

## Badania i eksperymenty w technologiach górniczych w kopalni „Pomorzany”

Waldemar Korzeniowski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Katedra Górnictwa Podziemnego, Wydział Górnictwa  
i Geoinżynierii, e-mail: walkor@agh.edu.pl

### **Streszczenie**

*Współpraca przemysłu i nauki w kopalni „Pomorzany” rozpoczęła się praktycznie wraz z powstaniem tej kopalni. W artykule zwrócono uwagę na wybrane zagadnienia, które pojawiały się wraz ze zmieniającą się techniką i technologią wydobycia rud cynku i ołowiu i zostały zrealizowane przy współpracy inżynierów i naukowców Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH w Krakowie, w szczególności Katedry Górnictwa Podziemnego. Koncentrując się na aspekcie badań eksperymentalnych tylko w zakresie technologii górniczych, zamieszczono przykłady rozwiązań dotyczące problematyki stateczności wyrobisk, obudowy kotwowej, monitoringu górotworu, podsadzki i wykorzystania odpadów poflotacyjnych do podsadzania wyrobisk czy też zagadnień zarządzania bezpieczeństwem pracy. Inne podejmowane tematyki jedynie zasygnalizowano. Szczególną uwagę zwrócono na wyjątkowo dobre warunki współpracy, właściwe rozumienie i wykorzystywanie wiedzy przez kadrę kierowniczą w przeszłości i aktualnie, co w rezultacie mogło skutkować interesującymi i praktycznymi rezultatami umożliwiającymi bezpieczne i efektywne wydobycie zalegających złóż rud cynku i ołowiu w obszarze górniczym kopalni „Pomorzany”.*

**Słowa kluczowe:** obudowa kotwowa, filary oporowe, podsadzka hydrauliczna, rudy Zn- Pb

## Test and experiments in mining technologies – “Pomorzany” mine

### **Abstract**

*In the paper the attention was paid on some issues, which appeared along with changing engineering and technology of zinc and lead ores mining and were solved during the cooperation of engineers and scientists from Faculty of Mining and Geoengineering – AGH in Kraków, especially from Underground Mining Department. Focusing only on the aspect of experimental surveys in the range of mining technologies, the examples of solutions concerning the workings stability, roof bolting, rock-mass monitoring, backfill and using the tailings in gobbing or the issues of work safety management, were presented. Other undertaken problems were only mentioned. Special attention was paid on exceptionally good cooperation, proper understanding and use of knowledge by management staff in the past and at present, what resulted in interesting and applicable solution enabling safe and effective mining of zinc and lead ores occurring within the area of „Pomorzany” mine.*

**Key words:** roof bolting, support pillars, hydraulic backfill, Zn-Pb ores

## 1. Kopalnia „Pomorzany” jako polowe laboratorium badawcze

Kopalnia „Pomorzany” to nie tylko podziemny zakład górniczy eksploatujący rudy cynku i ołowiu. To jest kopalnia, która od samego początku docenia rolę nauki, eksperymentu i różnych, wielokierunkowych badań związanych z rozwojem, często nowatorskich technologii górniczych. Naturalne warunki zalegania złóż nie należą tu wprawdzie do najtrudniejszych, gdyż jest to kopalnia płytka, która nie boryka się z wysokim ciśnieniem górotworu, nie występują tu nadmierne deformacje wyrobisk, a tym bardziej zagrożenie tąpniętami, ale już na przykład skomplikowany układ hydrogeologiczny narzuca konieczność rygorystycznego przestrzegania wielu zasad techniki górniczej. Również nieregularne, gniazdowe czy soczewkowe formy występowania złóż zmuszają do bieżącego korygowania i ciągłego poszukiwania obszarów o odpowiednio wysokim okruszcowaniu, uzasadniającym ekonomiczną opłacalność eksploatacji. Niejednorodna budowa górotworu i wysoka zmienność jego właściwości geomechanicznych wymaga czujności i precyzyjnej analizy bieżącej sytuacji dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy załogi, przy jednoczesnym zachowaniu efektywności ekonomicznej stosowanych technologii. Skuteczne sprostanie powyższym wymogom jest możliwe przede wszystkim dzięki dobrze wykształconej, doświadczonej, kompetentnej i odpowiedzialnej kadrze inżynierskiej i zarządzającej, która od pierwszych chwil funkcjonowania kopalni „Pomorzany” konsekwentnie realizuje zaprojektowaną technologię oraz wciela w życie i rozwija najnowocześniejsze idee i pomysły, współpracując również z szeroko rozumianym środowiskiem naukowym.

