XI MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA

MECHANIZACJA, AUTOMATYZACJA I ROBOTYZACJA W GÓRNICTWIE

KSIĘGA ABSTRAKTÓW

MARG 2026



27–29 maja 2026

Wisła

Wydawnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2026

ISBN 978-83-68728-07-1

https://doi.org/10.7494/978-83-68728-07-1

Publikacja może być rozpowszechniana zgodnie z licencją Creative Commons CC BY 4.0
Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowa.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl

Księga abstraktów ma charakter materiałów konferencyjnych i stanowi zbiór streszczeń referatów zgłoszonych na XI Międzynarodową Konferencję Mechanizacja Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie 2026.

Opracowanie redakcyjne i edytorskie oraz projekt okładki i strony tytułowej:
Aneta Napieraj

Wydawnictwa AGH
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Tel. 12 617 32 28, 12 636 40 38
e-mail: redakcja@wydawnictwoagh.pl
www.wydawnictwo.agh.edu.pl

Spis treści

Spis treści....3

Słowo wstępne....5

Patronat honorowy....6

Partnerzy Konferencji....7

Ramowy Program Konferencji....8

Łukasz BEDNAREK, Zbigniew NIEDBALSKI, Piotr MAŁKOWSKI - Kompleksowy system monitoringu wyrobisk górniczych z wykorzystaniem zautomatyzowanych technik pomiarowych....9

Bronisław BIEL - Poprawa warunków klimatycznych w wyrobiskach górniczych na podstawie pracy agregatu osuszającego powietrze....10

Ryszard BILSKI, Joanna IWANIEC, Ryszard KLEMPKA - Infrastruktura podziemna kopalń jako przestrzeń przechowywania wybranych produktów żywnościowych z zastosowaniem systemu automatycznej oceny ich stanu....11

Grzegorz BRUDNY - Optymalizacja warunków klimatycznych oraz poprawa bezpieczeństwa w rejonie prowadzonych prac, dzięki zastosowaniu agregatów sprężarkowych chłodzonych wodą z układu centralnej klimatyzacji....12

Edyta BRZYCHCZY - Process Mining w górnictwie na podstawie danych niskopoziomowych – wyzwania, metody i doświadczenia....13

Marek CAŁA, Agnieszka STOPKOWICZ - Doświadczenia z drążenia pierwszej nawy tunelu T-1 na trasie S19....14

Malwina CIEŚLA, Krzysztof KRAUZE - Eksploatacja minerałów użytecznych z dna mórz i oceanów....15

Marek ĆMOK, Marcin ĆMOK - Kontrola podporności i geometrii sekcji obudowy zmechanizowanej....16

Krzysztof FILIPOWICZ, Andrzej WIECZOREK, Mariusz KUCZAJ, Paweł GRUSZKA - Metody badań własności użytkowych sprzęgieł i wałów podatnych skrętnie....17

Karolina GRZEGORCZYK - Kombajny chodnikowe produkcji FAMUR dostosowane pod projekty poza sektor górnictwa węglowego....18

Mateusz KARCZEWSKI - Zastosowanie procesu spawania wysokowydajnego TPSi TWIN do spawania stali wysokowytrzymałych....19

Mariusz KIERCZ - Stan bezpieczeństwa w górnictwie....20

Jacek KORSKI - Doświadczalne kombajny węglowe CMG KOMAG jako reakcja na wady bębnowych kombajnów węglowych....21

Jacek KORSKI - Grawitacyjny magazyn energii z ciężkim cięgnem elastycznym w szybie kopalnianym....22

Jacek KOWALCZUK, Zbigniew LEWANDOWSKI, Jacek SWANDZIKOWSKI, Beata BORSKA - Efekty inwestycji w układ klimatyzacji grupowej w pokładach 405 w partii L oraz 410 w partii K w KWK Ruda Ruch Halemba....23

Zdzisław KOZA - Obudowa chodnikowa z zastosowaniem nowej konstrukcji złącz elementów łukowych....24

Krzysztof KRAUZE, Tomasz WYDRO, Kamil MUCHA, Ryszard KLEMPKA - Projekt innowacyjnego organu urabiającego do frezarki spągowej dla podziemnych kopalń rud....25

Jan KUCHARZ, Zygmunt ZUSKI - Transport pionowy w Kopalni Soli „Wieliczka" za pomocą urządzeń transportu konstrukcji specjalnej.....26

Rafał ŁYDZIŃSKI, Marcin LIPIŃSKI - Technologie wodne dla inżynierii podziemnej i tunelowej.....27

Jarosław MALIK, Marcin KWACZAŁA - Innowacyjna metoda przewozu osób za pomocą samojezdnych maszyn górniczych.....28

Kinga MARTUSZEWSKA, Dawid SZURGACZ, Magdalena WORSA-KOZAK - Siła wyższa jako prawny czynnik mogący mieć wpływ na uszkodzenie maszyny górniczej.....29

Daniel MIESZANIEC - Problemy eksploatacyjne urządzeń budowy przeciwwybuchowej stosowanych w podziemnych wyrobiskach górniczych.....30

Kamil MUCHA - Uniwersalne stanowisko badawcze do oceny ścierności skał i gruntów w aspekcie zużycia narzędzi urabiających maszyn typu TBM.....31

Aneta NAPIERAJ - Stabilność procesów wydobywczych jako warunek niezawodnej eksploatacji maszyn i urządzeń górniczych.....32

Marcin NAWROCKI, Jerzy KWAŚNIEWSKI - Aspekty metrologiczne w automatyzacji procesu pozycjonowania rurowych elementów konstrukcji stalowych.....33

Vitalii PANCHUK, Iuliia MEDVID, Pavlo PRYSYAZHNYUK - Scratch behaviour and microhardness gradient across the deposit–base metal interface of Mo–Fe–B hardfacings produced from B4C/Mo flux-cored wires.....34

Krzysztof PAWLIK - Systemy nadążnego napinania łańcucha przenośników ścianowych ACT-1 i ACT-3 – ewolucja systemu.....35

Julia PIESTRZYŃSKA - Zakład przeróbczy w technologii XR – na przykładzie Holcim Kopalni Dolomitu Radkowice.....36

Radosław PLATA - Technologia betonu natryskowego w budownictwie podziemnym – metody, sprzęt i zastosowania.....37

Kacper POŚNIK, Michał PATYK - Modelowanie parku maszyn kopalni odkrywkowej z wykorzystaniem technologii druku 3D.....38

Krzysztof PORĘBSKI - Innowacyjny świat wyrasta z miedzi – KGHM Polska Miedź S.A.....39

Piotr PUCH - Geotermia jako filar transformacji energetycznej Polski w kontekście zrównoważonego rozwoju.....40

Zbigniew RAK, Jerzy STASICA - Propozycja zmian technologii drążenia wyrobisk w obudowie podporowo-kotwowej w kopalniach węgla.....41

Tomasz RATAJCZAK, Danuta SZYSZKA, Natalia JAWORSKA - Wzbogacanie biotytu z granitu poddanego obróbce termicznej metodą separacji magnetycznej.....42

Piotr RUBACHA - Nowoczesne metody projektowania i optymalizacji przenośników ślimakowych.....43

Tomasz SALAMOŃSKI - Górnictwo tunelowe jako szansa rozwoju kompetencji, technologii oraz zagospodarowania wyrobisk górniczych.....44

Tomasz SIOSTRZONEK, Jakub WÓJCIK, Jacek PYTEL - Moc bierna w zakładach górniczych – możliwości jej wykorzystania w prowadzonej transformacji energetycznej.....45

Mirosław SKIBSKI - Sytuacja Górnictwa Węgla Kamiennego w Polsce po I kwartale 2026 r.....46

Marta SUKIENNIK - Znaczenie kultury organizacyjnej w transformacji energetycznej polskiego przemysłu wydobywczego.....47

Katarzyna SYPEK - Radon jako czynnik ryzyka w podziemnych wyrobiskach górniczych.....48

Zygmunt TRZEŚNIOWSKI, Artur MARCINIAK, Maciej ORMAN, Krzysztof PIENIĄDZ - Technologie spektralne w badaniach górotworu – rozwiązanie nowej generacji do obrazowania przestrzeni podpowierzchniowej.....49

Przemysław WILK - Nowoczesne metody wyznaczania siatek otworów strzałowych w górnictwie odkrywkowym.....50

Adrian WRÓBLIK, Oskar MAREK - Jakie istotne zmiany czekają użytkowników i producentów maszyn? Przegląd nowego rozporządzenia 2023/1230/UE.....51

Zygmunt ZUSKI - Zabezpieczenie szybu „Kościuszko" w Kopalni Soli „Wieliczka" Cz. III. Optymalizacja tarczy szybowej szybu „Kościuszko" dla zabudowy w szybie docelowego głównego górniczego wyciągu szybowego..52

Słowo wstępne

Szanowni Państwo,

oddajemy w Państwa ręce księgę abstraktów przygotowaną z okazji kolejnej edycji konferencji MARG, która od lat stanowi przestrzeń wymiany wiedzy, doświadczeń oraz dobrych praktyk związanych z rozwojem nowoczesnego górnictwa. Tegoroczne spotkanie w Wiśle gromadzi przedstawicieli nauki, przemysłu, jednostek badawczo-rozwojowych oraz firm technologicznych, dla których mechanizacja, automatyzacja i robotyzacja nie są jedynie hasłami opisującymi postęp techniczny, lecz realnymi narzędziami poprawy bezpieczeństwa, efektywności i niezawodności procesów przemysłowych.

Zakres tematyczny zgromadzonych referatów pokazuje, jak szeroko należy dziś rozumieć rozwój branży górniczej. W centrum zainteresowania znajdują się zarówno klasyczne zagadnienia związane z maszynami górniczymi, transportem, obudową, klimatyzacją i monitorowaniem wyrobisk, jak również nowe obszary dotyczące cyfryzacji, analizy danych, process mining, technologii XR, druku 3D, geotermii, górnictwa tunelowego, surowców krytycznych oraz zmian regulacyjnych wpływających na producentów i użytkowników maszyn. Tak różnorodna problematyka potwierdza, że współczesne górnictwo rozwija się na styku wielu dziedzin: inżynierii, automatyki, informatyki, organizacji procesów, bezpieczeństwa pracy, ochrony środowiska oraz zarządzania.

Szczególne znaczenie mają dziś rozwiązania, które pozwalają lepiej rozpoznawać warunki prowadzenia robót, szybciej reagować na zagrożenia i skuteczniej wspierać decyzje podejmowane w warunkach zmienności technicznej, geologicznej i organizacyjnej. Dlatego w programie konferencji ważne miejsce zajmują zagadnienia monitoringu, diagnostyki, pomiarów, modelowania, optymalizacji oraz integracji danych. Są one niezbędne do budowy bardziej przewidywalnych, odpornych i bezpiecznych systemów pracy — zarówno w górnictwie podziemnym, jak i odkrywkowym, tunelowym czy w obszarach związanych z transformacją energetyczną.

MARG'26 to również okazja do rozmowy o przyszłości sektora. Przed branżą stoją wyzwania związane z dostępem do surowców, zmianami technologicznymi, potrzebą ograniczania ryzyka, rosnącymi wymaganiami prawnymi oraz koniecznością kształcenia kompetencji odpowiadających nowym realiom przemysłu. W tym kontekście konferencja pełni ważną rolę integrującą środowisko — łączy perspektywę praktyków, projektantów, producentów maszyn, badaczy oraz użytkowników technologii.

Dziękujemy Autorom referatów za przygotowanie wystąpień i podzielenie się wynikami swoich prac, doświadczeniami wdrożeniowymi oraz refleksją nad kierunkami rozwoju górnictwa. Wyrażamy nadzieję, że niniejsza księga abstraktów będzie nie tylko materiałem towarzyszącym konferencji, lecz także inspiracją do dalszej współpracy, dyskusji i poszukiwania rozwiązań odpowiadających na potrzeby nowoczesnego przemysłu wydobywczego.

Życzymy Państwu owocnych obrad, interesujących rozmów oraz wielu wartościowych spotkań podczas XI Międzynarodowej Konferencji MARG'26.

Organizatorzy

Konferencja pod patronatem honorowym

Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Ministra Energii

Ministerstwo Energii

Ministra Obrony Narodowej

Ministerstwo Obrony Narodowej

Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego

Zarządu Głównego SITG

STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW GÓRNICTWA

Partnerzy Konferencji





























Ramowy Program Konferencji

Środa, 27.05

13:00 Rejestracja uczestników
13:30 Obiad
14:30 Inauguracja konferencji
15:00 Sesja plenarna: Stan górnictwa i budownictwa tunelowego w Polsce
16:30 Przerwa kawowa
17:00 Panel dyskusyjny: Rola nauki wobec zachodzących zmian w polskim górnictwie, transformacji energetycznej i obronności kraju
19:30 Uroczysta kolacja

Czwartek, 28.05

8:00 Śniadanie
9:00 Sesja tematyczna I: Systemy transportowe i kompleksy chodnikowe
11:00 Przerwa kawowa
11:15 Sesja tematyczna II: Budownictwo tunelowe
13:00 Obiad
14:00 Sesja tematyczna III: Kompleksy eksploatacyjne
15:45 Przerwa kawowa
16:00 Sesja tematyczna IV: Innowacje w górnictwie
19:00 Kolacja regionalne przysmaki

Piątek, 29.05

8:00 Śniadanie
9:00 Sesja studencka
10:45 Zakończenie konferencji
11:00 Wykwaterowanie z pokoi
12:00 Obiad

Łukasz BEDNAREK, Zbigniew NIEDBALSKI, Piotr MAŁKOWSKI

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Kompleksowy system monitoringu wyrobisk górniczych z wykorzystaniem zautomatyzowanych technik pomiarowych

Słowa kluczowe: monitoring geotechniczny, stateczność wyrobisk, konwergencja, obudowa kotwowa, tunele, geomechanika

Streszczenie: Zapewnienie stateczności wyrobisk górniczych stanowi jeden z podstawowych warunków bezpiecznego i efektywnego prowadzenia eksploatacji. Wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji, intensyfikacją oddziaływań geomechanicznych wzrasta znaczenie monitoringu górotworu i obudowy jako narzędzia oceny bezpieczeństwa konstrukcji podziemnych. W pracy przedstawiono kompleksowe podejście do monitoringu stateczności wyrobisk, obejmujące kontrolę zachowania górotworu, ocenę pracy obudowy oraz analizę zmian geometrycznych przekroju wyrobisk.

Omówiono podstawowe metody monitoringu stosowane w górnictwie podziemnym, ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów konwergencji, rozwarstwień górotworu, obciążeń obudowy oraz zmian naprężeń w otoczeniu wyrobiska. Przedstawiono również możliwości wykorzystania nowoczesnych technik pomiarowych, takich jak systemy światłowodowe, ekstensometry oraz zautomatyzowane systemy telemetryczne. Wskazano znaczenie odpowiedniego rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz konieczność integracji danych monitoringowych w celu bieżącej oceny stateczności wyrobiska i prognozowania potencjalnych zagrożeń.

Na podstawie przykładów pomiarów prowadzonych w wyrobiskach korytarzowych wykazano, że monitoring umożliwia identyfikację stref zwiększonej koncentracji naprężeń, ocenę skuteczności zastosowanych schematów obudowy oraz optymalizację technologii zabezpieczania wyrobisk. Podkreślono również znaczenie monitoringu w warunkach oddziaływania eksploatacji górniczej, zaburzeń tektonicznych oraz w wyrobiskach utrzymywanych w długim okresie czasu.

W pracy zwrócono uwagę na konieczność prowadzenia systematycznych pomiarów już od początkowego etapu drążenia wyrobiska oraz na potrzebę opracowania kompleksowych wytycznych dotyczących monitoringu, szczególnie w odniesieniu do obudowy podporowo-kotwowej. Przedstawione zagadnienia wpisują się w aktualne kierunki rozwoju nowoczesnego górnictwa, ukierunkowane na zwiększenie bezpieczeństwa, automatyzację procesów kontrolnych oraz rozwój inteligentnych systemów monitoringu geotechnicznego.

Bronisław BIEL

ELPRO-7 Sp. z o.o.

Poprawa warunków klimatycznych w wyrobiskach górniczych na podstawie pracy agregatu osuszającego powietrze

Słowa kluczowe: sterowanie temperaturą i wilgotnością powietrza, chłodzenie wyrobiska górniczego suchym powietrzem, kompaktowa budowa agregatu

Streszczenie: Zadaniem klimatyzacji jest poprawa komfortu pracy ludzi i urządzeń znajdujących się w wyrobiskach górniczych, tj. utrzymywanie temperatury i wilgotności powietrza w miejscu pracy na poziomie określonym w odpowiednich przepisach, a m.in.:

- temperatura powietrza w miejscu pracy: ≤ 28°C,
- intensywność chłodzenia w miejscu pracy: ≥ 11 katastopni.

W przypadku, gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym w miejscu pracy przekracza 28°C, a nie przekracza 33°C, lub gdy intensywność chłodzenia jest mniejsza niż 11 katastopni wilgotnych, stosuje się odpowiednie rozwiązania techniczne dla obniżenia temperatury powietrza lub ogranicza czas pracy do 6 godzin (liczony łącznie ze zjazdem i wyjazdem).

