

## STRESZCZENIE

Potrzeba ciągłego rozwoju i doskonalenia systemów bezpieczeństwa w zakładach przemysłowych nabrała priorytetowego charakteru w obliczu rosnących obecnie wyzwań związanych z bezpieczeństwem, ochroną środowiska oraz skutecznością i ciągłością działania systemów produkcyjnych. Postęp technologiczny oraz rosnąca dostępność nowoczesnych rozwiązań otwierają nowe możliwości w obszarze integracji nowych narzędzi i technologii z istniejącymi już systemami wspomagającymi procesy zarządzania bezpieczeństwem. Świadomość konieczności wdrażania innowacji w tym obszarze w Kopalni Wapienia Czatkowice zaowocowało podjęciem decyzji o stworzeniu podstaw organizacyjnych i technologicznych budowy holistycznego systemu zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwem przemysłowym oraz wsparcia procesów decyzyjnych w sytuacji materializacji ryzyk.

W rozprawie przedstawiono tło i cel badań, opisano kontekst związany z bezpieczeństwem w odkrywkowym zakładzie górniczym oraz szczegółowo przeanalizowano specyficzne potrzeby związane z ochroną pracowników, zasobów i infrastruktury przed zagrożeniami, które mogą wystąpić podczas prowadzenia eksploatacji i realizacji procesów przemysłowych. Zidentyfikowano rodzaje ryzyk, przedstawiono metody ich oceny i klasyfikacji, a także sposoby analizy procesów technologicznych pod kątem ich bezpieczeństwa. Uwzględniono możliwości wykorzystania nowoczesnych technologii, takich jak monitoring wizyjny, drony oraz czujniki rozmieszczone na obszarze górniczym, które mogą być wykorzystane do monitorowania ryzyka i zapobiegania potencjalnym zagrożeniom.

Wspomniane wyżej technologie pełnią istotną rolę w koncepcji funkcjonowania opracowanego w ramach badań i przedstawionego w rozprawie innowacyjnego systemu IRM DSS (*Industrial Risk Management Decision Support System, system wspomagania decyzji w zarządzaniu ryzykiem*). Poprzez śledzenie zmian w środowisku produkcyjnym algorytmy oparte o metody sztucznej inteligencji analizują dane z czujników, dając możliwość wczesnego wykrywania w trybie pracy ciągłej niepokojących sygnałów. Podejście takie pozwala na identyfikację nieprawidłowości w czasie rzeczywistym oraz na wdrożenie działań zapobiegawczych, co z kolei minimalizuje ryzyko zdarzeń niebezpiecznych. Szczegółowa analiza technik identyfikacji, pomiaru i zarządzania ryzykiem, które stanowią podstawę działania IRM DSS, pozwoliło na zaproponowanie architektury oprogramowania systemu wspomagania decyzji opartego na sztucznej inteligencji (AI), wykorzystującego m.in. modele sieci bayesowskich, przyczynowych i antycypacyjnych, metody analizy wielokryterialnej, fuzji informacji eksperckich, uczenia maszynowego i innych technik przetwarzania wiedzy.

Nowe podejście do projektowania inteligentnych systemów wspomagania decyzji w zarządzaniu ryzykiem przemysłowym i implementacja IRM DSS omówione są w kontekście integracji tego systemu z istniejącymi już w przedsiębiorstwie systemami informatycznymi, takimi jak systemy ERP i SCADA. Szczegółowa analiza środowiska IT/OT

pozwoiliła wskazać luki funkcjonalne w obecnie stosowanych rozwiązaniach oraz potencjalne korzyści z interoperacyjności IRM DSS z pozostałymi systemami, które pozwalają na holistyczne zarządzanie bezpieczeństwem. Szczególną uwagę zwrócono na specyficzne wymagania w zakresie dopasowania technologicznego, które mają zapewnić, że nowe metody wdrażania AI są nie tylko zgodne z potrzebami przedsiębiorstwa, ale także zoptymalizowane pod kątem efektywności i gotowości do użycia. Analiza metod zarządzania ryzykiem przemysłowym oraz najlepszych praktyk w tym zakresie wskazuje metody, które mogą być przydatne w projektowaniu systemów wspomagających decyzje, w tym fuzję informacji, taksonomię zagrożeń oraz algorytmy ewakuacji, które stanowią istotną część systemu IRM DSS. Szczególną uwagę poświęcono modelom przyczynowości oraz zastosowaniu algorytmów optymalizacyjnych, co pozwala na lepsze planowanie działań awaryjnych.