Analiza tematyki i różnorodności dotychczasowych badań, tylko w zakresie technologii górniczej, zrealizowanej w przeszłości i kontynuowanej również dzisiaj, świadczy o tym, że w kopalni „Pomorzany” wciąż poszukuje się najlepszych rozwiązań, nie tylko na bazie własnych doświadczeń, ale również korzystając z osiągnięć i dorobku środowiska naukowego. Dzięki bardzo dobrej współpracy z ZGH „Bolesław”, w tym oczywiście z kopalnią „Pomorzany”, między innymi w Katedrze Górnictwa Podziemnego AGH, zrealizowano wiele ważnych i potrzebnych projektów dla przemysłu górniczego i metali kolorowych. Często były to rozwiązania oryginalne, wręcz pionierskie. W ogólności dotyczyły one przede wszystkim następującej tematyki:

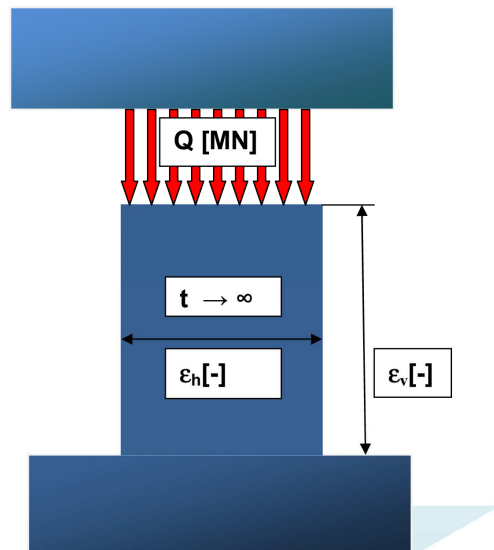
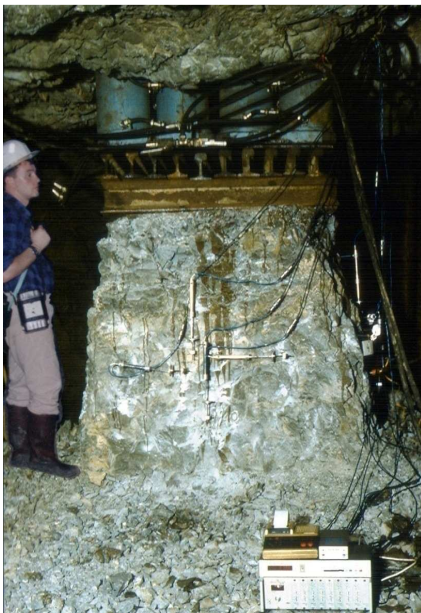
- modyfikacji systemów eksploatacji oraz szacowanie strat i zubożenia,
- współpracy różnych typów obudowy kotwowej z górotworem,
- oceny i ograniczenia wpływów eksploatacji na powierzchnię terenu przy różnych sposobach likwidacji zrobów,
- projektowania eksploatacji w filarach ochronnych,
- wykorzystania odpadów w podsadźce hydraulicznej,
- opracowania zasad likwidacji kopalni,
- badania właściwości skał i opracowania klasyfikacji skał stropowych,
- opracowania zasad doboru obudowy kotwowej,
- analizy efektywności eksploatacji,
- projektów koncepcyjnych zagospodarowania nowych złóż rud.