Innowacyjnym rozwiązaniem jest zastosowanie agregatu klimatyzacyjno-osuszającego (AK-300), spełniającego jednocześnie funkcję obniżania wilgotności względnej (osuszanie) i/lub temperatury powietrza. Agregat jest urządzeniem o budowie stacjonarnej, niewymagającym stałej obsługi. Jego działanie jest w pełni automatyczne, posiada on również możliwość zdalnego uruchamiania i zatrzymania wraz z możliwością zmiany parametrów pracy. Doświadczenia pokazują, że ze względu na warunki zabudowy i użytkowanie, optymalnym rozwiązaniem jest stosowanie go w wyrobiskach korytarzowych (przodki, komory).

Ryszard BILSKI, Joanna IWANIEC, Ryszard KLEMPKA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Infrastruktura podziemna kopalń jako przestrzeń przechowywania wybranych produktów żywnościowych z zastosowaniem systemu automatycznej oceny ich stanu

Słowa kluczowe: infrastruktura podziemna kopalń, przechowywanie żywności, analiza wizyjna, automatyczna ocena stanu, analiza cech semantycznych, analiza trendów, urządzenie brzegowe, głębokie sieci neuronowe, zadanie klasyfikacyjne

Streszczenie: W dobie likwidacji kopalń pojawiło się zagadnienie racjonalnego przebiegu tego procesu, tj. możliwości wykorzystania infrastruktury kopalń, w tym również ich części podziemnej, co pozwoliłoby na przynajmniej częściową ochronę miejsc pracy. Infrastrukturę podziemną można wykorzystać na różne sposoby: jako magazyny energii, pompy ciepła, ale również jako magazyny strategiczne, w tym także magazyny żywności. W tym ostatnim przypadku konieczne jest opracowanie systemu monitorowania stanu jakościowego przechowywanych zasobów.
Celem badań było opracowanie modułowego systemu wspomagającego ocenę stanu wybranych produktów żywnościowych, ze szczególnym uwzględnieniem owoców i warzyw, uruchamianego na urządzeniu brzegowym, tzw. *on edge*. Założono, że w badaniach zostaną zastosowane metody analizy wizyjnej, analizy cech semantycznych oraz analizy trendów sensorowych.

W metodzie wizyjnej, zamiast trenowania modelu od podstaw, tj. end-to-end, zastosowano połączenie analizy klasycznych cech obrazu — koloru, kształtu i tekstury — z *embeddingiem* pochodzącym z sieci neuronowej MobileNetV3, wstępnie wytrenowanej na zbiorze ImageNet. Takie rozwiązanie pozwala czerpać korzyści z wykorzystania głębokich sieci neuronowych przy jednoczesnym zachowaniu niskiego kosztu obliczeniowego, a także sprzyja większej interpretowalności uzyskanych cech. Następnie wektor cech klasycznych oraz głębokich jest klasyfikowany za pomocą regresji logistycznej lub XGBoost.

Ważnym elementem jest rozdzielenie klasyfikacji produktu od klasyfikacji jego stanu jako „świeży" lub „zepsuty". Oba zadania klasyfikacyjne wykorzystują ten sam wektor cech, jednak realizowane są przez niezależne głowice. Takie rozwiązanie eliminuje ryzyko propagacji błędów — niepoprawna klasyfikacja produktu nie wpływa bezpośrednio na wynik klasyfikacji binarnej — oraz umożliwia odrębną analizę obu zadań.

Przeprowadzone badania obejmowały również analizę przebiegów czasowych sygnałów z sensorów umieszczonych w środowisku, w którym przechowywane są próbki ulegające degradacji. Dane te stanowiły dodatkowe źródło informacji o stanie próbek, jednak nie były wykorzystywane bezpośrednio w modelach klasyfikacyjnych, lecz służyły do analizy globalnych i lokalnych trendów. W tym celu zastosowano estymator Theila–Sena, który umożliwia określenie kierunku zmian sygnału przy ograniczonej wrażliwości na wartości odstające, tzw. *outliery*. Uzupełniająco wykorzystano miary rangowe, takie jak współczynniki tau Kendalla oraz rho Spearmana, pozwalające ocenić monotoniczność analizowanych przebiegów.

Dodatkowo analiza lokalnych nachyleń w oknach przesuwnych umożliwiła wykrywanie krótkotrwałych zdarzeń, które mogłyby pozostać niewidoczne w ujęciu globalnego trendu. Z kolei grupowanie wielokanałowych stanów pomiarowych metodą k-średnich pozwoliło na scharakteryzowanie warunków środowiskowych oraz wykrywanie zdarzeń lokalnych. Podejście to było szczególnie istotne w kontekście warzyw i owoców, ponieważ proces psucia nie zawsze ujawniał się najpierw w obrazie, lecz mógł wcześniej manifestować się poprzez zmiany w otoczeniu lub sygnałach chemicznych.

Kolejnym istotnym elementem zastosowanej w badaniach metodologii było świadome niewymuszanie analizy multimodalnej w przypadkach, gdy próbki nie pochodziły z tej samej sesji lub nie były zsynchronizowane czasowo. Generowano wprawdzie raporty zarówno dla części wizyjnej, jak i sensorowej, jednak uzyskane wyniki pozostawały niezależne.

Grzegorz Brudny

MAS Sp. z o.o.

Optymalizacja warunków klimatycznych oraz poprawa bezpieczeństwa w rejonie prowadzonych prac, dzięki zastosowaniu agregatów sprężarkowych chłodzonych wodą z układu centralnej klimatyzacji

Słowa kluczowe: agregaty sprężarkowe; centralna klimatyzacja; warunki klimatyczne; bezpieczeństwo pracy

Streszczenie: W referacie zaprezentowane zostaną agregaty sprężarkowe produkcji MAS Sp. z o.o., w tym szczegółowo omówione zostaną sprężarki typu ASR-*GK chłodzone wodą lodową z układu centralnej klimatyzacji. Przedstawione zostaną wyniki badań porównawczych przeprowadzonych w miejscu zabudowy przykładowego agregatu ASR-*GK, odniesione do wyników badań agregatu chłodzonego standardowo powietrzem.

W sposób szczegółowy przedstawiony zostanie system monitoringu parametrów pracy agregatu, na który składają się:
– układ pomiaru temperatury pracy agregatu,
– układ pomiaru stężenia tlenku węgla w rejonie pracy agregatu,
– układ sygnalizacji pracy agregatu i przesyłania danych na powierzchnię.

Przedstawione wyniki pozwolą wykazać, że zastosowanie sprężarek typu ASR-*GK chłodzonych wodą z układu centralnej klimatyzacji ma istotny wpływ na poprawę warunków klimatycznych oraz zwiększenie komfortu pracy poprzez ograniczenie emisji hałasu, a także wpływa na wzrost bezpieczeństwa pracy w stosunku do zastosowania agregatów sprężarkowych chłodzonych standardowo powietrzem.

Edyta BRZYCHCZY

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Process Mining w górnictwie na podstawie danych niskopoziomowych – wyzwania, metody i doświadczenia

Słowa kluczowe: monitoring geotechniczny, stateczność wyrobisk, konwergencja, obudowa kotwowa, tunele, geomechanika

Streszczenie: Process Mining jest podejściem analitycznym umożliwiającym odkrywanie i analizę rzeczywistej realizacji procesów na podstawie danych gromadzonych w systemach informatycznych. W jego klasycznych zastosowaniach punktem wyjścia są dzienniki zdarzeń, które zawierają informacje o wykonanych czynnościach w procesie, czasie ich realizacji oraz przynależności do konkretnego przypadku realizacji procesu (np. cyklu). W górnictwie dane w takiej formie są najczęściej niedostępne, a informacja o procesie występuje jedynie w postaci surowych danych pochodzących z systemów monitoringu, automatyki i rejestracji parametrów pracy maszyn. W artykule omówiono najważniejsze wyzwania związane z analityką procesową na podstawie danych niskopoziomowych. Przedstawiono kolejne etapy przejścia od takich danych do modeli procesów, ze szczególnym uwzględnieniem przygotowania danych, identyfikacji przypadków procesu i czynności oraz budowy dzienników zdarzeń stanowiących podstawę dalszego modelowania. Omówiono także rolę wiedzy eksperckiej oraz metod uczenia maszynowego w procesie transformacji danych niskopoziomowych w modele procesów. W artykule przedstawiono przykłady modeli wybranych procesów opracowanych na podstawie rzeczywistych danych przemysłowych. Ilustrują one zarówno potencjał analityki procesowej w przemyśle górniczym, jak i praktyczne trudności związane z przygotowaniem danych, interpretacją wyników oraz odwzorowaniem specyficznych warunków realizacji procesów w modelach formalnych.

Marek CAŁA, Agnieszka STOPKOWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Doświadczenia z drążenia pierwszej nawy tunelu T-1 na trasie S19

Słowa kluczowe: tunelowanie, budownictwo podziemne, TBM; flisz karpacki; zagrożenie metanowe; zagrożenia naturalne; bezpieczeństwo robót tunelowych

Streszczenie: Aktualnie budownictwo tunelowe i podziemne cieszy się dużym zainteresowaniem. Dotyczy to zarówno inwestycji drogowych, jak i kolejowych, a także zagadnień związanych z obronnością i potrzebą budowy schronów. Dynamiczny rozwój infrastruktury drogowej w Polsce, w tym realizacja trasy Via Carpatia, wiąże się z koniecznością wykonywania obiektów tunelowych w skomplikowanych warunkach geologiczno-inżynierskich. W takich warunkach realizowany jest tunel T-1 na trasie S19, a dwa kolejne obiekty tunelowe (T-2 i T-3) są już na etapie projektowania. Obiekty te zlokalizowane są w warunkach fliszu karpackiego, charakteryzującego się dużą zmiennością litologiczną, obecnością zaburzeń tektonicznych oraz złożonymi warunkami hydrogeologicznymi. Dodatkowo podczas drążenia tuneli należy uwzględnić występowanie takich zagrożeń naturalnych jak wodne, metanowe oraz osuwiskowe.

W referacie przeanalizowane zostaną uwarunkowania formalnoprawne realizacji inwestycji tunelowych w kontekście przepisów Prawa geologicznego i górniczego oraz Prawa budowlanego. Podjęta zostanie tematyka występowania i oceny zagrożeń naturalnych oraz ich wpływu na prowadzone drążenie i stosowane rozwiązania techniczne w zależności od przyjętej metody budowy tunelu, w tym metod bazujących na technikach górniczych oraz metod TBM. Przedstawione zostaną także informacje o aktualnie obowiązujących wytycznych dotyczących doboru technologii drążenia i projektowania tuneli.

W referacie szczególna uwaga zostanie zwrócona na zagrożenie metanowe i jego wpływ na realizację tunelu T-1. W odniesieniu do tunelu T-1 omówione zostaną uwarunkowania geologiczne i hydrogeologiczne, stwierdzone zagrożenia naturalne oraz ich techniczne konsekwencje dla prowadzonych robót. Przedstawione zostaną konsekwencje stwierdzonego zagrożenia metanowego, w szczególności w zakresie wentylacji, monitoringu gazowego i procedur bezpieczeństwa. Wskazane zostanie również znaczenie bieżącej weryfikacji warunków geologiczno-inżynierskich oraz dostosowywania rozwiązań technicznych do warunków rzeczywistych. Zidentyfikowane zostaną kluczowe doświadczenia praktyczne z drążenia pierwszej nawy tunelu T-1. Na tej podstawie sformułowane zostaną rekomendacje dotyczące prowadzenia robót tunelowych w warunkach fliszu karpackiego.

Malwina CIEŚLA, Krzysztof KRAUZE

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Eksploatacja minerałów użytecznych z dna mórz i oceanów

Słowa kluczowe: górnictwo podwodne, robotyka podwodna, ROV/AUV, konkrecje polimetaliczne, środowisko morskie, krytyczne surowce mineralne, dno oceaniczne

Streszczenie: Rosnące zapotrzebowanie na surowce krytyczne, takie jak lit, kobalt, nikiel, mangan oraz metale ziem rzadkich, stanowi jeden z głównych czynników napędzających rozwój nowych kierunków pozyskiwania zasobów mineralnych. Surowce te są niezbędne dla nowoczesnych technologii, w tym produkcji akumulatorów, magnesów trwałych oraz urządzeń elektronicznych. W obliczu stopniowego wyczerpywania się złóż lądowych oraz rosnących ograniczeń środowiskowych, coraz większe zainteresowanie budzi potencjał zasobów zalegających na dnie mórz i oceanów. Szacuje się, że ich skala wielokrotnie przewyższa dostępne zasoby lądowe, co czyni górnictwo podwodne obiecującą, choć nadal wymagającą dziedziną przemysłu. Automatyzacja, robotyzacja i cyfryzacja procesów wydobywczych są warunkami, które należy spełnić, aby eksploatacja zasobów dna oceanicznego stała się gospodarczo uzasadniona i środowiskowo odpowiedzialna.

Do typowych podmorskich złóż o znaczeniu przemysłowym należą konkrecje polimetaliczne, występujące na głębokościach 4000-6000 m, szczególnie w strefie Clarion-Clipperton na Oceanie Spokojnym, siarczki polimetaliczne (SMS), tworzące się w rejonach aktywności hydrotermalnej na grzbietach śródoceanicznych, oraz naskorupienia kobaltonośne, osadzające się na stokach podmorskich gór na głębokościach od 400 do 4000 m. Każdy z występujących typów podmorskich złóż charakteryzuje się różnymi i odmiennymi własnościami geologicznymi i mineralogicznymi. Co przekłada się na zróżnicowane wymagania technologiczne ich eksploatacji.

Główną barierą eksploatacji minerałów z dna mórz i oceanów jest duża głębokość i związane z tym ciśnienie oraz niska temperatura i brak światła. Stąd szczególną rolę odgrywają zdalnie sterowane pojazdy podwodne (ROV) oraz autonomiczne pojazdy podwodne (AUV), które stanowią podstawę prac rozpoznawczych i operacyjnych. W zależności od zastosowania mogą one pełnić także funkcję pojazdów wydobywczych, realizując procesy zbierania konkrecji lub mechanicznego urabiania złóż siarczkowych. Równie ważnym elementem systemów wydobywczych są instalacje transportu pionowego, umożliwiające pionowe przemieszczanie urobku z dna oceanicznego na powierzchnię. Praca tych systemów wiąże się z licznymi wyzwaniami inżynieryjnymi, wynikającymi z ekstremalnych warunków środowiskowych, takich jak wysokie ciśnienie, niskie temperatury oraz agresywne oddziaływanie wody morskiej.

Górnictwo podwodne stanowi obiecującą alternatywę dla tradycyjnych źródeł surowców mineralnych, jednak jego rozwój wymaga dalszego postępu technologicznego, precyzyjnych regulacji oraz uwzględnienia aspektów środowiskowych. Eksploatacja dna morskiego może prowadzić do powstawania plum osadowych, degradacji siedlisk bentonicznych oraz zakłócenia funkcjonowania unikalnych ekosystemów głębinowych. W związku z tym prowadzone są badania naukowe oraz ustanawiane są regulacje międzynarodowe, w szczególności działania International Seabed Authority (ISA), które mają na celu opracowanie ram prawnych i środowiskowych dla odpowiedzialnej eksploatacji zasobów dna morskiego i oceanicznego.

Marek ĆMOK, Marcin ĆMOK

Politechnika Śląska

Kontrola podporności i geometrii sekcji obudowy zmechanizowanej

Słowa kluczowe: analiza danych w czasie rzeczywistym, sekcje obudowy zmechanizowanej

Streszczenie: Prezentacja dotyczy zagadnienia czujników podporności stosowanych w sekcjach obudowy zmechanizowanej wykorzystywanej w ścianowych systemach eksploatacji górniczej. Obudowa zmechanizowana stanowi jeden z kluczowych elementów kompleksu ścianowego, ponieważ odpowiada za zabezpieczenie wyrobiska przed zawałem skał stropowych, ochronę pracowników oraz zapewnienie ciągłości procesu wydobywczego. Współczesne systemy górnicze coraz częściej wykorzystują rozwiązania automatyczne i układy monitoringu, które umożliwiają bieżącą kontrolę parametrów pracy sekcji obudowy oraz ocenę warunków panujących w wyrobisku. Istotną część prezentacji stanowi charakterystyka czujników podporności wykorzystywanych do monitorowania ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji. Czujniki te umożliwiają pomiar wartości podporności roboczej oraz rejestrację zmian obciążenia występujących podczas eksploatacji ściany. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych układów pomiarowych możliwe jest szybkie wykrywanie nieprawidłowości, takich jak przeciążenia, spadki ciśnienia, nieszczelności układu hydraulicznego czy nieprawidłowa współpraca sekcji z górotworem. Dane pozyskiwane z czujników mogą być przesyłane do systemów wizualizacji, archiwizacji i sterowania, co wspiera proces podejmowania decyzji oraz zwiększa poziom bezpieczeństwa pracy w kopalni. W prezentacji omówione zostaną również rodzaje stosowanych czujników podporności, ich zasada działania oraz możliwości wykorzystania w nowoczesnych systemach automatyki górniczej. Przedstawione zostanie znaczenie ciągłego monitorowania parametrów hydraulicznych dla utrzymania prawidłowej pracy sekcji obudowy oraz ograniczenia ryzyka wystąpienia awarii. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na rolę systemów diagnostycznych umożliwiających analizę danych pomiarowych w czasie rzeczywistym i ocenę stanu technicznego sekcji.