Naturalną konsekwencją projektu systemu IRM DSS jest jego wdrożenie w warunkach przemysłowych. W tym celu zaproponowano praktyczne scenariusze zastosowania systemu w różnych sektorach przemysłowych oraz omówiono prognozowane dalsze kierunki rozwoju technologii bezpieczeństwa w przemyśle.

Wnioski końcowe z przeprowadzonych badań podkreślają znaczenie AI w nowoczesnym zarządzaniu ryzykiem przemysłowym, wskazując na potencjalne możliwości dalszej integracji tych rozwiązań z innymi obszarami zarządzania przedsiębiorstwem, takimi jak planowanie inwestycji i analiza ryzyka finansowego. Rozprawa zawiera całościowe omówienie zagadnień związanych z tworzeniem i wdrażaniem systemów wspierających bezpieczeństwo przemysłowe, przedstawiając konkretne techniki oraz zalecenia, które mogą służyć jako wytyczne dla praktyków i badaczy zajmujących się tą tematyką. Podejście takie ma na celu budowanie odporności przedsiębiorstwa równoległe z projektowaniem systemu i powinno być połączone z paradygmatem DevOps.

**Słowa kluczowe:** systemy wspomaganie decyzji, zarządzanie ryzykiem przemysłowym, sztuczna inteligencja, analiza ryzyka, propagacja zagrożeń, optymalizacja procesów, analiza wielokryterialna, fuzja informacji, sieci antycypacyjne, górnictwo odkrywkowe.

17.12.24 

## **ABSTRACT**

The need for continuous development and improvement of safety systems in industrial plants is essential in the face of currently growing challenges related to safety, environmental protection and the effectiveness and continuity of production systems. Technological advances and the increasing availability of modern solutions are opening up new opportunities in the area of integrating new tools and technologies into existing systems supporting safety management processes and safety itself. Such an approach resulted in the decision at the Czatkowice Limestone Mine to lay the foundations for the construction of a holistic industrial risk and safety management system and to support decision-making processes in risk materialisation situations.

The dissertation presents the background and purpose of the research, describes the context related to safety in an open-pit mining facility and analyses in detail the specific needs related to the protection of employees, resources and infrastructure from hazards that may occur during mining and the implementation of industrial processes. Types of hazards were also identified, methods for their assessment and classification were presented, as well as ways to analyse technological processes in terms of their safety. Opportunities for the use of modern technologies such as video surveillance, drones and sensors that can be used to monitor risks and prevent potential hazards are included.

The technologies in question play an important role in the IRM DSS (Industrial Risk Management Decision Support System) concept of operation, tracking changes in the production environment and analysing sensor data, providing the ability to detect early signals of disruption in continuous operation. This approach allows anomalies to be identified in real time and preventive actions to be implemented, which in turn minimises the risk of hazardous events. A detailed discussion of the risk analysis techniques that form the basis of the IRM DSS allowed the software architecture of an AI-based decision support system to be proposed, including Bayesian, causal and anticipatory networks, multi-criteria analysis, expert information fusion, knowledge processing techniques and others.

The approach to designing intelligent decision support systems for industrial risk management and IRM DSS implementation is discussed in the context of integration with a company's existing IT systems, such as ERP and SCADA systems. A detailed analysis of the IT/OT environment identified functional gaps in current solutions and the potential benefits of IRM DSS interoperability with other systems to enable holistic safety management.

Particular attention has been paid to the specific requirements for technology alignment to ensure that new methods for implementing artificial intelligence are not only tailored to the needs of the business, but also optimised for performance and readiness for use. Contracting industrial risk management methods and best practices in the field identifies methods that can be useful in the design of decision support systems, including information fusion, hazard

taxonomy and evacuation algorithms, which form an important part of IRM DSS. Particular attention is given to causality models and the use of optimisation algorithms, which allows for better planning of emergency operations. A natural consequence of the design of the IRM DSS is its implementation in an industrial setting, so practical scenarios for the application of the system in different industrial sectors are proposed and the anticipated further development of industrial safety technology is discussed.

The conclusion highlights the importance of artificial intelligence in modern industrial risk management, pointing to potential opportunities for further integration of these solutions with other areas of business management, such as financial risk analysis. The article provides a comprehensive discussion of the issues involved in developing and implementing systems to support industrial security, presenting specific techniques and recommendations that can serve as guidelines for practitioners and researchers working in this area. The approach aims to build enterprise resilience in parallel with system design and should be combined with the DevOps paradigm.

**Keywords:** decision support systems, industrial risk management, artificial intelligence, risk analysis, threat propagation, process optimisation, multi-criteria analysis, information fusion, anticipatory networks, open-pit mining.

12.12.24  