W dalszej części artykułu wybrano tylko niektóre przykłady, świadczące o traktowaniu badań naukowych przez kadrę inżynierską ZGH „Bolesław” i kopalni „Pomorzany” jako nieodłącznego elementu nowoczesnej technologii górniczej. Z punktu widzenia nauki można powiedzieć, że kopalnia „Pomorzany” jest swego rodzaju labo-

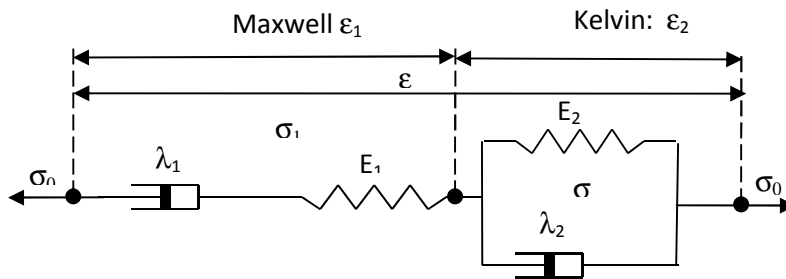
ratorium polowym, gdzie z jednej strony można weryfikować rozwiązania teoretyczne na „żywym organizmie”, jednocześnie usprawniając bieżąco realizowaną technologię lub zwiększając bezpieczeństwo pracy.

## 2. Badanie właściwości odkształceniowych i wytrzymałościowych makropróbek

Skomplikowana i niejednorodna natura górotworu powoduje, że właściwości geomechaniczne próbek skał, wyznaczone w warunkach laboratoryjnych, odbiegają znacznie od właściwości masywu zbudowanego z takich samych skał. Mając z jednej strony na uwadze powyższy fakt i z drugiej konieczność stosowania filarów oporowych w systemach eksploatacji złóż rud cynku i ołowiu, w kopalni „Pomorzany” (oraz w kopalni „Olkusz” [7]) podjęto interesujący i unikalny cykl badań, dotyczący określenia właściwości wytrzymałościowych próbek masywu skalnego [1, 4, 6]. Makropróbki masywu skalnego wykonano dzięki precyzyjnemu wydrążeniu specjalnych niewielkich wyrobisk. Każda próbka miała kształt sześcianu o wymiarach  $1,3 \times 1,3 \times 1,3$  m i była w naturalny sposób połączona ze spągiem, natomiast w przystropowej części filar był odcięty od masywu w taki sposób, aby możliwe było wprowadzenie elementów hydraulicznego układu obciążenia (rys. 1). Przeprowadzono badania wytrzymałości na ściskanie oraz testy pełzania przy zadawanych obciążeniach o stałych wartościach, utrzymywanych przez okres od dwóch do trzech miesięcy. Po kilku cyklach pomiarowych otrzymano charakterystyki opisane równaniem 1, pozwalające na określenie parametrów przyjętego modelu reologicznego Burgersa (rys. 2) i odpowiednich ich wartości liczbowych (tab. 1).



Rys. 1. Badania właściwości reologicznych skał *in situ* na makropróbkach, kopalni „Pomorzany” [4]  
( $Q$  – obciążenie filara [MN];  $\varepsilon_h, \varepsilon_v$  – odkształcenie właściwe poziome i pionowe [-];  $t$  – czas trwania obciążenia [godz.]



Rys. 2. Reologiczny model Burgersa

Krzywa pełzania opisana jest równaniem:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{\sigma_0}{\lambda_1} t + \frac{\sigma_0}{E_2} \left( 1 - e^{-\frac{E_2 t}{\lambda_2}} \right) \quad (1)$$

gdzie:

$\sigma_0$  – wartość naprężenia stałego, przy którym zrealizowano test pełzania, [MPa],  
 $\varepsilon_0$  – początkowe, natychmiastowe odkształcenie właściwe pionowe, [-],  
 $t$  – czas, [godz.].

Opis oznaczeń oraz wartości parametrów wyznaczonych eksperymentalnie zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry modelu reologicznego Burgersa

Moduł sprężystości natychmiastowej	$E_1$	MPa	767
Moduł sprężystości opóźnionej	$E_2$	MPa	2013
Moduł Younga dolomitu (wg badań laboratoryjnych)	$E$	MPa	11 000
Współczynnik lepkości elementu Maxwella	$\lambda_1$	MPa·h	1 205 400
Współczynnik lepkości elementu Kelvina	$\lambda_2$	MPa·h	26 534

Powyższe dane umożliwiają dokładniejszą analizę stanu zachowania się górotworu na podstawie parametrów masywu skalnego z uwzględnieniem czynnika czasu. W tabeli dodatkowo podano wartość modułu Younga, określonego w warunkach laboratoryjnych.