Krzysztof FILIPOWICZ[1], Andrzej WIECZOREK[1], Mariusz KUCZAJ[1], Paweł GRUSZKA[2]

[1] *Politechnika Śląska*
[2] *Fabryka Elementów Napędowych FENA Sp. z o.o.*

Metody badań własności użytkowych sprzęgieł i wałów podatnych skrętnie

Słowa kluczowe: wały, sprzęgła wysokopodatne, badania wibroakustyczne, układy napędowe, przenośniki zgrzebłowe

Streszczenie: W pracy przedstawiono cztery metody badań sprzęgieł i wałów podatnych. Obejmują one badania sprzęgieł wyizolowanych, prowadzone w warunkach laboratoryjnych i operacyjnych, oraz weryfikację maszyny zintegrowanej ze sprzęgłem w warunkach operacyjnych i rzeczywistych. Takie ujęcie pozwala na kompleksową ocenę właściwości dynamicznych badanych elementów, ich odporności na zużycie oraz wpływu na pracę całych układów napędowych w różnych warunkach eksploatacyjnych.

Uwzględnienie zarówno badań stanowiskowych, jak i badań prowadzonych podczas pracy maszyny umożliwia porównanie zachowania sprzęgieł i wałów podatnych w warunkach kontrolowanych oraz rzeczywistych. Pozwala to również lepiej ocenić charakter przenoszonych obciążeń, poziom drgań, stabilność pracy układu oraz przydatność poszczególnych metod w diagnostyce i ocenie stanu technicznego elementów napędowych, w tym układów stosowanych w przenośnikach zgrzebłowych.

NCBR Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Badania wykonano w ramach projektu POIR.04.01.04-00-0116/19 „Opracowanie innowacyjnego wału podatnego do zespołów napędowych maszyn roboczych finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Karolina GRZEGORCZYK

FAMUR

Kombajny chodnikowe produkcji FAMUR dostosowane pod projekty poza sektor górnictwa węglowego

Słowa kluczowe: kombajny chodnikowe, FAMUR, sektor pozawęglowy

Streszczenie: „Kombajny chodnikowe produkcji FAMUR dostosowane pod projekty poza sektor górnictwa węglowego" to referat prezentujący kierunki rozwoju nowoczesnych maszyn urabiających, odpowiadających na dynamicznie zmieniające się potrzeby rynku poza tradycyjnym sektorem wydobycia węgla. Omawiane rozwiązania stanowią odpowiedź na rosnące wymagania projektów infrastrukturalnych, przemysłowych oraz specjalistycznych inwestycji realizowanych w zróżnicowanych warunkach geologicznych i technicznych.

W referacie zwrócono uwagę na kluczową rolę dodatkowego wyposażenia, które istotnie poszerza możliwości zastosowania kombajnów chodnikowych FAMUR. Nowoczesne systemy sterowania, elementy automatyzacji, rozwiązania diagnostyczne oraz specjalistyczne układy robocze pozwalają na efektywną pracę maszyn w środowiskach znacznie odbiegających od standardowych warunków górniczych. Szczególny nacisk położono na kantonizację, dzięki której każdy projekt może być realizowany w oparciu o rozwiązania dostosowane do indywidualnych potrzeb zamawiającego.

Zastosowane modyfikacje konstrukcyjne i technologiczne przekładają się bezpośrednio na poprawę bezpieczeństwa pracy, zarówno operatorów, jak i całych załóg. Jednocześnie umożliwiają one zwiększenie wydajności i efektywności prowadzonych robót, skracając czas realizacji zadań i optymalizując koszty eksploatacji. Takie podejście podkreśla elastyczność oferty FAMUR oraz jej gotowość do współpracy przy niestandardowych, wymagających projektach.

W referacie przedstawiono, jak praktyczne wdrożenie opisywanych rozwiązań pozwala na skuteczne wykorzystanie kombajnów chodnikowych FAMUR poza sektorem górnictwa węglowego, w jaki sposób indywidualne podejście projektowe, wsparte doświadczeniem inżynierskim producenta, przekłada się na realną wartość dla inwestora. Referat ma na celu udowodnienie, że kombajny FAMUR to nie tylko sprawdzone maszyny górnicze, ale uniwersalne, nowoczesne i w pełni skalowalne rozwiązania dla ambitnych projektów przyszłości.

Mateusz KARCZEWSKI

Fronius Polska

Zastosowanie procesu spawania wysokowydajnego TPSi TWIN do spawania stali wysokowytrzymałych

Słowa kluczowe: spawanie tandemowe, stale wysokowytrzymałe, Fronius, spawanie wysokowydajne, spawanie łukowe

Streszczenie: Nowoczesne procesy spawalnicze dążą do maksymalizacji produktywności, co w warunkach przemysłowych realizowane jest poprzez technologie wysokowydajne, takie jak spawanie tandemowe Fronius TWIN. Jest to metoda spawania dwułukowego, charakteryzująca się wysokim uzyskiem stopiwa (do 20 kg/h) oraz wysokimi prędkościami spawania, sięgającymi nawet 200 cm/min. Ze względu na swoją specyfikę i dynamikę, technologia ta dedykowana jest wyłącznie do stanowisk zautomatyzowanych i zrobotyzowanych[1].

Warianty i możliwości procesu: Podstawową konfiguracją spawalniczą jest system TWIN PUSH z jednym podajnikiem drutu, wykorzystujący proces PMC (Pulse MultiControl). Polega on na pulsacyjnym przenoszeniu kropli ciekłego metalu w łuku elektrycznym, co pozwala na precyzyjną kontrolę jeziorka spawalniczego. Bardziej zaawansowanym rozwiązaniem jest TWIN PUSH-PULL CMT. Łączy on zalety procesu pulsacyjnego na pierwszym drucie z technologią CMT (Cold Metal Transfer) na drugim. CMT to proces zwarciowy realizowany poprzez ruch posuwisto-zwrotny drutu, co minimalizuje odpryski i pozwala na spawanie materiałów o zróżnicowanych grubościach. W razie potrzeby wprowadzenia większej ilości ciepła, system ten umożliwia również pracę w konfiguracji PMC/PMC na obu drutach[1, 2].

Analiza złączy stali S1100QL i S1300QL: Praktyczne zastosowanie tych technologii znajduje odzwierciedlenie w spawaniu stali drobnoziarnistych, wysokowytrzymałych jak S1100QL i S1300QL. Badania nad tworzeniem złączy różnoimiennych z tych materiałów wykazały, że metoda TWIN zapewnia wysoką stabilność procesu, wraz z zachowaniem wymaganego poziomu jakości, przy jednoczesnym wzroście produktywności. Kluczowym aspektem przy spawaniu tych stali jest kontrola cyklu termicznego w strefie wpływu ciepła (SWC). Analizy wykazały, że:

- Czas chłodzenia t8/5 w SWC dla stali S1300QL wahał się w granicach od 9,4 do 12,4 s.
- Przy najwyższych prędkościach chłodzenia (t8/5 = 5 s), mikrostruktura stali S1100QL zawiera martenzyt oraz bainit dolny, podczas gdy stal S1300QL zachowuje strukturę martenzytyczną.
- Przy wolniejszym chłodzeniu w strukturze pojawia się martenzyt odpuszczony[3].

Właściwości mechaniczne złączy: Zastosowanie technologii TWIN pozwala na zachowanie wysokich parametrów wytrzymałościowych. Dla wszystkich badanych prędkości spawania (80, 90 i 100 cm/min), udarność złączy w temperaturze -40°C przekraczała wymaganą wartość 27 J. Badania twardości potwierdziły, że materiał rodzimy obu stali zachowuje najwyższe parametry, podczas gdy najniższą twardość odnotowuje się bezpośrednio w spoinie.

Podsumowując, konfiguracja TWIN PUSH-PULL CMT, jako najbardziej rozbudowana wersja technologii tandemowej firmy Fronius, stanowi doskonałe narzędzie do łączenia zaawansowanych stali konstrukcyjnych, zapewniając balans między wydajnością a jakością metalurgiczną złącza[3].

[1] Fronius International GmbH. TPS/i TWIN Push-Pull CMT: High-performance welding system. Materiały techniczne i prospekty produktowe, Wels, Austria. 2022

[2] Fronius International GmbH. TPS/i TWIN: High-performance welding with two wires, Technical Whitepaper, 2021

[3] Mateusz Karczewski, Krzysztof Mroczka, Sławomir Parzych, Piotr Bała, Grzegorz Cios, Janusz Mikuła, Grzegorz Jeż: Analysis of the Effects of Tandem Welding (Fronius TPS/i – TWIN) of S1100QL and S1300QL Steels, Materials (MDPI), 2025

Mariusz KIERCZ

Wyższy Urząd Górniczy

Stan bezpieczeństwa w górnictwie

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pracy, górnictwo, wypadkowość, zagrożenia górnicze, profilaktyka wypadkowa

Streszczenie: Prezentacja przedstawia aktualny obraz stanu bezpieczeństwa w polskim górnictwie, z uwzględnieniem specyfiki różnych rodzajów zakładów górniczych: podziemnych, odkrywkowych, otworowych oraz zakładów wykonujących roboty geologiczne. Omówiono główne zagrożenia występujące w środowisku pracy górniczej, w tym zagrożenia naturalne, techniczne, pożarowe, gazowe, wodne, klimatyczne, sejsmiczne oraz związane ze stosowaniem maszyn, urządzeń i środków strzałowych. Szczególną uwagę zwrócono na wypadkowość w górnictwie, obejmującą wypadki ogółem, wypadki śmiertelne i ciężkie, a także zdarzenia związane z przyczynami górniczymi, energomechanicznymi oraz organizacyjno-ludzkimi.

W opracowaniu wskazano, że istotną część zdarzeń wypadkowych stanowią sytuacje wynikające z potknięć, poślizgnięć, upadków, uderzeń narzędziami lub przedmiotami oraz obsunięć materiałów i skał. Podkreślono również znaczenie przyczyn elektrycznych, takich jak praca przy urządzeniach pod napięciem, nieprzestrzeganie instrukcji, rutyna, pośpiech, niewystarczający nadzór oraz eksploatacja niesprawnych urządzeń. Prezentacja obejmuje także problematykę zgonów naturalnych oraz chorób zawodowych w górnictwie, zwłaszcza pylic płuc i trwałego ubytku słuchu. Całość wskazuje na potrzebę stałego doskonalenia nadzoru, organizacji pracy, kultury bezpieczeństwa oraz działań profilaktycznych w zakładach górniczych.

Jacek KORSKI

KOMAG

Doświadczalne kombajny węglowe CMG KOMAG jako reakcja na wady bębnowych kombajnów węglowych

Słowa kluczowe: kombajny ścianowe, mechanizacja górnictwa, górnictwo węgla kamiennego, maszyny górnicze

Streszczenie: Polskie górnictwo węglowe w poszukiwaniu wzrostu koncentracji produkcji, czyli produktywności przodków wydobywczych po II Wojnie Światowej rozwijało ścianowe systemy wydobywcze, w tym ich mechanizację. Znane już były przenośniki ścianowe, najpierw taśmowe i wstrząsane, a II Wojny Światowej także pancerne przenośniki zgrzebłowe. Już od okresu międzywojennego w ścianach stosowano wrębiarki, najpierw żerdziowe, a potem łańcuchowe. Pojawienie się pierwszych kombajnów ścianowych, czyli opartych na konstrukcji wrębiarek łańcuchowych maszyn jednocześnie urabiających caliznę i ładujących urobek po zakończeniu wojny zostało w Polsce zauważone. Zakupiono 2 egzemplarze kombajnów wycinających typu Meco Moore, które poddano próbom w kopalniach Brzeszcze i Dymitrow, rezultaty uznano za niezadawalające. Później, z przyczyn politycznych, pozyskiwano ścianowe kombajny węglowe tzw. wycinające ze Związku Radzieckiego. Była to rodzina kombajnów typu Donbass. Niedostateczne dostawy tych maszyn i części zamiennych od producenta sprawiło, że powstałe wtedy Zakłady Konstrukcyjno-Montażowe Przemysłu Węglowego (późniejszy KOMAG) podjęły się konstrukcji części zamiennych od kombajnów typu Donbass dostosowanych do możliwości technologicznych polskich fabryk. Pozwoliło to ostatecznie skonstruować w 1952 roku pierwszy polski ścianowy kombajn węglowy KW-57 i podjąć jego produkcję. Kolejno opracowywano głębokozabiorowe kombajny typów KW-52 i rodzinę kombajnów od KW-1 do KW-3 i płytkozabiorowy KW-4. Wszystkie te kombajny przemieszczały się po spągu, obok przenośnika ścianowego. Mimo, że te kombajny pozytywnie wpływały na obniżenie pracochłonności w niskich (do 1,5 metra wysokości) ścianach to w ciągu doby możliwe było wykonanie jednego cyklu pracy w ciągu doby. Wynikało to z dużej pracochłonności operacji związanych z przygotowaniem do następnego cyklu urabiania. Caliznę urabiano tylko w jednym kierunku. Kolejnym krokiem w rozwoju już polskich kombajnów wycinających stało się wykorzystanie ścianowego przenośnika pancernego jako jezdni dla kombajnu z jednoczesnym zmniejszeniem jego zabioru. Tak powstała rodzina kombajnów KWP 1-4. Umożliwiło wdrożenie nowych rozwiązań stalowych obudów indywidualnych i umożliwiło wykonanie kilku cykli urabiania w ciągu doby. W tym samym jednak czasie najpierw w Wielkiej Brytanii, a następnie w RFN na podstawie licencji podjęto seryjną produkcję płytkozabiorowych, frezujących kombajnów konstrukcji Andertona. Maszyny te umożliwiały realnie wielocykliczne wydobycie i wyraźny wzrost wydobycia dobowego ścian. Także w Polsce w oparciu o informacje o nowym rozwiązaniu podjęto prace nad skonstruowaniem takiego kombajnu węglowego bębnowego (stąd skrót: KWB) i po prototypowym KWB-1 podjęto seryjną produkcję kombajnu KWB-2. Jednak pierwsze doświadczenia z zastosowaniem takich kombajnów w górnictwie brytyjskim ujawniło także istotną wadę frezujących kombajnów bębnowych w postaci istotnego zmniejszenia wychodu średnich i grubych ziaren urobku. Było to istotne ze względu na potrzeby odbiorów (paleniska komunalne, parowozy na kolejach etc.). Podjęto wtedy prace nad nowymi sposobami zmechanizowanego urabiania i ładowania urobku w ścianach. Rozwijające się polskie górnictwo węgla kamiennego i jego zaplecze konstrukcyjne i produkcji maszyn górniczych także opracowało (w ZKM PW) i wyprodukowało kilka typów doświadczalnych ścianowych kombajnowych o różnych sposobach urabiania, a w tym kombajny KDS-1 i KDS-2 o frezujących organach urabiających o pionowej osi obrotu i kombajn o wiercących organach urabiających w typie brytyjskiego Treppanera czyli KDR-1. Opracowano także kombajn do ścian niskich KDN. Wszystkie te maszyny testowano w polskich kopalniach węgla kamiennego i choć nie podjęto ich produkcji to zdobyto cenne doświadczenia. Ostatnie próby jednego z kombajnów typu KDS prowadzono w KOMAG KDWK M-300 jeszcze na początku lat 70-tych ubiegłego wieku i wiadomo, że elementy maszyny nadal znajdują się w zamkniętych wyrobiskach Kopalni Guido zabrzańskiego Muzeum Górnictwa Węglowego.

Jacek KORSKI

KOMAG

Grawitacyjny magazyn energii z ciężkim cięgnem elastycznym w szybie kopalnianym

Słowa kluczowe: grawitacyjny magazyn energii, szyby kopalniane, magazynowanie energii, kopalnie podziemne, odnawialne źródła energii

Streszczenie: Kończące wydobycie kopalnie podziemnego pozostawiają po sobie infrastrukturę techniczną, a w tym wyrobiska podziemne i szyby kopalniane łączące wyrobiska podziemne z powierzchnią terenu. Szyby te w warunkach polskich mają głębokości przekraczające tysiąc metrów i dużą powierzchnię przekroju poprzecznego. Pojawiły się koncepcje wykorzystania szybów kopalnianych i całych kopalń jako magazynów energii. Konieczność tworzenia magazynów energii znana od dawna w postaci tam spiętrzających wodę na koła wodne czy ciężarków zawieszonych na cięgnach napędzających mechanizmy zegarów wieżowych czy ściennych. Jednak dopiero rozwój technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (OZE) spowodował wielkoskalowe zapotrzebowanie na magazynowanie energii elektrycznej. Potrzeba wynika z faktu, że energia generowana przez OZE jest niesterowalna – wytwarzana jest tylko wtedy, gdy jest wiatr, słońce lub woda. Nie zawsze pokrywa się to z zapotrzebowaniem na energię ze strony jej odbiorców. Bez magazynowania energia z OZE może być tracona z powodu braku jej odbioru i stąd potrzeba jej magazynowania. Jednym z pomysłów na magazynowanie energii elektrycznej jest wykorzystanie energii potencjalnej (grawitacyjnej) dużych mas wyniesionych na pewną wysokość. Pojawiły się różne idee wykorzystania energii grawitacyjnej na potrzeby magazynowania energii elektrycznej. Współcześnie na świecie znany jest jeden komercyjny grawitacyjny magazyn energii uruchomiony w 2023 roku w Chinach. Jest to instalacja powierzchniowa. Pojawiają się pomysły wykorzystania grawitacji do magazynowania energii w kopalniach podziemnych Jedną z nich stosowaną w praktyce są elektrownie szczytowo pompowe wykorzystujące energię potencjalną wody. Podejmowano próby wykorzystania kopalń podziemnych jako elektrowni szczytowo pompowych. W tym przypadku od wielu lat prowadzi się prace koncepcyjne i projektowe, ale praktycznych rozwiązań na dużą skalę nie zastosowano. Inną koncepcją jest wykorzystanie mas stałych lub płynów (wody) czy materiałów sypkich w pojemnikach. Podstawowe grupy idei wykorzystania szybów kopalnianych to:

- wykorzystanie dużej jednorodnej masy jako obciążnika,
- wykorzystanie wielu obciążników stałych zdejmowanych i zakładanych na cięgno robocze,
- wykorzystanie materiału sypkiego opuszczanego w dół szybu i wyciąganego na powierzchnię w pojemnikach,
- wykorzystanie wielu pojemników do opuszczania i wyciągania wody.

