zdrowia pracowników”. Wydaje się, że zależność przyczynowa powinna być przeciwna.
9. s. 148-149; p. (3) W odniesieniu do krawędzi w grafach wiedzy pojawiają się dwa różne oznaczenia: para  $\varphi$  i  $\Phi$  oraz para  $\psi$  i  $\Psi$ . p. (7) Oznaczenia  $Z$  i  $Z_r$  nie były wcześniej użyte i objaśnione.
10. s. 185, 187; „najnowocześniejszych rozwiązań SI ”. Skrót SI nie był używany i nie ma go na liście akronimów.
11. s.194-195. Inne oznaczenia krawędzi na rys. 70 i 71. ( $\varphi$  i  $\Psi$ )

## 4 Wnioski końcowe

Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta w zakresie naukowym należy uznać innowacyjną koncepcję holistycznego systemu wspomagania decyzji w zarządzaniu ryzykiem przemysłowym. Doktorant opracował oryginalną architekturę informatyczną, w której

- zastosował grafy wiedzy w algorytmach weryfikujących poziom zabezpieczenia terenu i optymalizację doboru sensorów i elementów zabezpieczających,
- wykorzystał metodę sieci antycypacyjnych do priorytetyzacji akcji ratowniczych,
- zaproponował użycie algorytmów wielokryterialnych wyboru najkrótszej ścieżki do uzyskania sprawnego procesu ewakuacji z terenów zagrożonych,
- przedstawił zastosowanie mechanizmu uczenia maszynowego do budowania strategii zwiększenia odporności zakładu na przyszłe zagrożenia w oparciu o analizę podjętych wcześniej decyzji i ich skutków.

W zakresie wdrożeniowym, Doktorant wykazał przydatność zaprojektowanego systemu do zastosowania w swojej firmie. Wskazał kierunki działań w implementacji IRM DSS w odniesieniu do obecnych rozwiązań informatycznych istniejących w KWC i przedstawił odpowiedni harmonogram wdrożenia.

Rozprawa przedstawiona przez mgra inż. Pawła Łydka stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego i świadczy dostatecznie o ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. inż. Pawła Łydka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ze względu na wysoki poziom merytoryczny, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Pawła Łydka.

Tematyka dysertacji, jej znaczenie oraz innowacyjne podejście sprawiają, że wyniki badań mogą wzbudzić duże zainteresowanie wśród badaczy i praktyków. Warto byłoby rozważyć publikację monografii bazującej na tej pracy, co przyczyniłoby się do popularyzacji uzyskanych rezultatów.

Katowice, 14 marca 2025

  
dr hab. Jerzy Michnik, prof. UE