### 3. Metoda doboru obudowy kotwowej w kopalni „Pomorzany” na podstawie współczynnika osłabienia górotworu „c”

Podstawową obudową wyrobisk podziemnych w kopalni „Pomorzany” jest obudowa kotwowa. W początkowym okresie stosowano różne metody projektowania, znane w geomechanice i budownictwie podziemnym. Z upływem czasu, na podstawie analizy dotychczasowych doświadczeń opracowano empiryczną metodę doboru obudowy dla kopalń wydobywających rudy cynku i ołowiu, opierającą się na specyficznych, lokalnych właściwościach górotworu.

Do klasyfikacji jakości górotworu istotnym parametrem jest ocena intensywności spękań według określonych klas. Metodyka podziału na poszczególne klasy wraz z kryteriami granicznymi poszczególnych wartości przedstawiona jest w tabeli 2.

Tabela 2. Klasy intensywności spękań [6]

Klasa spękań $K_{soi}$	Opis makroskopowy rdzenia	Uzysk rdzenia, [%]	Długości odcinków rdzeni, [m]
1	Niespękany	>90	>0,30
2	Mało spękany	80-90	0,10-0,30
3	Średnio spękany	60-80	<0,10
4	Silnie spękany	<60	Okruchy i kawałki

O zaliczeniu skał do odpowiedniej klasy spękań decyduje najmniej korzystny parametr. Średnią wartość klasy intensywności spękań, na podstawie danego otworu badawczego, określa się jako średnią ważoną poszczególnych warstw, z uwzględnieniem ich miąższości. Wartość klasy spękań dla badanego obszaru określa się jako średnią arytmetyczną ze średnich wielkości oznaczonych dla otworów badawczych, z dokładnością do 0,1 według wzoru:

$$K_{so_i} = \frac{\sum_{j=1}^n K_{sw_j} \cdot mw_j}{\sum_{j=1}^n mw_j} \quad (2)$$

gdzie:

$K_{so_i}$  – średnia ważona wartość klasy spękań stwierdzona w otworze nr „i”, [-],

$K_{sw_j}$  – klasa spękań warstwy skał „j”, [-],  $1 \leq K_{sw_j} \leq 4$ ,

$mw_j$  – miąższość warstwy „j” o określonej klasie spękań, [m],

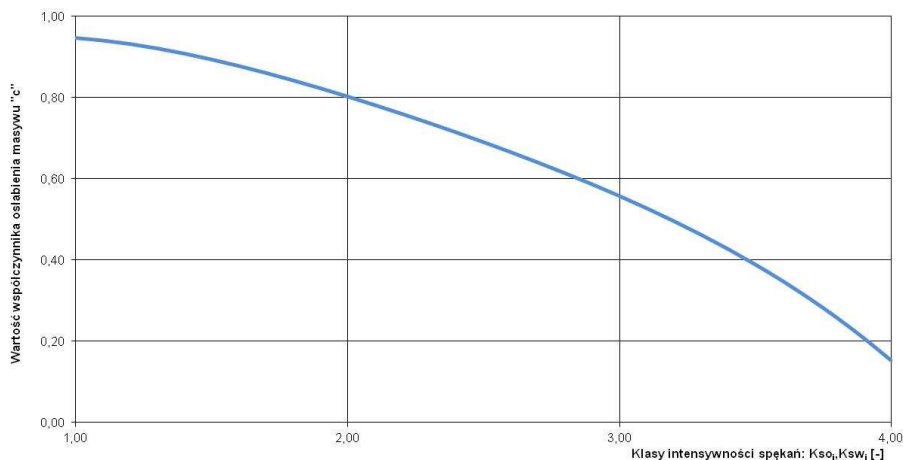
$n$  – liczba warstw, dla których określono klasy spękań.

Uwzględniając powyżej przedstawione kryteria i metodykę, dokonuje się szczegółowej analizy wszystkich rdzeni wiertniczych.

Określone klasy spękań dla poszczególnych otworów (średnioważone z poszczególnych warstw) stanowią podstawę do wyznaczenia współczynnika osłabienia masywu „c” (tab. 3), według zależności podanej w nomogramie na rys. 3.