Większość tych rozwiązań powstała w skali laboratoryjnej lub jako powierzchniowe demonstratory technologii, ale nie została wdrożona na skale przemysłową. Przyczyną są ograniczenia techniczne i prawdopodobnie funkcjonalne wady tych rozwiązań.

Po przeprowadzonej analizie silnych i słabych stron tych rozwiązań zaproponowano wykorzystanie jako obciążnika w grawitacyjnym magazynie energii ciężkiego (o dużej masie na jednostkę długości) cięgna elastycznego, Oznacza to, że samo cięgno jest obciążnikiem, co eliminuje konieczność za i rozładunku obciążników (z wyjątkiem stałego obciążnika jednolite). Przeprowadzono dla takiego rozwiązania analizę ograniczeń i silnych stron oraz opracowano formuły obliczeniowe pozwalające określić parametry techniczne takiego magazynu w zależności od rodzaju cięgna, długości jego drogi roboczej i prędkości roboczej.

Jacek KOWALCZUK, Zbigniew LEWANDOWSKI, Jacek SWANDZIKOWSKI, Beata BORSKA

Polska Grupa Górnicza S.A., KWK Ruda Ruch Halemba

Efekty inwestycji w układ klimatyzacji grupowej w pokładach 405 w partii L oraz 410 w partii K w KWK Ruda Ruch Halemba

Słowa kluczowe: zagrożenie klimatyczne, klimatyzacja grupowa, urządzenia chłodnicze

Streszczenie: Zwiększanie głębokości prowadzonej eksploatacji, skutkujące rosnącą temperaturą pierwotną skał, znacząco wpływa na wzrost zagrożenia klimatycznego w kopalniach głębokich. Udostępnienie nowych pokładów 405/1 w partii L oraz 410 w partii K na poziomie 1030 m w KWK Ruda Ruch Halemba, a następnie zapewnienie odpowiednich warunków prowadzenia robót eksploatacyjnych w wymienionych rejonach, wymagało nowego podejścia do zwalczania zagrożenia klimatycznego. W tym celu został opracowany i zrealizowany projekt zabudowy klimatyzacji grupowej. W referacie przedstawiono i porównano doświadczenia kopalni z prowadzonej eksploatacji ścian wydobywczych w okresie przed uruchomieniem klimatyzacji i po oddaniu klimatyzacji do ruchu. Poza podstawowym efektem inwestycji, którym jest poprawa warunków pracy, zwrócono również uwagę na inne korzyści klimatyzacji grupowej m.in. zmniejszenie zużycia czynnika chłodniczego (redukcja negatywnego oddziaływania na środowisko), ograniczenie zużycia eksploatacyjnego rurociągów, poprawę niezawodności urządzeń chłodzących, zmniejszenie zużycia wody w procesie schładzania wyrobisk.

Zdzisław KOZA

Innowacyjne Obudowy Tunelowe Kozamex Sp. z o.o.

Obudowa chodnikowa z zastosowaniem nowej konstrukcji złącz elementów łukowych

Słowa kluczowe: obudowa chodnikowa, cierne złącza, kształtowniki typu V, odrzwia ŁPi, nośność obudowy

Streszczenie: Podatne odrzwia chodnikowej obudowy górniczej składają się ze stalowych łuków typu V, połączonych na zakładkę za pomocą strzemion. Taki rodzaj połączenia tworzy cierne złącze, które decyduje o nośności odrzwi obudowy w stanie podatnym.

W referacie przedstawiono obecnie stosowane złącze oraz innowacyjną konstrukcję ciernych złączy, polegającą na współpracy strzemion ze specjalnie wykonanymi rowkami w kołnierzach kształtowników typu V. Konstrukcja ta pozwala na zwiększenie nośności odrzwi obudowy oraz zapewnia ich stabilną pracę, co ma bezpośredni wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa pracy górników w wyrobiskach górniczych.

Badania innowacyjnych odrzwi obudowy ŁPi w stanie podatnym wykazały, że zsuwy wystąpiły we wszystkich złączach, a podczas prób nie zaobserwowano niekorzystnego zjawiska ukosowania się śrub strzemion. Uzyskano stabilną pracę odrzwi obudowy, a prawidłowa współpraca strzemion z kształtownikami w złączach zapewniła wysoką nośność odrzwi, o 25% większą niż w przypadku obecnie stosowanych złącz obudowy.

Obserwacje pracy odrzwi ŁPi w warunkach dołowych również potwierdziły ich wysoką nośność, stabilną pracę oraz brak ukosowania śrub w strzemionach. Stabilną i równomierną pracę odrzwi obudowy oraz ciernych złączy potwierdzają także pomiary zsuwów w złączach, które wykazały, że ich wartości są do siebie bardzo zbliżone. Nie stwierdzono również żadnych pęknięć, deformacji kształtu ani zwichrzenia zastosowanych elementów obudowy. Odrzwia ŁPi utrzymują wymagany profil wyrobiska górniczego nawet przy znacznym obciążeniu, co stanowi ich podstawową zaletę.

Krzysztof KRAUZE, Tomasz WYDRO, Kamil MUCHA, Ryszard KLEMPKA

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Projekt innowacyjnego organu urabiającego do frezarki spągowej dla podziemnych kopalń rud

Słowa kluczowe: frezarka spągowa, organ urabiający, frezowanie spągu, kopalnie rud

Streszczenie: Utrzymanie odpowiedniego stanu nawierzchni podziemnych dróg transportowych stanowi jedno z kluczowych zagadnień eksploatacyjnych w podziemnych kopalniach rud. Intensywny ruch maszyn górniczych prowadzi do degradacji spągu wyrobisk, powstawania kolein, lokalnych wypiętrzeń oraz pogorszenia warunków transportu ludzi i materiałów. Dodatkowym problemem są deformacje górotworu powodujące zaciskanie wyrobisk oraz konieczność okresowego urabiania skał spągowych, których wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie może dochodzić nawet do 120 MPa.

Innowacyjny organ urabiający stanowi kluczowy element projektowanej frezarki do spągów, przeznaczonej do pracy w podziemnych wyrobiskach kopalń rud. Założono, że maszyna bazować będzie na zmodyfikowanym podwoziu gąsienicowym spycharki przystosowanej do pracy w wyrobiskach o wysokości nieprzekraczającej 1,8 m. Głównym elementem roboczym urządzenia jest walcowy organ frezujący zabudowany na przegubowym ramieniu umożliwiającym regulację głębokości skrawania oraz zmianę położenia organu względem spągu.

Projekt organu urabiającego obejmuje również dobór parametrów geometrycznych, analizę kinematyki procesu skrawania oraz przewidywane obciążenia robocze, wynikające z urabiania skał o wysokiej wytrzymałości na ściskanie. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość pracy organu zarówno w trybie nadsiębiernym, jak i podsiębiernym, a także na integrację systemów ograniczania zapylenia w strefie urabiania. Istotnym elementem projektu jest wykorzystanie autorskiego programu komputerowego, przeznaczonego do obliczeń obciążeń działających na organ urabiający oraz wyznaczenia zapotrzebowania na moc układu napędowego. Narzędzie to umożliwia analizę wpływu parametrów procesu frezowania, właściwości urabianego ośrodka oraz geometrii organu na warunki pracy maszyny, co pozwoli na optymalizację konstrukcji jeszcze na etapie projektowania.

Przedstawione rozwiązanie stanowi nowe podejście do problemu utrzymania nawierzchni wyrobisk górniczych i może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa transportu, ograniczenia kosztów eksploatacyjnych oraz zwiększenia efektywności pracy podziemnych zakładów górniczych.

Jan KUCHARZ, Zygmunt ZUSKI

Kopalnia Soli „Wieliczka" S.A.

Transport pionowy w Kopalni Soli „Wieliczka" za pomocą urządzeń transportu konstrukcji specjalnej

Słowa kluczowe: dźwigi osobowo-towarowe, kopalnia, transport pionowy, szyb, transport niepełnosprawnych

Streszczenie: Dźwigi osobowe od lat ułatwiają człowiekowi życie. W ostatnich latach dźwigi pojawiły się również w wyrobiskach Kopalni Soli „Wieliczka". Od wielu lat Kopalnia Soli Wieliczka usiłowała wprowadzić do transportu pionowego dźwigi. Napotykano jednak na trudności związane z brakiem rozwiązań prawnych i technicznych w tym zakresie. Tak więc obok problemów natury technicznej pojawiały się zawiłości prawne związane z eksploatacją dźwigu osobowego w miejscu, które jest naturalnym środowiskiem dla górniczych wyciągów szybowych. Po raz pierwszy w przepisach górniczych pojawiła się taka możliwość w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, w których wprowadzono pojęcie *urządzenie transportowe specjalne – inne*.

Pierwszym urządzeniem dźwigowym jakie pojawiło się w wyrobiskach Kopalni „Wieliczka" był dźwig hydrauliczny zabudowany w komorze Staszic, który został uruchomiony w 2003 r. Było to jednak urządzenie pracujące w wyrobisku komorowym, a prace związane z jego montażem rozpoczęto jeszcze przed terminem obowiązywania ww. przepisów.

Kolejne urządzenia dźwigowe jakie pojawiły się w kopalni to:
- dwa dźwigi osobowo-towarowe zabudowane w szybie Regis, które uruchomiono w 2012 r.,
- dźwig towarowy w komorze Budryk 2012 r.,
- dźwig osobowo-towarowy w szybiku Koerber 2014 r.

W najbliższym czasie planowana jest zabudowa kolejnych urządzeń:
- dźwig osobowo-towarowy w tym dla transportu inwalidów z poz. III (poprzecznia Antonia) na międzypoziom Kazanów (komora Wisła – Warszawa) umożliwiający uczestnikom koncertów i spotkań okolicznościowych w komorze Warszawa ominięcie schodów w pochylni Prinzinger,
- dźwig do transportu materiałów w komorze Warszawa z poziomu podłogi na antresolę.

Zastosowane urządzenia transportowe konstrukcji specjalnej zapewniają bezpieczeństwo transportowanych ludzi poprzez:
- zabudowę sprawdzonych elementów bezpieczeństwa posiadających stosowne certyfikaty,
- potwierdzenie zgodności i spełnienia wymogów rygorystycznej Dyrektywy 95/16/WE („Dyrektywa dźwigowa"),
- zapewnienie łączności głosowej (interkom) i niekiedy wizyjnej (kamera w kabinie) ze służbami nadzorującymi ruch,
- zapewnienie dwóch niezależnych źródeł zasilania w energię elektryczną (w przypadku zasilania dźwigów w szybie Regis - dwie linie kablowe),
- zapewnienie na wiele sposobów możliwości ewakuacji osób w przypadku awarii tj. ewakuację z zastosowaniem jazdy rewizyjnej, ewakuację drugą kabiną (szyb Regis), ewakuację poprzez opuszczenie nadwagi.

Dzięki zabudowanym urządzeniom otwarła się możliwość udostepnienia do zwiedzenia dodatkowych rejonów kopalni (Trasa Górnicza), zwiększenia ilości turystów odwiedzających kopalnię - aktualnie prawie 2 mln osób rocznie, a dzienna ilość odwiedzających turystów mogła przekroczyć 10 tys. osób, jak również uczestniczenia w turnusach leczniczych, spotkaniach okolicznościowych i konferencjach na dole kopalni.

Rafał ŁYDZIŃSKI, Marcin LIPIŃSKI

Nijhuis Industries Central Europe Sp. z o. o.

Technologie wodne dla inżynierii podziemnej i tunelowej

Słowa kluczowe: odsalanie, reuse, Zero Liquid Discharge, budownictwo tunelowe, odzysk wody, DAF, stacje mobilne

Streszczenie: Projekty tunelowe i podziemne generują wymagające strumienie wodne, zawierające mieszaniny zawiesin mineralnych, frakcji koloidalnych, soli rozpuszczonych oraz związków organicznych. Ich zmienność oraz rosnące wymagania środowiskowe powodują konieczność stosowania kompleksowych, zintegrowanych rozwiązań technologicznych.

W prezentacji Nijhuis Saur Industries zaprezentowane zostanie podejście oparte na łączeniu procesów fizykochemicznych, membranowych i termicznych, umożliwiających efektywne oczyszczanie oraz maksymalizację odzysku wody. Omówione zostaną rozwiązania obejmujące flotację ciśnieniową (DAF), koagulację i flokulację jako kluczowe etapy przygotowania ścieku, a także technologie odsalania i zaawansowane systemy odparowania (evaporacji), pozwalające na skuteczne usuwanie soli rozpuszczonych i koncentrację pozostałości ciekłych.

Szczególne miejsce zajmą systemy typu zero liquid discharge (ZLD), które umożliwiają praktycznie całkowite wyeliminowanie zrzutu ścieków poprzez integrację procesów oczyszczania, recyrkulacji i końcowego zagospodarowania koncentratu. Przedstawione zostanie podejście modułowe, umożliwiające dostosowanie technologii do specyfiki projektu oraz zmiennych warunków operacyjnych.

Udział w konferencji MARG stanowi dla autorów pierwszą okazję do zaprezentowania rozwiązań w tym sektorze oraz do poznania aktualnych trendów, wyzwań i wymagań branży, które będą kształtować kierunki dalszego rozwoju technologii”

Jarosław MALIK, Marcin KWACZAŁA

Południowy Koncern Węglowy S. A.
Zakład Górniczy Janina

Innowacyjna metoda przewozu osób za pomocą samojezdnych maszyn górniczych

Słowa kluczowe: samojezdne maszyny górnicze, transport podziemny, przewóz osób, efektywność pracy, bezpieczeństwo w górnictwie

Streszczenie: Prezentacja przedstawia innowacyjną metodę przewozu osób w podziemnych zakładach górniczych z wykorzystaniem samojezdnych maszyn górniczych, wdrożoną na przykładzie Zakładu Górniczego Janina w Libiążu. Celem prezentacji jest zaprezentowanie uwarunkowań technicznych, organizacyjnych oraz ekonomicznych umożliwiających zastosowanie transportu kołowego w wyrobiskach podziemnych, a także ocena efektów jego wdrożenia w praktyce.

W prezentacji omówiono kluczowe aspekty umożliwiające realizację inwestycji, w szczególności budowę nowoczesnego poziomu 800 m, zaprojektowanego z uwzględnieniem przyszłych potrzeb transportowych. Odpowiednie parametry geometryczne wyrobisk, takie jak szerokość, wysokość i nachylenie, w połączeniu ze stabilnymi warunkami spągowymi, stworzyły podstawę do bezpiecznego i efektywnego poruszania się samojezdnych maszyn górniczych. Istotnym czynnikiem było również występowanie niskiego poziomu zagrożeń naturalnych, w tym brak zagrożenia metanowego oraz wyrzutów gazów i skał, co umożliwiło wdrożenie transportu kołowego w warunkach podziemnych.

Istotnym elementem prezentacji jest analiza ekonomiczna inwestycji, obejmująca porównanie kosztów zakupu, eksploatacji oraz obsługi tradycyjnych systemów transportowych i samojezdnych maszyn górniczych. Wyniki tej analizy wskazują na wysoką opłacalność wdrożonego rozwiązania – szacowany czas zwrotu inwestycji dla jednej maszyny wynosi około 3,5 miesiąca.

W prezentacji przedstawiono również efekty praktyczne wdrożenia transportu samojezdnego. Najważniejszym z nich jest znaczące skrócenie czasu transportu załogi do miejsca pracy – z około 35 minut do 8 minut, co przyczyniło się do zwiększenia efektywnego czasu pracy w ścianie eksploatacyjnej o około 16%. Dodatkowo wskazano na redukcję kosztów eksploatacyjnych, niższą awaryjność sprzętu, poprawę komfortu oraz zwiększenie poziomu bezpieczeństwa pracowników. Podkreślono także wysoką mobilność pojazdów oraz możliwość ich wykorzystania w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych.

W końcowej części prezentacji omówiono aspekty techniczne i organizacyjne związane z wdrożeniem, w tym transport maszyn na poziom 800 m z wykorzystaniem szybu Janina VI, przygotowanie wyrobisk górniczych oraz organizację tras przewozu osób. Przedstawiono również aktualnie funkcjonujące oraz projektowane odcinki transportowe, umożliwiające sprawny przewóz pracowników w obrębie zakładu.

Prezentowane rozwiązanie stanowi nowoczesny kierunek rozwoju transportu podziemnego, przyczyniając się do poprawy efektywności pracy, bezpieczeństwa oraz ekonomiki funkcjonowania zakładów górniczych.

Kinga MARTUSZEWSKA[1], Dawid SZURGACZ[2,3], Magdalena WORSA-KOZAK[3]

[1] Okręgowa Izba Adwokacka w Katowicach, Kancelaria Adwokacka,
[2] Polska Grupa Górnicza S.A. KWK ROW Ruch Chwałowice
[3] Politechnika Wrocławska

Siła wyższa jako prawny czynnik mogący mieć wpływ na uszkodzenie maszyny górniczej

Słowa kluczowe: uszkodzenie maszyny, siła wyższa, odpowiedzialność prawna, zjawiska geologiczno-górnicze

Streszczenie: Referat podejmuje interdyscyplinarną analizę problematyki siły wyższej w kontekście odpowiedzialności cywilnoprawnej przedsiębiorstwa górniczego, łącząc perspektywę prawa cywilnego z ustaleniami nauk geologicznych i górniczych. Punktem wyjścia rozważań jest konkretna sprawa sądowa dotycząca utraty kombajnu chodnikowego w wyniku zdarzeń zachodzących w wyrobisku górniczym, dla której kluczowe znaczenie miała opinia biegłego z zakresu górnictwa i geologii.

Z perspektywy geologiczno-górniczej ustalono, że bezpośrednią przyczyną zdarzenia było nagłe wypiętrzenie spągu, będące efektem trudnych warunków geologicznych, w szczególności niskiej wytrzymałości skał oraz wysokiego poziomu naprężeń związanych z głębokością eksploatacji. Jednocześnie wykazano, że zjawisko to miało charakter ciągły i było obserwowane w dłuższym okresie poprzedzającym zdarzenie, przy czym jego intensywność stopniowo wzrastała. Oznacza to, że nie miało ono cech nagłego i całkowicie nieprzewidywalnego zdarzenia, lecz wpisywało się w typowe ryzyko działalności górniczej. Analiza prawna koncentruje się na przesłankach siły wyższej jako okoliczności wyłączającej odpowiedzialność kontraktową. W świetle przyjętej w umowie definicji oraz utrwalonego orzecznictwa, zdarzenie może zostać zakwalifikowane jako siła wyższa jedynie wówczas, gdy ma charakter zewnętrzny, nadzwyczajny oraz niemożliwy do przewidzenia i zapobieżenia. Wyniki opinii biegłego prowadzą do wniosku, że przesłanki te nie zostały spełnione, ponieważ przedsiębiorstwo górnicze dysponowało wiedzą o postępującym zjawisku oraz odpowiednimi środkami technicznymi do przeciwdziałania jego skutkom.

Co istotne, mimo braku generalnych zaniedbań w zakresie prowadzenia robót górniczych oraz podejmowania działań zabezpieczających, biegły wskazał na konkretne uchybienia organizacyjne, w szczególności niewystarczające zaangażowanie zasobów ludzkich oraz niepełną realizację przyjętej technologii przeciwdziałania wypiętrzaniu spągu. W konsekwencji utrata kombajnu została uznana za rezultat zaniedbań przedsiębiorstwa, a nie działania siły wyższej.

Referat wskazuje, że właściwa kwalifikacja zdarzeń w górnictwie wymaga ścisłej współpracy między naukami o Ziemi, naukami technicznymi i prawnymi. Ustalenia geologiczne determinują bowiem ocenę przesłanek odpowiedzialności cywilnej, w tym możliwość powołania się na siłę wyższą. W analizowanym przypadku interdyscyplinarne podejście prowadzi do jednoznacznego wniosku, że zjawiska naturalne typowe dla środowiska górniczego nie mogą być automatycznie traktowane jako siła wyższa, jeżeli pozostają w przewidywalnym związku z działalnością przedsiębiorstwa i mogą być ograniczane przy użyciu dostępnych środków technicznych i technologicznych.

Daniel MIESZANIEC

FAMUR

Problemy eksploatacyjne urządzeń budowy przeciwwybuchowej stosowanych w podziemnych wyrobiskach górniczych

Słowa kluczowe: urządzenia budowy przeciwwybuchowej, zabezpieczenia przeciwwybuchowe, eksploatacja podziemna

Streszczenie: W referacie przestawiono najważniejsze problemy związane z prawidłową eksploatacją elektrycznych i nieelektrycznych urządzeń budowy przeciwwybuchowej stosowanych w podziemnych wyrobiskach górniczych. W szczególności omówiono najczęściej występujące rodzaje zabezpieczeń urządzeń budowy przeciwwybuchowej takie jak: osłona ognioszczelna „d", iskrobezpieczeństwo „i", bezpieczeństwo konstrukcyjne „c", nadzorowanie źródeł zapłony „b", zanurzenie w cieczy „k".

Urządzenia budowy przeciwwybuchowej (Ex) są zaprojektowane tak, aby mogły działać bezpiecznie w atmosferze wybuchowej podczas normalnej pracy lub awarii, głównie poprzez eliminację ryzyka powstania źródeł zapłonu pochodzących od gorących powierzchni oraz energii iskry elektrycznej i generowanej mechanicznie. Przy czym to bezpieczeństwo jest zapewnione w momencie, kiedy elementy konstrukcyjne odpowiedzialne za funkcje bezpieczeństwa są prawidłowo eksploatowane.

Prawidłowa eksploatacja urządzeń budowy przeciwwybuchowej z punktu widzenia bezpieczeństwa jest niezwykle istotna, dlatego w referacie oprócz opisu rodzajów zabezpieczeń, oraz wymagań przepisów i norm, przedstawiono najważniejsze elementy prawidłowej eksploatacji między innymi takie jak: zgodność z dokumentacją, poprawność montażu, stan powierzchni ognioszczelnych, stan uszczelek i uszczelnień, połączenia śrubowe, wprowadzenia przewodów, szczelność obudowy, kontrola i wymiana środków smarnych i cieczy, kontrola łożysk i uszczelnień, itd.

W referacie przedstawiono także przykłady złych praktyk eksploatacyjnych, które doprowadziły do awarii urządzeń lub powstania potencjalnego ryzyka niespełnienia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w danym rodzaju zabezpieczeń.

Kamil MUCHA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Uniwersalne stanowisko badawcze do oceny ścierności skał i gruntów w aspekcie zużycia narzędzi urabiających maszyn typu TBM

Słowa kluczowe: ścierność, grunty niespoiste, narzędzia urabiające, zużycie ścierne, tunele

Streszczenie: Dynamiczny rozwój technologii drążenia tuneli komunikacyjnych z wykorzystaniem kombajnów pełnoprzekrojowych typu TBM (Tunnel Boring Machine) powoduje wzrost znaczenia zagadnień związanych z trwałością oraz zużyciem tribologicznym narzędzi urabiających. Efektywność procesu drążenia, koszty eksploatacji oraz niezawodność pracy maszyn TBM są bezpośrednio uzależnione od właściwego doboru narzędzi urabiających oraz możliwości przewidywania ich zużycia w określonych warunkach geologicznych. Szczególne znaczenie mają tu właściwości urabianego ośrodka, takie jak urabialność, budowa geologiczna, obecność wtrąceń trudnourabialnych oraz ścierność skał i gruntów.

Zużycie ścierne narzędzi urabiających jest zjawiskiem naturalnym i w wielu przypadkach pożądanym, gdyż stanowi alternatywę dla nagłego zniszczenia mechanicznego narzędzia. Kluczowym zagadnieniem pozostaje jednak intensywność tego zużycia, determinująca częstotliwość wymiany narzędzi oraz rozmieszczenie komór rewizyjnych i bloków serwisowych w tunelu. W praktyce inżynierskiej niezbędna staje się więc możliwość wiarygodnej oceny ścierności urabianego materiału już na etapie projektowania inwestycji.

W przypadku skał zwięzłych stosowane są liczne laboratoryjne metody oceny ścierności, spośród których najbardziej rozpowszechniona jest metoda Cerchar Abrasivity Index (CAI). Problem pojawia się jednak podczas drążenia tuneli w gruntach rozluźnionych, szczególnie zawodnionych piaskach i żwirach, gdzie klasyczne metody badawcze okazują się niewystarczające lub wręcz niemożliwe do zastosowania. Ośrodki sypkie wykazują bowiem odmienny charakter oddziaływania ściernego wynikający z ruchu ziaren mineralnych, ich granulacji, wilgotności oraz udziału frakcji kwarcowych.

W referacie przedstawiono analizę istniejących metod oceny ścierności zarówno dla skał zwięzłych, jak i gruntów rozluźnionych, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczeń związanych z bezpośrednim przenoszeniem metod stosowanych dla skał na materiały niespoiste. Na tej podstawie zaprezentowano koncepcję uniwersalnego stanowiska laboratoryjnego umożliwiającego ocenę ścierności zarówno skał zwięzłych, jak i gruntów rozluźnionych. Istotnym aspektem proponowanego rozwiązania jest zastosowanie tego samego próbnika testowego dla różnych typów ośrodków skalnych, co może przyczynić się do zwiększenia porównywalności wyników uzyskiwanych w obu metodach, jednakże na tym samym stanowisku badawczym.

Proponowane rozwiązanie ma umożliwić bardziej kompleksową analizę oddziaływań zachodzących pomiędzy materiałem urabianym a narzędziem roboczym, co może przyczynić się do poprawy prognozowania trwałości narzędzi, optymalizacji parametrów pracy maszyn TBM oraz ograniczenia kosztów realizacji inwestycji.

Aneta NAPIERAJ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Stabilność procesów wydobywczych jako warunek niezawodnej eksploatacji maszyn i urządzeń górniczych

Słowa kluczowe: stabilność procesów, niezawodność maszyn, zakłócenia operacyjne, utrzymanie ruchu, automatyzacja górnictwa

Streszczenie: Współczesne górnictwo funkcjonuje w warunkach dużej zmienności geologicznej oraz wysokiej złożoności techniczno-organizacyjnej. Postępująca mechanizacja, automatyzacja i cyfryzacja zwiększają wprawdzie możliwości produkcyjne, ale jednocześnie wymagają stabilnego przebiegu ciągu technologicznego, sprawnego przepływu informacji oraz szybkiej identyfikacji zakłóceń. W tym kontekście stabilność operacyjna stanowi kluczowy warunek bezawaryjnej pracy parku maszynowego.

Celem opracowania jest określenie wpływu stabilności procesów wydobywczych na niezawodność systemów technicznych. Analizie poddano relacje między zmiennością wydobycia a parametrami eksploatacyjnymi maszyn, z uwzględnieniem czynników geologicznych, organizacyjnych oraz jakościowych.

Punktem wyjścia jest założenie, że żywotność i sprawność wyposażenia nie zależą wyłącznie od jego cech konstrukcyjnych czy przyjętego modelu utrzymania ruchu. Istotne znaczenie mają warunki użytkowania, rytmiczność produkcji, dostępność zasobów oraz jakość informacji operacyjnej. Niestabilność systemu generuje bowiem przestoje, odchylenia jakościowe, nierównomierne obciążenie maszyn, zakłócenia transportowe oraz opóźnienia decyzyjne.

Szczególną uwagę poświęcono roli zarządzania jakością, monitoringu on-line oraz wykorzystania danych operacyjnych w ocenie przebiegu procesów. Podkreślono, że wdrażanie automatyzacji i robotyzacji wymaga nie tylko nowoczesnych rozwiązań inżynieryjnych, ale przede wszystkim uporządkowanych, mierzalnych i powtarzalnych procedur organizacyjnych. Ich brak ogranicza efekty technologiczne i utrudnia osiąganie celów w zakresie bezpieczeństwa oraz efektywności kosztowej.

Marcin NAWROCKI, Jerzy KWAŚNIEWSKI

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Aspekty metrologiczne w automatyzacji procesu pozycjonowania rurowych elementów konstrukcji stalowych

Słowa kluczowe: automatyzacja, metrologia, współosiowość konstrukcji rurowych,

Streszczenie: W procesie eksploatacji podpór istotne jest zachowanie parametrów geometrycznych urządzeń podporowych, co wpływa na bezpieczeństwo i trwałość konstrukcji kolei linowych i wyciągów. Każda podpora posiada podstawę montażową oraz głowicę utrzymującą zespół krążków linowych. Brak osiowości elementów konstrukcyjnych i nierównoległość przyspawanych podstaw może prowadzić do szybszego zużycia liny, pojawienia się drgań samowzbudnych oraz ryzyka wykolejenia, co bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo pasażerów.

W badaniach analizowano podporę z rur stalowych o dwóch średnicach. Kontrola parametrów geometrycznych podczas spawania jest często wykonywana ręcznie przy użyciu tradycyjnych narzędzi, co prowadzi do błędów takich jak brak prostopadłości podstaw względem osi rur. Może to powodować drgania układu rolkowego i zwiększać ryzyko spadnięcia liny, co stanowi zagrożenie dla użytkowników. Istnieje zatem potrzeba opracowania precyzyjnych norm dotyczących procesu spawania podpór.

Pomiary mogą być przeprowadzane kontaktowo lub bezkontaktowo. W tym przypadku zastosowano pośredni pomiar w wybranych punktach konstrukcji. Dokonano analizy sposobu pomiaru pod względem dokładności i powtarzalności. Stwierdzono, że do określenia osiowości, prostopadłości i równoległości wymagane jest inne podejście dla powierzchni rur i kołnierzy. Ostateczny dobór powinien uwzględniać m.in. rodzaj wyjścia, możliwość programowania zakresu pomiarowego oraz dokładność pomiarów.

Zastosowanie laserowych czujników odległości pozwala na wielokrotne pomiary podczas obrotu ramy z czujnikami, co umożliwia precyzyjne wyznaczenie wirtualnych osi symetrii, prostopadłości i równoległości elementów konstrukcji. Konieczne jest jednak użycie komputera pomiarowego do obliczeń, co zwiększa koszty.

Przedstawiona metoda pozycjonowania elementów konstrukcyjnych podpór rurowych sprawdza się w warunkach przemysłowych dzięki zminimalizowaniu liczby czynności, braku konieczności stosowania manualnych przyrządów oraz krótkim czasie operacyjnym. Metoda Levenberga-Marquardta zapewnia szybkie i precyzyjne wyniki, choć wymaga zaawansowanych obliczeń macierzowych. Zastosowanie algorytmów pomiarowych pozwala na efektywne wsparcie pracowników w procesie spawania, a w przyszłości może umożliwić pełną automatyzację procesu.

Vitalii PANCHUK, Iuliia MEDVID, Pavlo PRYSYAZHNYUK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

Scratch behaviour and microhardness gradient across the deposit–base metal interface of Mo–Fe–B hardfacings produced from B4C/Mo flux-cored wires

Keywords: hardfacing, flux-cored wire, arc deposition, ternary borides, Mo2FeB2, B4C/Mo reaction mixture, scratch test, scleroscopic hardness, Vickers microhardness, heat affected zone, abrasive wear resistance

Abstract: High-molybdenum hardfacing alloys, in which hard ternary borides of the Mo_2FeB_2 type are formed in situ during arc hardfacing, belong to the key structural materials operating under intensive abrasive wear — in mining, oil and gas extraction, and heavy manufacturing equipment. The service life of hardfaced components is governed not only by the hardness of the deposited layer, but also by the adhesion of the coating to the substrate and by its resistance to delamination, cracking and material removal across the "deposit–base metal" interface and within the heat affected zone (HAZ). A quantitative assessment of these properties under controlled indenter–surface interaction requires scratch testing, a recognised method of simulating microscopic mechanisms of abrasive wear.

The aim of the present work is to evaluate the deformation behaviour and abrasive wear resistance of hardfacings produced from flux-cored wires containing a B4C/Mo reaction mixture, with particular emphasis on the deposit–substrate boundary region and the HAZ, and to determine the influence of hardfacing parameters and flux-cored wire composition on the quality of the resulting surfacing layer.

The methodology comprises: (1) preparation of flux-cored wires by drawing a dried mixture of Mo powder of MPCh grade (average particle size 5 μm), boron carbide (grade 2V, ISO 9001:2008) and arc protection components (CaF2, rutile) into a low carbon steel sheath, with a wire cross-section of 8×2.5 mm^2; (2) single-layer arc hardfacing on a 0.45 % C mild steel substrate in the flat position at 180 A, 34–36 V and reverse polarity; (3) cutting of 10×20×40 mm specimens for microstructural and scratch examinations; (4) scratch testing across the "deposit–base metal" interface and through the HAZ using a diamond Vickers (pyramid) indenter in the "edge ahead" scheme on a PMT3M microhardness tester at a load of 0.2 kg according to GOST 21318-75; (5) correlation of scleroscopic hardness profiles and discrete Vickers microhardness values with SEM observations to identify the dominant wear mechanisms.