Tabela 3. Klasyfikacja stropów w kopalniach rud cynku i ołowiu [8]

Klasa stropu	Współczynnik osłabienia masywu "c"	Rc [MPa]
I	$c > 0,90$	$Rc > 70$
II	$0,70 < c \leq 0,90$	$50 < Rc \leq 70$
III	$0,55 < c \leq 0,70$	$30 < Rc \leq 50$
IV	$0,40 < c \leq 0,55$	$20 < Rc \leq 30$
V	$c \leq 0,40$	$Rc \leq 20$



Rys. 3. Empiryczna zależność klasy spękań i współczynnika osłabienia masywu „c” w olkuskich kopalniach rud cynku i ołowiu [6]

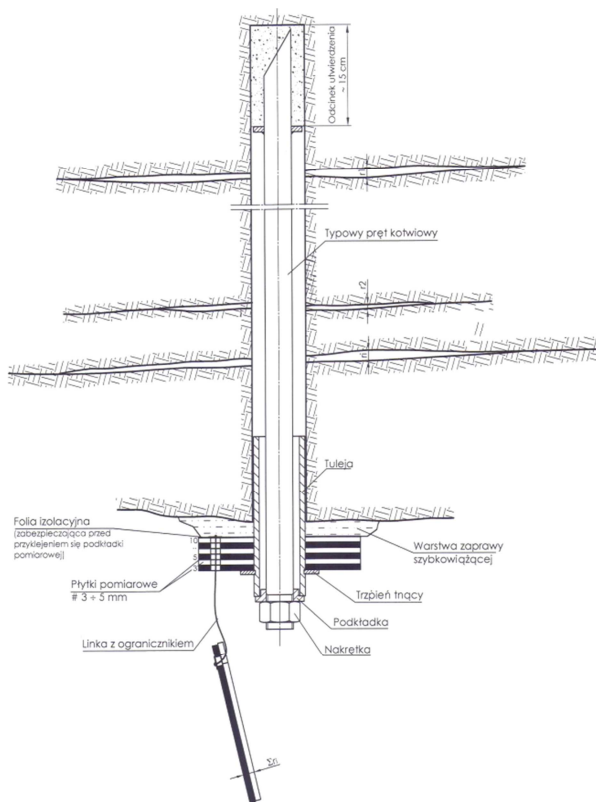
Na podstawie powyższej metodyki określone są klasy stropów, dla których przypisano konkretne parametry możliwej do zastosowania obudowy kotwowej (długości, rozstaw w rzędach i szeregach, warunki dodatkowych zabezpieczeń i inne parametry). Metodyka ta jest stosowana do dzisiaj.

#### 4. Monitoring nieciągłości górotworu

Pomimo relatywnie bezpiecznych warunków pracy górników, które są zapewnione poprzez zastosowanie odpowiedniej technologii eksploatacji złoża oraz olbrzymiego doświadczenia kadry inżynierskiej i górników, w szczególności w zakresie stosowania obudowy kotwowej (dotychczas w kopalniach zabudowano wiele milionów sztuk kotwi), we współczesnej, nowoczesnej kopalni powinno się zwracać uwagę również na problem bardziej szczegółowego i precyzyjnego obserwowania zachowania się górotworu.

Wychodząc naprzeciw takiemu zapotrzebowaniu, w celu umożliwienia kontrolowania rozwoju strefy odprężonej wokół wyrobiska podziemnego, dla potrzeb kopalni „Pomorzany” opracowano i zastosowano w praktyce metodę wczesnego ostrzegania o nadmiernych przemieszczeniach zachodzących w stropie wyrobiska, a nawet o potencjalnym zagrożeniu obwałem skał stropowych.

Zastosowane rozwiązanie i zasadę działania sygnalizatora rozwarstwień lub rozwoju szczelin w stropie pokazano na rys. 4. Suma grubości płytek pomiarowych, które opadły z trzpienia, odpowiada w przybliżeniu sumie rozwarstwień/rozwarcia szczelin zaistniałych w stropie wyrobiska. Grubość pojedynczej odpadającej płytki jest najmniejszą wartością sygnalizowaną jako rozwarstwienie/przyrost rozwarcia szczelin. Obserwator ma za zadanie obserwowanie odpadających płytek, które świadczą o narastających nieciągłościach w stropie. Ważną zaletą takiego pomiaru jest brak konieczności używania jakichkolwiek przyrządów pomiarowych oraz łatwa możliwość zauważenia zmiany przez każdego obserwatora. W pierwszym etapie doświadczeń można dokonywać bardziej precyzyjnych pomiarów, w celu ustalenia kryteriów granicznych przemieszczeń.



Rys. 4. Przyrząd do pomiaru nieciągłości górotworu [5]

## 5. Wykorzystanie odpadów poflotacyjnych do podsadzania wyrobisk

Eksploatacja złóż kopalin zalegających płytko pod powierzchnią ziemi metodą podziemną (tak jak w przypadku kopalni „Pomorzany”) wymaga szczególnej dbałości o wypełnianie pustek poeksploatacyjnych, dla uniknięcia lub zminimalizowania powstawania deformacji terenu. Jednocześnie jedną z charakterystycznych cech górnictwa rudnego jest powstawanie olbrzymiej ilości odpadów, wynikającej z niskiej (kilkuprocentowej) zawartości składnika użytecznego w rudzie, które to odpady składowane są zwykle na powierzchni.

Na podstawie wieloletnich badań laboratoryjnych właściwości piasków podsadzkowych i odpadów poflotacyjnych opracowano technologię wykorzystania odpadów poflotacyjnych również w kopalniach rud cynku i ołowiu [9]. Ponadto zoptymalizowany został skład mieszanin podsadzkowych, co umożliwiło bezpieczne wykorzystanie odpadów przy jednoczesnym zapewnieniu wymogów ochrony powierzchni. Mieszanki odpadu i piasku sporządzane w kopalni „Pomorzany” mają zróżnicowane parametry. Na podstawie badań stwierdzono, że poszczególne klasy podsadzki mogą zawierać co najwyżej następujące zawartości (objętościowo) odpadów w mieszaninie:

- I klasa: tylko piasek,
- II klasa: maksymalnie: 25% odpadu,
- III klasa: maksymalnie: 40% odpadu,

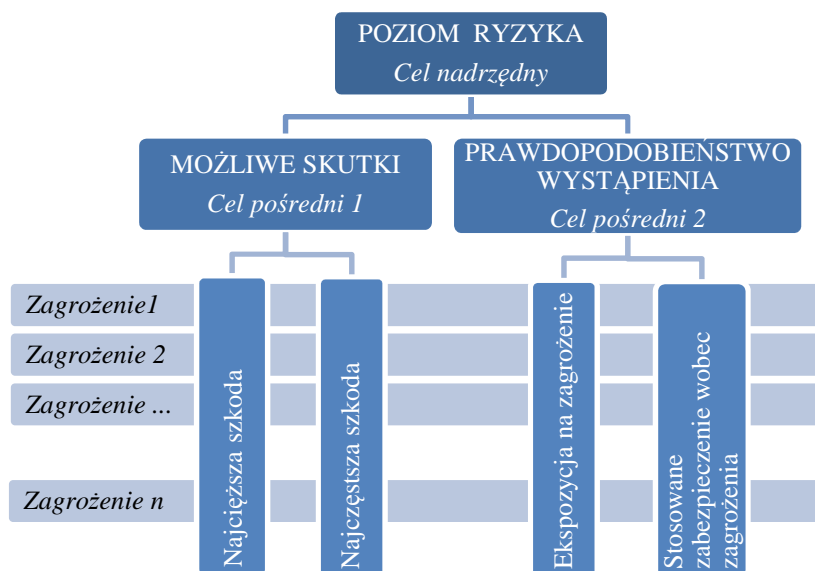
co umożliwia bezpieczne prowadzenie eksploatacji i jednoczesne zmniejszenie ilości odpadów deponowanych na powierzchni.

## 6. Metoda oceny ryzyka na stanowisku pracy dla kopalni „Pomorzany”

Eksploatacja złóż w kopalni „Pomorzany” jest relatywnie bezpieczna, tym niemniej problematyka zarządzania bezpieczeństwem pracy znajduje właściwe odzwierciedlenie w działalności zakładu. Stosowane są tu różne metody analizy stanu bezpieczeństwa. Analizując bardziej szczegółowo tę problematykę i dostępną dokumentację, przy współpracy z ZGH „Bolesław” podjęto próbę zastosowania nieco innego nowoczesnego podejścia do tego zagadnienia, wykorzystując metodę hierarchizowania występujących zagrożeń.