The obtained results reveal a pronounced gradient of mechanical properties across the deposit–base metal transition. Scleroscopic hardness Hs along the scratch track decreases from approximately 24 GPa within the deposit, dominated by in situ formed Mo2FeB2 borides, to about 4–5 GPa in the base metal, with an intermediate plateau corresponding to the HAZ. Discrete Vickers microhardness measurements across the same interface yield 18.02, 14.99 and 14.14 GPa in the deposit and HAZ regions, decreasing to 8.03, 3.13 and 2.63 GPa in the base metal. This combination of continuous and discrete hardness data enables identification of differences in deformation behaviour between the deposit, the HAZ and the substrate, and confirms the leading role of hard ternary Mo2FeB2 borides in the abrasive wear resistance mechanism. On this basis, recommendations are formulated for the optimisation of flux-cored wire composition and hardfacing process parameters to extend the service life of components operating under intensive abrasive wear and to reduce maintenance costs, supporting quality control and predictive modelling of hardfacing alloys in applications where component failure entails significant economic losses.

Krzysztof PAWLIK

FAMUR

Systemy nadążnego napinania łańcucha przenośników ścianowych ACT-1 i ACT-3 – ewolucja systemu

Słowa kluczowe: regulacja napięcia łańcucha, przenośnik zgrzebłowy, ACT-3

Streszczenie: W referacie przedstawiono budowę i zasadę działania oferowanego przez FAMUR systemu automatycznej regulacji napięcia łańcucha ścianowych przenośników zgrzebłowych. Omówiono doświadczenia eksploatacyjne uzyskane podczas pracy systemów ACT-1 w kopalniach ZG Sbieski (2013 r.) i Połysajewska (2015 r.) oraz systemu ACT-3 w KWK Jannina.

Stanowiący wyposażenie stacji teleskopowej system ACT-1 umożliwiał regulację napięcia łańcucha na podstawie pomiaru ciśnienia w przestrzeni podtłokowej siłownika napinającego oraz obciążenia napędów przenośnika. Aplikacja zainstalowana na komputerze chodnikowym umożliwiała wizualizację stanu oraz dostosowanie systemu do bieżących warunków pracy poprzez zmianę parametrów technologicznych. Podstawowym mankamentem systemu ACT-1 było zastosowanie prostego pulpitu sterowania wyposażonego jedynie w 7 znakowy wyświetlacz cyfrowy, co istotnie utrudniało obsługę i ograniczało możliwość prezentowania stanu systemu sterowania.

Przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe ilustrujące pracę układu automatycznej regulacji napięcia łańcucha w zróżnicowanych warunkach pracy przenośnika ścianowego.

Podstawą systemu ACT-3 jest opracowany na potrzeby systemu iskrobezpieczny panel sterowania FCPD wyposażony w kolorowy wyświetlacz graficzny wysokiej rozdzielczości, 12-przyciskową klawiaturę z przyciskiem bezpieczeństwa oraz rozbudowane interfejsy komunikacyjne (2 x RS485, CAN, Ethernet oraz Bluetooth). W pulpicie zabudowana jest pamięć stała umożliwiająca lokalną rejestrację danych z pracy systemu. Oprogramowanie zapewnia lokalną wizualizację stanu obiektu oraz modyfikację parametrów technologicznych.

System ACT-3 jest w pełni zintegrowany z systemem SmartMine, co umożliwia zdalny nadzór z dyspozytorni kopalni oraz z centrum serwisowego. Rozbudowany system parametryzacji zapewnia pełną kontrolę poprawności pracy stacji napinającej, sygnalizując operatorowi przekroczenie dopuszczalnych wartości mierzonych parametrów.

W systemie ACT-3 wprowadzono możliwość pomiaru napięcia łańcucha schodzącego z bębna napędowego zwrotni za pomocą ślizgu pomiarowego wyposażonego w czujnik tensometryczny.

Julia PIESTRZYŃSKA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Koło Naukowe SKALNIK

Zakład przeróbczy w technologii XR – na przykładzie Holcim Kopalni Dolomitu Radkowice

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, rozszerzona rzeczywistość, wirtualna rzeczywistość, wirtualny spacer, szkolenie w rozszerzonej rzeczywistości

Streszczenie: Technologia rozszerzonej rzeczywistości (XR) rozwija się w zwrotnie szybkim tempie. Technologie takie oprócz zastosowania w branży gier komputerowych w celach rozrywkowych możemy coraz częściej spotkać także w zastosowaniach przemysłowych. Do technologii XR zaliczyć możemy jej odłamy takie jak wirtualna rzeczywistość (VR), wzmocniona rzeczywistość (AR) oraz mieszana rzeczywistość (MR). Połączenie zalet oraz możliwości jakie dają te technologie pozwala tworzyć aplikacje, które można w innowacyjny sposób wprowadzać do zastosowań przemysłowych. Jednym z takich zastosowań jest wykorzystywanie rozszerzonej rzeczywistości do szkolenia pracowników zakładów lub ich przyszłych kandydatów czy studentów wiążących swoją przyszłość z górnictwem.

Zakłady przeróbcze i związany z nimi cały ciąg technologiczny umożliwiający uzyskanie surowca o pożądanych parametrach, cechują się ogromną złożonością procesów technologicznych oraz dużym ryzykiem wypadku, urazu, czy trwałego uszczerbku na zdrowiu pracownika lub gościa odwiedzającego zakład. Dlatego tak istotnym jest odpowiednie przeszkolenie każdej osoby, która pracuje lub pracować będzie w zakładzie przeróbczym w odkrywkowym zakładzie górniczym. Istotnym jest, aby takie szkolenia nie były monotonne oraz angażowały w aktywny sposób jego uczestników. Przyczynia się to wydłużenia czasu uwagi szkolącego się przez co jest w stanie efektywniej oraz na dłużej zapamiętać prezentowany materiał. Z kolei dla wieloletnich pracowników zakładów górniczych takie immersyjne szkolenia z wykorzystaniem wirtualnej czy rozszerzonej rzeczywistości pozwalają na przełamanie standardowej rutyny. Należy przywiązywać do tego szczególną uwagę, ponieważ niestety najwięcej udokumentowanych zdarzeń wypadkowych podczas pracy pojawia się wśród nowo zatrudnionych oraz wieloletnich pracowników.

Mając na uwadze powyższe potrzeby zaprojektowano oraz stworzono szkolenie osadzone w rozszerzonej rzeczywistości na podstawie zakładu przeróbczego Kopalni Dolomitu firmy Holcim Polska w Radkowicach. Szkolenie zostało przygotowane na bazie zebranych materiałów filmowych oraz zdjęciowych prosto z działającego zakładu górniczego oraz dzięki dodatkowo pozyskanym schematom, mapom, opisom oraz grafikom udostępnionym przez zakład górniczy. Nagrania oraz zdjęcia pozyskano z użyciem kamery 360°, które następnie odpowiednio przygotowano i zaimplementowano wraz z funkcjami interaktywnymi w szkoleniu. Dodatkowo przygotowane szkolenie uzupełniono o elementy modelu 3D pokazujące poszczególne lokalizacje zakładu, co umożliwia uczestnikowi swobodny spacer po nich i lepsze doświadczenia poprzez przeniesienie się do wirtualnego zakładu przeróbczego.

Radosław PLATA

NORMET

Technologia betonu natryskowego w budownictwie podziemnym – metody, sprzęt i zastosowania

Słowa kluczowe: beton natryskowy, torkret, budownictwo podziemne, zabezpieczanie wyrobisk, roboty torkretujące

Streszczenie: Prezentacja poświęcona jest technologii betonu natryskowego (torkretu) stosowanego w budownictwie podziemnym, zabezpieczaniu wyrobisk oraz wzmocnieniach konstrukcji geotechnicznych. Beton natryskowy odgrywa kluczową rolę jako materiał konstrukcyjny i zabezpieczający, umożliwiając szybkie i efektywne przenoszenie obciążeń masywu skalnego oraz poprawę stateczności wyrobisk już na etapie realizacji robót.

W pierwszej części przedstawiono podstawowe technologie wykonywania betonu natryskowego, że szczególnym rozróżnieniem dwóch głównych metod: suchej i mokrej. Metoda sucha polega na transportowaniu suchej mieszanki wcześniej prefabrykowanego betonu i dozowaniu wody bezpośrednio w dyszy natryskowej, co daje dużą elastyczność, lecz wymaga wysokich kwalifikacji operatora i generuje większe zapylenie. Z kolei metoda mokra opiera się na wcześniejszym przygotowaniu gotowej mieszanki betonowej, która jest tłoczona pompą i natryskiwana przy użyciu sprężonego powietrza. Charakteryzuje się ona lepszą kontrolą jakości, wyższą wydajnością oraz mniejszym wpływem na środowisko pracy.

Istotną częścią prezentacji jest omówienie sprzętu wykorzystywanego do aplikacji betonu natryskowego. Przedstawiono nowoczesne maszyny natryskowe, w tym roboty torkretujące, pompy do betonu oraz systemy transportu mieszanki. Zwrócono uwagę na znaczenie automatyzacji procesu, która poprawia bezpieczeństwo pracy, zwiększa precyzję aplikacji oraz ogranicza straty materiałowe. Omówiono również rolę osprzętu pomocniczego, takiego jak sprężarki, pompy do przyspieszacza oraz systemy kontroli parametrów natrysku.

Kolejnym zagadnieniem jest przygotowanie mieszanki betonowej, które ma kluczowy wpływ na jakość końcową natryskiwanej warstwy. Zaprezentowano wymagania dotyczące składu mieszanki, w tym odpowiedniego doboru kruszyw, cementu oraz domieszek i dodatków, takich jak przyspieszacze wiązania czy włókna zbrojeniowe. Podkreślono znaczenie właściwej konsystencji, urabialności oraz odporności na odbicie (tzw. *rebound*).

W końcowej części przedstawiono funkcje, jakie beton natryskowy pełni w budownictwie podziemnym. Oprócz funkcji konstrukcyjnej i stabilizującej, materiał ten zapewnia ochronę powierzchni przed erozją, ogranicza migrację wody oraz umożliwia szybkie zabezpieczenie świeżo odsłoniętych powierzchni skalnych. Dzięki swojej wszechstronności i efektywności beton natryskowy stanowi jedno z najważniejszych narzędzi współczesnej inżynierii podziemnej.

Kacper POŚNIK, Michał PATYK

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Modelowanie parku maszyn kopalni odkrywkowej z wykorzystaniem technologii druku 3D

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, modelowanie komputerowe, maszyny górnicze, druk 3D

Streszczenie: Projekt koncentruje się na nowatorskim podejściu do modelowania zeskalowanych modeli maszyn wykorzystywanych w górnictwie odkrywkowym z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi takich jak projektowanie komputerowe CAD, czy technologia druku 3D. Stanowi on rozwinięcie wcześniejszych projektów obejmujących budowę modeli koparki podsiębiernej oraz wozidła sztywnoramowego, rozszerzając ich zakres o stworzenie nowych maszyn, oraz środowiska badawczego w postaci makiety kopalni odkrywkowej.

W ramach projektu przewiduje się opracowanie oraz wykonanie zdalnie sterowanych modeli maszyn górniczych, które współpracować będą z już istniejącymi modelami koparki oraz wozidła. Wykorzystanie technologii druku 3D umożliwi szybkie prototypowanie oraz sprawne wdrażanie modyfikacji konstrukcyjnych, w szczególności w zakresie elementów roboczych i napędowych, takich jak skrzynie ładunkowe czy opony. Równocześnie, możliwość relatywnie szybkiego wytwarzania kolejnych jednostek pozwoli na prowadzenie analiz zróżnicowanych pod kątem skali i scenariuszy optymalizacyjnych dotyczących między innymi liczebności poszczególnych rodzajów maszyn w ramach floty.

Istotnym elementem projektu jest stworzenie makiety kopalni odkrywkowej. Makieta ta umożliwi przeprowadzanie powtarzalnych i w pełni kontrolowanych eksperymentów, odwzorowujących rzeczywiste warunki środowiskowe i eksploatacyjne odkrywkowych zakładów górniczych. Dzięki zastosowaniu zdalnego sterowania w każdej z maszyn, możliwe będzie przeprowadzanie analiz współpracy pomiędzy poszczególnymi jednostkami parku maszynowego.

Projekt zakłada również prowadzenie badań porównawczych pomiędzy różnymi konfiguracjami konstrukcyjnymi maszyn oraz ich komponentów. Analizie podlegać będą parametry takie jak wydajność transportowa, stabilność pracy, efektywność załadunku i rozładunku oraz wpływ różnych elementów roboczych na sprawność całego systemu. Integracja modeli w jednym środowisku badawczym umożliwi ocenę poziomu współpracy pomiędzy poszczególnymi maszynami.

Rezultatem projektu będzie nie tylko zestaw funkcjonalnych i wysoce replikowalnych modeli wykonanych w technologii druku 3D, ale także opracowanie metodyki szybkiego prototypowania i testowania nowych maszyn górniczych w skali. Uzyskane wyniki mogą stanowić cenne środowisko symulacyjne do dalszych prac badawczo-rozwojowych oraz wsparcie przy optymalizacji logistyki i współpracy maszyn w rzeczywistych systemach eksploatacyjnych górnictwa odkrywkowego.

Krzysztof PORĘBSKI

KGHM Polska Miedź S.A.

Innowacyjny świat wyrasta z miedzi – KGHM Polska Miedź S.A.

Słowa kluczowe: górnictwo rud miedzi, innowacje technologiczne, eksploatacja złóż, bezpieczeństwo pracy, modernizacja infrastruktury górniczej, transformacja energetyczna, zrównoważony rozwój, odnawialne źródła energii

Streszczenie: „INNOWACYJNY ŚWIAT WYRASTA Z MIEDZI" to hasło podkreślające znaczenie wieloletniego rozwoju polskiego górnictwa rud miedzi oraz rolę nowoczesnych technologii we współczesnym przemyśle wydobywczym. Od ponad 65 lat branża ta konsekwentnie łączy bogate doświadczenie i tradycję z innowacyjnymi rozwiązaniami technologicznymi, czerpiąc potencjał z zasobów miedzi, srebra oraz wiedzy i zaangażowania pracowników. Referat przedstawia aktualną strukturę wydobywczą przedsiębiorstwa, obejmującą procesy eksploatacji złóż, organizację pracy oraz kierunki rozwoju infrastruktury górniczej. Szczególną uwagę poświęcono działaniom utrzymaniowym i inwestycyjnym związanym z eksploracją nowych obszarów wydobywczych, modernizacją zakładów górniczych oraz wdrażaniem rozwiązań zwiększających efektywność produkcji. Istotnym elementem opracowania są również zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa pracy i ochrony zdrowia pracowników, w tym metody zwalczania zagrożeń naturalnych, takich jak tąpania, zagrożenia gazowe czy wysokie temperatury górotworu.

Piotr PUCH

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Geotermia jako filar transformacji energetycznej Polski w kontekście zrównoważonego rozwoju

Słowa kluczowe: geotermia, transformacja energetyczna, zrównoważony rozwój, odnawialne źródła energii

Streszczenie: Transformacja energetyczna oraz realizacja założeń zrównoważonego rozwoju stanowią obecnie jedne z kluczowych wyzwań polityki energetycznej Polski. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera energia geotermalna, charakteryzująca się stabilnością dostaw, niskoemisyjnością oraz możliwością długoterminowego wykorzystania w systemach ciepłowniczych i energetycznych. Region Podhala należy do najważniejszych obszarów rozwoju geotermii w Polsce, gdzie rosnące zapotrzebowanie na energię cieplną związane z urbanizacją oraz rozwojem sektora turystycznego sprzyja wdrażaniu alternatywnych źródeł energii.

Istotnym elementem rozwoju infrastruktury geotermalnej są odwierty Bańska PGP-4 oraz realizowany obecnie odwiert PGP-7, których celem jest zwiększenie potencjału energetycznego regionu i dalsza rozbudowa systemów geotermalnych. Rozwój geotermii wpisuje się w realizację Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ, szczególnie w zakresie czystej energii, innowacyjnej infrastruktury oraz działań na rzecz klimatu. Wykorzystanie energii geotermalnej może przyczyniać się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego oraz dywersyfikacji źródeł energii w Polsce.

Celem referatu jest analiza znaczenia geotermii dla transformacji energetycznej Polski na przykładzie Podhala. W pracy zastosowano analizę literatury przedmiotu, dostępnych danych dotyczących inwestycji geotermalnych oraz studium przypadku infrastruktury geotermalnej regionu. Wskazano również potencjalne korzyści ekonomiczne i społeczne wynikające z rozwoju geotermii, obejmujące stabilizację kosztów ogrzewania, rozwój lokalnej przedsiębiorczości oraz wzrost atrakcyjności inwestycyjnej regionu. W perspektywie długoterminowej geotermia może stanowić istotny element krajowego miksu energetycznego oraz wspierać realizację założeń bezpieczeństwa energetycznego i zrównoważonego rozwoju Polski.