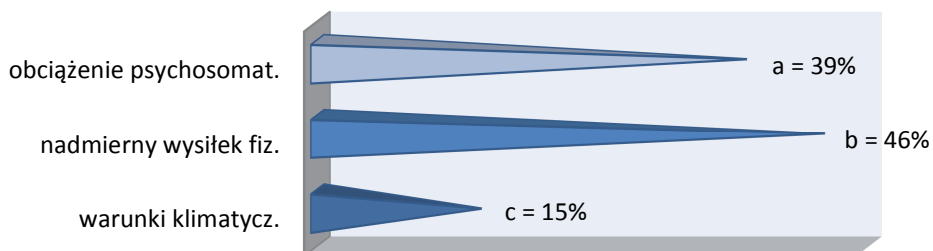
Struktura hierarchiczna (rys. 5) do ustalenia wpływu poszczególnych zagrożeń na poziom ryzyka zawodowego na stanowisku pracy zawiera dwa nadrzędne kryteria w postaci: prawdopodobieństwa zajścia niebezpiecznego wydarzenia i wielkości powodowanych przez to zdarzenie skutków negatywnych, czyli strat. Każde z tych kryteriów rozwija się za pomocą dwóch subkryteriów: czynników o najcięższej i najczęstszej szkodzie oraz ekspozycji na zagrożenie i profilaktyki stosowanej, w celu zmniejszenia wpływu zagrożenia na zdrowie i życie pracownika. Dane oparte są na informacjach, wynikających z charakterystyki danego stanowiska pracy w kopalni „Pomorzany”.





Rys. 5. Schemat struktury hierarchicznej [2, 3]

Przykładową analizę przeprowadzono dla stanowiska operatora samojedznych maszyn wiercząco-kotwiących. Opracowany oryginalny autorski algorytm wykorzystujący struktury hierarchiczne, tworzone za pomocą techniki AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ułatwia analizę wielokryterialną oraz głębsze zrozumienie złożonych zagadnień, a także pozwala na efektywne wykorzystanie otrzymanych wyników w praktyce technologii górniczych do ilościowej oceny zagrożeń na stanowisku pracy.



Rys. 6. Współczynniki hierarchii zagrożeń o charakterze uciążliwości ergonomicznej, występujących podczas pracy operatora samojedznych maszyn wiercząco-kotwiących

Współczynniki hierarchii zagrożeń o charakterze uciążliwości ergonomicznej, zilustrowane na rys. 6 i zidentyfikowane na stanowisku pracy operatora samojedznych maszyn wiercząco-kotwiących, wskazują, że:

- najistotniejszym zagrożeniem na tym stanowisku jest „nadmierny wysiłek fizyczny”, otrzymując wskaźnik 46%,

- drugim w kolejności istotnym zagrożeniem, ze wskaźnikiem 39%, jest „obciążenie psychosomatyczne”,
- najniższy wskaźnik ryzyka zawodowego równy 15% przypisano „nieodpowiednim warunkom klimatycznym”.

Metodyka oparta na opracowanym algorytmie oceny zagrożenia na górniczym stanowisku pracy, przedstawiona na konkretnym przykładzie, ma następujące zalety praktyczne:

- możliwość efektywnej, ilościowej oceny kształtowania się i różnicowania poszczególnych szkód na zdrowiu, jakim może ulec pracownik podczas pracy,
- ułatwienie w zakresie procedur zarządzania bezpieczeństwem pracy,
- ułatwienie wyszukiwania stanowisk najbardziej zagrożonych, w celu obniżenia ryzyka zawodowego,
- pomoc i przydatność dla osób szkolących i kierujących pracownikami przy informowaniu pracowników o ryzyku zawodowym.

Zakres zastosowania metody AHP może być oczywiście rozszerzony na wszystkie inne stanowiska pracy, co zapewne przyczyniłoby się do jeszcze lepszego zarządzania bezpieczeństwem pracy w ZGH „Bolesław”.