Zbigniew RAK, Jerzy STASICA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Propozycja zmian technologii drążenia wyrobisk w obudowie podporowo-kotwowej w kopalniach węgla

Słowa kluczowe: obudowa podporowo-kotwowa, samodzielna obudowa kotwowa, kombajn chodnikowy, laweta wiercąco-kotwiąca, kotwienie w przodku, stateczność obudowy

Streszczenie: Trudne warunki geologiczno-górnicze polskich kopalń węgla kamiennego wymagają stosowania wzmocnień obudowy podporowej obudową kotwową. Stosowanie kotew prętowych wzmacniających górotwór powinno być realizowane bezpośrednio w przodku. Brak urządzeń skutecznie mechanizujących ten proces powoduje, że technologia ta jest rzadko wykorzystywana w naszych kopalniach.

Referat zawiera propozycję mechanizacji tego procesu poprzez zastosowanie kombajnu chodnikowego wyposażonego w dwie lawety wiercąco-kotwiące. Prezentowana konstrukcja opracowana została przez Famur S.A. na bazie kombajnu R-2000. Rozwiązanie to umożliwi jednoczesne stosowanie obudowy kotwowej instalowanej bezpośrednio w przodku na przemian z łukową obudową podporową.

Przedstawiono także warianty, w których obudowa podporowa wykonywana jest poza strefą przodka bezpośredniego, a wyrobisko drążone jest z zastosowaniem samodzielnej obudowy kotwowej jako wstępnej. W takim wypadku wykonanie obudowy podporowej realizowane jest za strefą manewrową kombajnu, tj. w odległości od 40 do 180 m za postępującym przodkiem wyrobiska.

Technologia przewiduje adaptację systemu oponowego odstawy z przodka oraz opracowanie systemu mechanizacji procesu wykonania obudowy podporowej. Obok mechanizacji zaproponowano także obłożenie oraz organizację robót dla wyrobiska drążonego z niezależnym i opóźnionym w czasie wykonaniem obudowy podporowej.

Zaproponowany system mechanizacji daje możliwość zwiększenia postępów drążenia wyrobisk przy zachowaniu wysokich standardów w zakresie bezpieczeństwa i ergonomii robót.

Tomasz RATAJCZAK, Danuta SZYSZKA, Natalia JAWORSKA

Politechnika Wrocławska
Studenckie Koło Naukowe Górnik

Wzbogacanie biotytu z granitu poddanego obróbce termicznej metodą separacji magnetycznej

Słowa kluczowe: wzbogacanie minerałów, separacja magnetyczna, biotyt, granit, odpady granitowe

Streszczenie: Przeróbka surowców mineralnych jest istotnym elementem współczesnego przemysłu, w którym coraz większą wagę przykłada się do efektywnego wykorzystania zasobów i minimalizacji odpadów. Jednym z takich surowców jest granit, który w trakcie procesów technologicznych generuje drobnoziarniste odpady. Chociaż są one traktowane jako produkt uboczny, mogą kryć w sobie składniki o znacznym potencjale przemysłowym. Wydzielenie biotytu z odpadu mogłoby przyczynić się do podniesienia efektywności wykorzystania surowca, gdzie pozostałe minerały znalazłby zastosowanie w przemyśle.

W pracy oceniono wpływ obróbki termicznej na efektywność wydzielania biotytu z granitu o frakcji 0,125–0,250 mm metodą separacji magnetycznej. Próbki ogrzewano w temperaturach 20 °C, 100 °C, 300 °C i 600 °C, a następnie rozdzielano je przy użyciu separatora Frantza. Wyniki wykazały, że podwyższona temperatura znacząco zwiększa podatność magnetyczną materiału, prowadząc do wyższego uzysku biotytu. Stwierdzono również, że obróbka w 600 °C powoduje zmianę barwy próbek, co może świadczyć o modyfikacji struktury i ograniczać ich zastosowanie w przemyśle ceramicznym. Dodatkowo potwierdzono, że wzrost natężenia prądu w separatorze istotnie poprawia efektywność procesu. Otrzymane wyniki wskazują, że połączenie obróbki termicznej i separacji magnetycznej stanowi skuteczną metodę odzysku biotytu z odpadów granitowych.

Piotr RUBACHA

FMK sp. z o.o.

Nowoczesne metody projektowania i optymalizacji przenośników ślimakowych

Słowa kluczowe: przenośniki ślimakowe, maszyny i urządzenia transportowe, Metoda, Elementów Dyskretnych

Streszczenie: W referacie przedstawiono główne problemy związane z dotychczas stosowanymi metodami projektowania przenośników oraz omówiono innowacyjną metodę doboru parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przenośników z wykorzystaniem symulacji komputerowych opartych na metodzie elementów dyskretnych (DEM). Zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych dotyczących pomiarów wydajności i zapotrzebowania mocy podajnika ślimakowego, a także rezultaty weryfikacji metody symulacyjnej przeprowadzonej na podstawie uzyskanych danych pomiarowych. Przedstawiono również efekty wielokryterialnej optymalizacji konstrukcji podajnika ślimakowego. Omówiono także aktualny stan zastosowania przenośników ślimakowych w zakładach przemysłowych.

Tomasz SALAMOŃSKI

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Górnictwo tunelowe jako szansa rozwoju kompetencji, technologii oraz zagospodarowania wyrobisk górniczych

Słowa kluczowe: górnictwo tunelowe, technologie TBM, budownictwo podziemne, kompetencje górnicze, zagospodarowanie wyrobisk

Streszczenie: Górnictwo tunelowe w Polsce rozwija się nadzwyczaj dobrze. To jest wynik właściwego wykorzystywania środków Unii Europejskiej przeznaczonych na rozwój infrastruktury drogowej, w tym na budowę tuneli. Realizowane w Europie inwestycje tunelowe w większości wspierane są przez programy europejskie i często są miejscami pracy dla polskich pracowników. To właśnie praca na takich kontraktach rozwija oraz buduje nowe kompetencje.

Kierunek ten jest konieczny i wynika przede wszystkim z potrzeby zatrudniania kadry inżynierskiej i pracowniczej o specjalnych umiejętnościach, w tym wykwalifikowanych operatorów TBM, pracowników z doświadczeniem w budownictwie podziemnym. Uczestnicząc w projektach tunelowych budujemy nie tylko połączenia komunikacyjne, ale także kompetencje – krajowy kapitał wiedzy, zaplecze technologiczne i kulturę współpracy.

Stowarzyszenie Górnictwa Tunelowego wspiera i stawia na „drugie życie" kompetencji górniczych. Istnieje bowiem aspekt drążenia tuneli jako alternatywy i możliwości przekwalifikowania się kadry z tradycyjnego górnictwa. Polscy górnicy, którzy zakończą pracę w kopalniach, mają szansę znaleźć zatrudnienie przy inwestycjach tunelowych a tym samym automatycznie wykształci się w Polsce nowy zawód tj. górnik tunelowy.

Stowarzyszenie Górnictwa Tunelowego wspiera polskie przedsiębiorstwa, które powinny mieć możliwość zdobywania niezbędnego doświadczenia w budowie tuneli. Takie możliwości należy stworzyć określając nowe wytyczne oraz rozwiązania dotyczące gwarancji uczestnictwa polskich wykonawców w kolejnych realizacjach tunelowych. Zaangażowanie oraz udział polskich przedsiębiorstw w projektach dotyczących budowy tuneli to warunek konieczny dla zdobywania nowych możliwości rozwoju.

Budowa tuneli powinna być prowadzona przez doświadczonych inżynierów, którzy rozumieją specyfikę budownictwa podziemnego. Rozwiązania systemowe powinny umożliwiać kadrze ciągłe dokształcanie się oraz wprowadzać regulacje prawne dostosowujące stwierdzone i posiadane kwalifikacje zawodowe do przepisów prawa, na podstawie którego realizowane są inwestycje tunelowe.

Górnictwo tunelowe to nowe technologie drążenia wyrobisk a postęp i tempo rozwoju wskazują na potencjał praktycznie nieograniczony i potwierdzający, że to co kiedyś było niemożliwe dzisiaj jest w realizacji np. elektrownia szczytowo-pompowa (ESP) wykonywane przez TBM, wykonywanie wyrobisk udostępniających w górnictwie czy tunele podwodne (Rogfast, Fehrmarnbelt).

Tunele to szansa na ponowne zagospodarowanie wyrobisk górniczych, które jest możliwe technicznie oraz stwarza dodatkowe szanse funkcjonowania zakładów górniczych po zakończonej eksploatacji złoża.

Tomasz SIOSTRZONEK, Jakub WÓJCIK, Jacek PYTEL

Agencja Rozwoju Przemysłu SA Oddział w Katowicach

Moc bierna w zakładach górniczych – możliwości jej wykorzystania w prowadzonej transformacji energetycznej

Słowa kluczowe: moc bierna, kompensacja mocy biernej, zakłady górnicze, transformacja energetyczna, stabilność systemu elektroenergetycznego

Streszczenie: Transformacja energetyczna i stopniowa rezygnacja z konwencjonalnych źródeł energii spalających paliwa kopalne niesie za sobą szereg problemów w prawidłowym działaniu sieci elektroenergetycznej państwa. Chodzi tutaj o stabilność systemu z uwagi na rosnący udział w wytwarzaniu energii ze źródeł fotowoltaicznych i turbin wiatrowych, czyli ogólnie pogodozależnych. Brak wirujących źródeł energii w systemie może powodować liczne trudności z utrzymaniem zarówno odpowiedniej wartości częstotliwości jak i napięcia.

Jednym z niezbędnych elementów potrzebnych do prawidłowej pracy sieci jest moc bierna. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii i zmniejszenie ilości dużych zakładów przemysłowych powoduje, że lokalnie może wystąpić w sieci deficyt energii biernej, co będzie skutkowało obniżeniem możliwości regulacyjnych. Dlatego też autorzy proponują wykorzystanie źródeł mocy biernej, które funkcjonują w likwidowanych zakładach górniczych jak i dalej prowadzących działalność górniczą.

Specyfika zakładów górniczych wymusiła w poprzednich latach, instalowanie układów kompensacji mocy biernej. Wynikało to z konieczności utrzymania odpowiedniego współczynnika mocy w punkcie przyłączenia zakładu górniczego. Współczynnik ten nie mógł przekroczyć wartości 0,4 (tg ϕ). Niedotrzymanie tego warunku skutkowało naliczeniem przez operatora systemu dystrybucyjnego odpowiedniej opłaty. Aby zabezpieczyć zakład przed tego typu problemem, wykorzystywano do kompensacji mocy układy dynamiczne (silniki synchroniczne z regulacją wzbudzenia) lub kompensatory statyczne (najczęściej baterie kondensatorów).

Ostatnie lata to proces likwidacji zakładów górniczych lub łączenia ich w zakłady zespolone. Powoduje to powstawanie nadwyżek zarówno ilości urządzeń, jak i wolumenu energii biernej w tych zakładach. Jest to sytuacja zupełnie odwrotna do sytuacji w energetyce zawodowej. Tam występuje deficyt tego rodzaju energii. Dlatego też prowadzone są analizy w kierunku możliwości wykorzystania zasobów w kopalniach na rzecz innych odbiorców.

Najlepszym rozwiązaniem byłoby utworzenie lokalnie nadrzędnego, autonomicznego układu kompensacji mocy biernej i włączenie tych działań w rozwijające się obecnie usługi elastyczności, które określone zostały już w odpowiednich przepisach. Wymaga to interdyscyplinarnego podejścia do problemu i stanowi wyzwanie zarówno dla operatorów systemów dystrybucyjnych na danym terenie jak również służb działów energomechanicznych kopalń.

Mirosław SKIBSKI

Agencja Rozwoju Przemysłu SA Oddział w Katowicach

Sytuacja Górnictwa Węgla Kamiennego w Polsce po I kwartale 2026 r.

Słowa kluczowe: wskaźniki produkcyjne, sytuacja ekonomiczno-finansowa, Nowy System Wsparcia, statystyka publiczna

Streszczenie: Niniejsza prezentacja przedstawia aktualną sytuację w sektorze górnictwa węgla kamiennego w Polsce po 3 miesiącach 2026 r. Zaprezentowano najważniejsze wskaźniki produkcyjne, ekonomiczno-finansowe oraz techniczne obrazujące stan polskiego górnictwa węglowego, w tym m.in. poziom wydobycia, sprzedaży wg kierunków i cen uzyskiwanych ze sprzedaży, wielkości zapasów surowca przy kopalniach, wyniki ze sprzedaży węgla i wyniki finansowe sektora. Zaprezentowano także dynamikę poziomu zatrudnienia w sektorze. Poruszono też kwestię nakładów na inwestycje w górnictwie i źródeł ich finansowania, w tym zakupy gotowych dóbr inwestycyjnych, budownictwo inwestycyjne. Uwzględniono aspekty oddziaływania branży na środowisko naturalne, w tym kwestię zrzutu wód dołowych i ładunku chlorków i siarczanów, zagospodarowania metanu i rekultywacji terenów.

Polityka klimatyczna UE, przyspieszona transformacja energetyczna, coraz trudniejsze warunki geologiczno-górnicze, wysokie koszty wydobycia i malejące zapotrzebowanie na surowiec przy jednoczesnych uwarunkowaniach społecznych wpływają negatywnie na kondycję sektora węglowego. Od kilku lat sektor generuje poważne straty finansowe i wymaga wsparcia środkami publicznymi w ramach Nowego Systemu Wsparcia. Ograniczenia wynikające z warunków uzyskania pomocy publicznej (limity wskaźników efektywnościowych, ograniczenie inwestycji do inwestycji jedynie odtworzeniowych) oraz trudności z pozyskaniem kapitału zewnętrznego na inwestycje, przy jednoczesnej konieczności zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju, stanowią wyzwanie dla branży.

Zaprezentowane w referacie wartości pochodzą z realizowanego przez katowicki Oddział Agencji Rozwoju Przemysłu SA w Warszawie badania statystycznego statystyki publicznej „Górnictwo węgla kamiennego i brunatnego" w ramach prowadzonego przez Oddział od ponad 20 lat monitorowania funkcjonowania sektora węglowego w Polsce.

Marta SUKIENNIK

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Znaczenie kultury organizacyjnej w transformacji energetycznej polskiego przemysłu wydobywczego

Słowa kluczowe: kultura organizacyjna, transformacja energetyczna, przemysł wydobywczy, górnictwo węgla kamiennego

Streszczenie: Transformacja energetyczna stanowi jeden z kluczowych procesów wpływających na funkcjonowanie polskiego przemysłu wydobywczego, szczególnie sektora górnictwa węgla kamiennego. Zmiany wynikające z polityki klimatycznej, konieczności ograniczenia emisji oraz stopniowego odchodzenia od paliw kopalnych wymagają od przedsiębiorstw wydobywczych nie tylko dostosowań technologicznych i ekonomicznych, lecz także zmian organizacyjnych i społecznych. Celem artykułu jest analiza znaczenia kultury organizacyjnej w procesie transformacji energetycznej polskiego przemysłu wydobywczego oraz identyfikacja jej wpływu na zdolność organizacji do adaptacji wobec zachodzących zmian.

W artykule przedstawiono specyfikę kultury organizacyjnej przedsiębiorstw wydobywczych, ze szczególnym uwzględnieniem kopalń węgla kamiennego. Omówiono cechy charakterystyczne dla sektora, takie jak silne przywiązanie do tradycji zawodowych, hierarchiczność struktur organizacyjnych, wysoki poziom identyfikacji pracowników z zawodem oraz znaczenie bezpieczeństwa pracy. Wskazano, że kultura organizacyjna może zarówno wspierać proces transformacji poprzez budowanie zaangażowania i odpowiedzialności pracowników, jak również stanowić barierę utrudniającą wdrażanie zmian organizacyjnych i strategicznych.

Szczególną uwagę poświęcono znaczeniu komunikacji wewnętrznej, przywództwa oraz dialogu społecznego w procesie zarządzania zmianą w przedsiębiorstwach wydobywczych. Podkreślono, że skuteczność transformacji energetycznej zależy nie tylko od czynników ekonomicznych i technologicznych, ale również od zdolności organizacji do przekształcania utrwalonych wzorców kulturowych i społecznych. Artykuł wskazuje, że kultura organizacyjna może stanowić jeden z kluczowych elementów determinujących efektywność transformacji energetycznej polskiego przemysłu wydobywczego.

Katarzyna SYPEK

Politechnika Wrocławska
Koło Naukowe RadON

Radon jako czynnik ryzyka w podziemnych wyrobiskach górniczych

Słowa kluczowe: radon-222, zagrożenie radiacyjne, podziemne wyrobiska górnicze, produkty rozpadu radonu, monitoring radiologiczny, ochrona radiologiczna

Streszczenie: Radon-222 jest naturalnym promieniotwórczym gazem szlachetnym powstającym w szeregu uranowo-radowym z rozpadu macierzystego radu-226, obecnego w różnych utworach geologicznych. W porównaniu z innymi izotopami radonu, izotop radonu-222 ma największe znaczenie praktyczne ze względu na relatywnie długi okres półtrwania, wynoszący około 3,8 doby. Ze względu na swoje właściwości fizyczne jako gaz, może migrować przez spękania, szczeliny oraz strefy uskokowe, a następnie gromadzić się w przestrzeniach zamkniętych lub słabo wentylowanych. Szczególne znaczenie ma to w środowisku podziemnych wyrobisk górniczych, gdzie warunki geologiczne, hydrogeologiczne i wentylacyjne mogą sprzyjać lokalnej akumulacji radonu-222 oraz jego krótkożyciowych produktów rozpadu. Zmienność stężeń aktywności radonu-222 w takich przestrzeniach może mieć charakter zarówno dobowy, jak i sezonowy, co dodatkowo może utrudniać jednoznaczną ocenę poziomu zagrożenia.

Produkty rozpadu radonu mogą osadzać się na pyłach obecnych w powietrzu i wraz z nimi przedostawać się do układu oddechowego. Długotrwała ekspozycja na podwyższone stężenia aktywności radonu-222 może stanowić istotny czynnik ryzyka zdrowotnego, przede wszystkim w kontekście zwiększonego ryzyka rozwoju nowotworów płuc. Problem ten dotyczy nie tylko kopalń rud uranu, lecz także innych podziemnych zakładów górniczych oraz dawnych wyrobisk pogórniczych, tras turystycznych i wszystkich innych obiektów podziemnych w których występują warunki sprzyjające migracji i kumulacji tego gazu. W środowisku kopalnianym istotne znaczenie mają również głębokość prowadzenia eksploatacji, układ wyrobisk oraz intensywność wymiany powietrza, które mogą wpływać na poziom narażenia radiologicznego pracowników. Uwzględnienie radonu w ocenie obiektów podziemnych jest szczególnie ważne tam, gdzie wyrobiska są użytkowane długotrwale lub regularnie udostępniane ludziom.

Zagrożenie radiacyjne w górnictwie wymaga podejścia łączącego wiedzę z zakresu geologii, wentylacji kopalń, higieny pracy oraz ochrony radiologicznej. Istotne jest nie tylko rozpoznanie obecności radonu, lecz także ocena zmienności jego stężenia aktywności w czasie i przestrzeni oraz ich wpływu na rzeczywisty poziom narażenia. Takie ujęcie pozwala traktować radon jako element wymagający systematycznej kontroli i świadomego zarządzania ryzykiem w podziemnym środowisku pracy. Ma to znaczenie zarówno na etapie oceny warunków pracy, jak i przy planowaniu działań ograniczających ekspozycję.

Zygmunt TRZEŚNIOWSKI[1], Artur MARCINIAK[2], Maciej ORMAN[1], Krzysztof PIENIĄDZ[1]

[1]WIDMO Spectral Technologies Sp. z o.o.
[2]Instytut Geofizyki, Polska Akademia Nauk

Technologie spektralne w badaniach górotworu – rozwiązanie nowej generacji do obrazowania przestrzeni podpowierzchniowej

Słowa kluczowe: technologie spektralne w obrazowaniu górotworu, sygnał ciągły modulowany, bezinwazyjny proces rejestracji danych, tomografia georadarowa, uczenie maszynowe, sztuczna inteligencja.

Streszczenie: Georadar spektralny (SGPR) to jedna z najnowszych metod geofizycznych stosowana do badania budowy geologicznej oraz struktury i właściwości fizycznych górotworu z zastosowaniem fal elektromagnetycznych. Pionierem w rozwoju tej technologii jest polski startup WIDMO Spectral Technologies Sp. z o.o., który opracował i wdrożył innowacyjne na skalę światową urządzenie bazujące na technologii fali ciągłej modulowanej (Frequency Modulated Continuous Wave) w domenie częstotliwości i o stałej amplitudzie.

Wykorzystanie szerokiego spektrum częstotliwościowego pozwala na uzyskanie danych o znacznie wyższej i spójnej rozdzielczości niż w urządzeniach konwencjonalnych. Istotną przewagą jest możliwość penetracji na większą głębokość – do 40-50 metrów w stosunku do kilku metrów w georadarach impulsowych, zachowując przy tym wysoką jakość danych oraz przy znacznie niższym zużyciu energii – poniżej 1W, co przekłada się na bezpieczeństwo środowiskowe. Podczas wykonywania pomiarów, SGPR rejestruje dane z precyzyjną lokalizacją i odległością między pojedynczymi punktami poniżej 1 cm. W pozycjonowaniu naziemnym radary SGPR wykorzystują nawigację satelitarną, a w podziemnych oraz w miejscach, gdzie nawigacja satelitarna jest nieosiągalna – stosuje się nawigację inercyjną. Georadar spektralny pozwala na uzyskanie danych wysokiej rozdzielczości przy szybkim i bezinwazyjnym procesie zbierania danych terenowych.

Standardowe formaty danych wyjściowych (SEGY, OBJ) umożliwiają ich wykorzystanie w zewnętrznych systemach analitycznych. W celu wykorzystania pełnego potencjału opracowanej technologii, WIDMO wykorzystuje własne oprogramowanie o unikatowych właściwościach i możliwościach, opracowanych do analizy propagacji fali EM w gruncie. Dane mogą być przetwarzane w domenach rezydualnych, które WIDMO rozwija na potrzeby uzyskania dodatkowych informacji. Domena tłumienia - tzw. „*damping*", którego wynik jest proporcjonalny do tłumienia omowego przez badany ośrodek geologiczny, ma pewne podobieństwa do wysokorozdzielczej tomografii elektrooporowej. Ponadto dane z radarów SGPR są przetwarzane w domenie częstotliwościowej (Spectral Coloring) i widma mocy.

WIDMO stosuje swoje radary także do badań tomograficznych, polegających na prześwietlaniu górotworu z wykorzystaniem dwóch zsynchronizowanych urządzeń, umieszczonych po dwóch stronach badanego obiektu. Podejście to znalazło zastosowanie w badaniu tuneli z jednoczesnym pomiarem prowadzonym zarówno z powierzchni, jak i wewnątrz konstrukcji, oraz w prześwietlaniu filarów w kopalniach podziemnych, gdzie obydwa radary znajdują się w oddalonych od siebie chodnikach lub komorach. Ich wzajemna lokalizacja odbywa się z zastosowaniem precyzyjnej nawigacji inercyjnej.

Oprócz typowych zastosowań do rozpoznania warstw przypowierzchniowych w badaniu zapadlisk, osuwisk, zjawisk krasowych, warstw nadkładu w kopalniach oraz w monitorowaniu dróg, georadary spektralne znajdują zastosowanie w badaniach infrastruktury krytycznej, jak badania obwałowań i zapór.

Opracowany przez WIDMO Spectral Technologies georadar, stwarza zupełnie nowe możliwości prowadzenia badań górotworu, łącząc wysoką rozdzielczość pomiarów, wraz z zasięgiem głębokościowym niedostępnym dla klasycznych urządzeń, bazujących na sygnałach impulsowych. Pozwala to na prowadzenie badań pokrywających zasięg penetracji zarówno powszechnie stosowanych metod geoelektrycznych, jak i obszar, gdzie płytka sejsmika refleksyjna znajduje zastosowanie.

Przemysław WILK

Politechnika Śląska

Nowoczesne metody wyznaczania siatek otworów strzałowych w górnictwie odkrywkowym

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, projektowanie, nowoczesne metody, otwory strzałowe, eksploatacja surowców

Streszczenie: Współczesne górnictwo odkrywkowe coraz intensywniej wykorzystuje technologie cyfrowe służące poprawie efektywności, bezpieczeństwa oraz ekonomiki procesów eksploatacyjnych. Jednym z kluczowych elementów mających wpływ na skuteczność eksploatacji złoża są roboty strzałowe, a w szczególności prawidłowe wyznaczanie siatek otworów strzałowych. Odpowiedni dobór parametrów wpływa bezpośrednio na stopień rozdrobnienia urobku, ograniczenie nadgabarytów, zużycie materiałów wybuchowych, wydajność układów transportowych i przeróbczych, a także na poziom oddziaływania na środowisko, w tym drgań parasejsmicznych oraz rozrzutu odłamków skalnych.

Tradycyjne metody projektowania siatek otworów strzałowych opierały się głównie na pomiarach terenowych wykonywanych manualnie oraz doświadczeniu projektanta. Rozwiązania te, mimo wieloletniego stosowania, charakteryzują się ograniczoną dokładnością i znaczną czasochłonnością, szczególnie w dynamicznie zmieniających się warunkach eksploatacji odkrywkowej. Rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych (UAV) oraz zaawansowanych systemów analitycznych umożliwił jednak znaczącą automatyzację i cyfryzację procesu projektowania robót strzałowych.

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania systemu STRAYOS w procesie wyznaczania siatek otworów strzałowych w górnictwie odkrywkowym. STRAYOS jest nowoczesną platformą służącą do analizy geometrii ścian eksploatacyjnych, modelowania 3D oraz optymalizacji parametrów odstrzału. System umożliwia integrację danych pozyskanych metodami fotogrametrycznymi, co pozwala na tworzenie bardzo dokładnych modeli przestrzennych wyrobiska. Na podstawie uzyskanych danych możliwe jest projektowanie parametrów siatki otworów strzałowych z uwzględnieniem rzeczywistej geometrii przodka, warunków geologicznych oraz oczekiwanej fragmentacji urobku.

Istotnym elementem procesu są pomiary wykonywane z wykorzystaniem dronów firmy DJI, takich jak na przykład model Matrice 30. Bezzałogowe statki powietrzne wyposażone w systemy RTK umożliwiają szybkie i dokładne pozyskiwanie danych przestrzennych przy jednoczesnym ograniczeniu konieczności pracy ludzi w strefach niebezpiecznych. Uzyskane zdjęcia fotogrametryczne pozwalają ich implementację oraz na generowanie ortofotomap, chmur punktów oraz modeli 3D wykorzystywanych w programie STRAYOS.

W referacie omówiono pełny proces projektowania siatki otworów strzałowych – od wykonania nalotu UAV, przez generację modeli przestrzennych, aż po analizę i optymalizację parametrów odstrzału. Przedstawiono również korzyści wynikające z zastosowania nowoczesnych technologii, obejmujące poprawę jakości fragmentacji, redukcję kosztów wiercenia i zużycia materiałów wybuchowych, zwiększenie bezpieczeństwa pracy oraz ograniczenie oddziaływania robót strzałowych na środowisko.

Rozwój technologii cyfrowych, systemów UAV oraz narzędzi opartych na analizie danych i sztucznej inteligencji wskazuje, że przyszłość projektowania robót strzałowych będzie opierała się na pełnej integracji systemów pomiarowych, analitycznych i automatycznych. Wykorzystanie systemu STRAYOS oraz dronów DJI stanowi doskonały przykład nowoczesnego podejścia do projektowania siatek otworów strzałowych, wpisującego się w ideę inteligentnego i zautomatyzowanego górnictwa przyszłości.

Adrian WRÓBLIK, Oskar MAREK

Politechnika Śląska
Studenckie Koło Naukowe „Bezpieczna Ściana"

Jakie istotne zmiany czekają użytkowników i producentów maszyn? Przegląd nowego rozporządzenia 2023/1230/UE

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo maszyn, ocena zgodności, dokumentacja techniczna, sztuczna inteligencja, automatyzacja przemysłu

Streszczenie: Nieustanny rozwój koncepcji Przemysłu 4.0, w tym postępująca automatyzacja, cyfryzacja procesów technologicznych oraz postępy sztucznej inteligencji (AI) wymusiły konieczność zmiany przepisów z zakresu bezpieczeństwa maszyn. Dotychczasowa dyrektywa maszynowa 2006/42/WE obowiązująca w Polsce od kilkunastu lat stopniowo przestaje odpowiadać na wyzwania związane z implementacją coraz nowocześniejszych technologii. W związku z tym, od 20 stycznia 2027 roku zacznie obowiązywać nowe Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1230/UE, które ustanowi jednorodne zasady bezpieczeństwa maszyn na terenie całej Unii Europejskiej.

Jedną z głównych zmian jest wprowadzenie definicji „istotnej modyfikacji". W dotychczasowej praktyce modernizacje maszyn w polskich zakładach przemysłowych często odbywały się w tzw. „szarej strefie", bez jasnej definicji punktu, w którym użytkownik staje się de facto ich producentem. Nowe rozporządzenie precyzyjnie definiuje zmiany fizyczne i cyfrowe w użytkowanych już maszynach, które skutkują koniecznością przeprowadzenia nowej oceny zgodności, wystawienia deklaracji UE oraz sporządzenia dokumentacji technicznej.

Kolejnym kluczowym aspektem jest ścisłe powiązanie fizycznego bezpieczeństwa z cyberbezpieczeństwem. Na co dzień „cyberatak" kojarzy nam się niemal wyłącznie z wyciekiem danych, kradzieżą haseł lub atakami hakerskimi na skrzynki mailowe i serwery bankowe. W dobie rosnącej automatyzacji podatność maszyn na ingerencję zewnętrzną przestaje być wyłącznie domeną działów IT przedsiębiorstw. Nowe przepisy wprowadzają odporność na ataki do wymagań zasadniczych – w praktyce oznacza to, że jeśli np. system sterowania maszyny zostanie zhakowany i spowoduje jej niekontrolowany ruch, to jest to traktowane jako błąd konstrukcyjny w zakresie bezpieczeństwa. Systemy i oprogramowania powinny być zatem integralne oraz odporne na sterowanie w wyniku ingerencji osób trzecich.

Bezpieczeństwo maszynowe w świetle rozporządzenia 2023/1230 przestaje być postrzegane jako jednorazowy akt nadania znaku CE, a staje się ciągłym procesem zarządzania ryzykiem cyfrowym i fizycznym. Nie ogranicza się ono wyłącznie do aktualizacji wymagań formalnych, lecz wyznacza nowy kierunek odpowiedzialności za bezpieczeństwo. Zmiany te będą miały istotny wpływ zarówno na producentów, integratorów i modernizatorów maszyn, jak i przede wszystkim na samych użytkowników końcowych, którzy coraz częściej uczestniczą w procesie ich modyfikacji. Czy rzeczywiście nowe regulacje staną się impulsem do rzeczywistego zwiększenia poziomu bezpieczeństwa i higieny pracy w erze nowoczesnych technologii, czy też okażą się kolejnym wyzwaniem organizacyjnym i ekonomicznym dla przemysłu?

Zygmunt ZUSKI

Kopalnia Soli „Wieliczka" S.A.

Zabezpieczenie szybu „Kościuszko" w Kopalni Soli „Wieliczka" Cz. III. Optymalizacja tarczy szybowej szybu „Kościuszko" dla zabudowy w szybie docelowego głównego górniczego wyciągu szybowego

Słowa kluczowe: szyby, górnicze wyciągi szybowe, wentylacja, tarcza szybowa, zbrojenie szybowe

Streszczenie: W prezentacji przedstawiono wyniki optymalizacji rozmieszczenia wyposażenia szybowego w tarczy szybu „Kościuszko" w Kopalni Soli „Wieliczka". Głównym zadaniem docelowym było dostosowanie infrastruktury szybowej do równoczesnej zabudowy głównego górniczego wyciągu szybowego oraz zapewnienie możliwości ewakuacji z tego wyciągu, przy jednoczesnym zachowaniu dotychczasowej funkcji wentylacyjnej szybu o przepływie powietrza ok. 3000 m3/min. Szyb o głębokości 297,5 m posiada zróżnicowaną geometrię: przekrój beczkowy do głębokości 72,4 m oraz przekrój kołowy o średnicy Ø 4,5 m w części dolnej.

W ramach prac przeanalizowano trzy warianty rozmieszczenia naczyń wyciągowych. Na podstawie kryteriów bezpieczeństwa i funkcjonalności do dalszej realizacji zarekomendowano Wariant 2. Wybór ten podyktowany był brakiem kolizji z rurociągami oraz zapewnieniem możliwości bezpiecznego opuszczenia załogi z naczynia wyciągu głównego do przedziału ewakuacyjnego, co było niemożliwe w pozostałych wariantach.

Dla wyciągu głównego dobrano maszynę bębnową jednokońcową o mocy 400 kW, współpracującą z dwupiętrową klatką o udźwigu 20 osób lub 3660 kg materiału, poruszającą się z prędkością 4 m/s. Kluczowym elementem analizy było potwierdzenie możliwości adaptacji istniejącej wieży szybowej. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykazały, że główny ustrój nośny wieży jest zdolny do przeniesienia nowych obciążeń, pod warunkiem wykonania niezbędnych dostosowań w trzonie prowadniczym, pomoście kół linowych oraz belkach podtrzonowych.

Analiza uwzględniła rygorystyczne wymogi dotyczące odstępów ruchowych (min. 200 mm między naczyniami oraz 150 mm od obudowy) oraz potencjalną konwergencję obudowy szybowej do 100 mm. Jako rozwiązanie alternatywne dla wyciągu awaryjnego rozpatrzono zabudowę przedziału drabinowego na całej długości szybu, co uznano za wariant najbardziej ekonomiczny w długofalowej eksploatacji ze względu na brak dodatkowych kosztów w trakcie eksploatacji w przeciwieństwie do alternatywy przedziału drabinowego - wyciągu awaryjno-rewizyjnego.

Dziękujemy wszystkim Autorom, Uczestnikom, Partnerom oraz Patronom za współtworzenie konferencji MARG'26 jako przestrzeni wymiany wiedzy, doświadczeń i dobrych praktyk.

Organizatorzy

XI MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA

MARG 2026

KSIĘGA ABSTRAKTÓW