### Podsumowanie

Obecnie Unia Europejska podejmuje intensywne wysiłki w zakresie zapewnienia wystarczalności surowców mineralnych dla Europy. Powstaje szereg inicjatyw (*Raw Materials Initiative, Knowledge and Innovation Community in Raw Materials i inne*), mających na celu między innymi uaktywnienie tej, zdaje się nieco zapomnianej i w pewnym sensie zaniedbanej w ostatnich dziesięcioleciach, aczkolwiek bardzo ważnej, gałęzi gospodarki, jaką jest przemysł wydobywczy. Szczególną uwagę zwraca się na wykorzystanie osiągnięć naukowych w gospodarce, na innowacyjność i współpracę nauki z przedsiębiorcami, w celu lepszego wykorzystania wiedzy oraz na praktyczny aspekt edukacji inżynierskiej.

Omówione pokrótce przykłady świadczą o tym, że w kopalni „Pomorzany”, należącej do ZGH „Bolesław”, zawsze starano się rozwiązywać problemy technologiczne na bazie tego, o co dopiero dzisiaj apelują przedstawiciele UE, a mianowicie w wyniku prowadzonych eksperymentów naukowo-badawczych i korzystania z ekspertyz naukowych. Kopalnię „Pomorzany”, niezależnie od jej podstawowej działalności, można uważać za swego rodzaju laboratorium polowe, które od samego początku służyło zarówno nauce, jak i praktyce górniczej. Również wieloletnia, systematyczna i ciągła współpraca w zakresie edukacji umożliwiała i nadal umożliwia doskonalenie studentów wydziałów pionu górniczego AGH (i innych uczelni), korzystających z doświadczenia inżynierów ZGH „Bolesław” i kopalni „Pomorzany”. Tego typu współdziałanie jest pozytywnym i godnym naśladowania przykładem wzbogacania oferty edukacyjnej przyszłych inżynierów górników.

Nieuchronnie zbliżający się kres działalności tej niewątpliwie zasłużonej kopalni rud cynku i ołowiu, eksploatującej dzisiaj pozostałą, niewielką część złoża, zmusza do refleksji na temat przyszłości górnictwa rud metali nieżelaznych w Polsce, szczególnie wobec nowych, europejskich wyzwań XXI wieku i rosnącego zapotrzebowania na różne surowce mineralne.

Wydaje się oczywiście, że naturalnym wykorzystaniem doświadczenia kadry technicznej i inżynierskiej, obecnego potencjału intelektualnego zaangażowanego w technologiach górniczych, dostępu do młodych dobrze wyedukowanych absol-

wentów (co nie jest oczywiste w innych krajach europejskich) byłoby uruchomienie eksploatacji nowych, już częściowo rozpoznanych złóż rud cynku i ołowiu, jak również innych pierwiastków towarzyszących.

## **Bibliografia**

- [1] Dydecki M., Korzeniowski W., 1985, Wzrost podporności filarów wskutek otoczenia ich podsadzką. *Rudy i Metale Nieżelazne*, nr 8.
- [2] Korzeniowski W., Nowak-Senderowska D., 2014, Algorytm oceny zagrożeń zawodowych na górniczym stanowisku pracy. *Rudy i Metale Nieżelazne*, nr 10.
- [3] Korzeniowski W., Nowak-Senderowska D., 2012, Możliwości wykorzystania metody AHP do określania wpływu poszczególnych zagrożeń na poziom ryzyka na stanowisku pracy. *Przegląd Górniczy* nr 12, t. 68.
- [4] Korzeniowski W., 1987, Wpływ długotrwałego obciążenia na zachowanie się filarów. Praca doktorska AGH.
- [5] Korzeniowski W., 1987, Urządzenie do pomiaru rozwarstwienia stropu. Patent nr 137 350.
- [6] Piechota S., 1988, Technika podziemnej eksploatacji rud. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- [7] Piechota S., 1982, Wytrzymałość filarów międzykomorowych w świetle badań próbek masywu w kopalniach rejonu olkuskiego. *Zeszyty naukowe AGH. Górnictwo*.
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (znowelizowane w 2006 r.). *Załącznik nr 3*.
- [9] Sposób utylizacji odpadów z procesów poflotacyjnych, Patent nr 301324. Urząd Patentowy RP, 1996.

