

W kierunku większych możliwości oceny zagrożenia sejsmicznego – systemy Hestia i Hestia Mapa

W artykule przedstawiono opracowane w Centrum EMAG systemy komputerowe Hestia i Hestia Mapa, których zadaniem jest wspomaganie pracowników stacji geofizycznych w kopalniach węgla kamiennego. Głównym zadaniem systemów jest gromadzenie i wizualizacja danych pochodzących z systemów monitorujących aktywność sejsmiczną wyrobiska. Na podstawie gromadzonych danych systemy generują ocenę zagrożenia tąpnięciami metodami szczegółowymi (sejsmologiczną, sejsmoakustyczną, wierceń małośrednicowych) i metodą kompleksową, a także umożliwiają wizualizację zarejestrowanej sejsmiczności w kopalniach na mapach pokładowych. Oba systemy posiadają bogaty zestaw funkcji raportujących. W artykule przedstawiono również najnowsze prace związane z rozwojem systemów Hestia i Hestia Mapa.

1. SYSTEM HESTIA – STAN OBECNY

Jednym z głównych zadań stacji geofizycznych w kopalniach węgla kamiennego jest ustalanie stopnia zagrożenia tąpnięciem w czynnych wyrobiskach górniczych. W celu określenia tego stopnia stosowane są, w zależności od kopalni, różnego rodzaju szczegółowe metody oceny zagrożenia (zazwyczaj są to metody: sejsmoakustyczna, sejsmologii, wierceń małośrednicowych).

Na bazie metod szczegółowych wykonuje się ocenę końcową (kompleksową), która uwzględnia oceny uzyskane przez każdą z poszczególnych metod szczegółowych oraz warunki geologiczne panujące w danym wyrobisku.

Opis wykonania ocen metodami szczegółowymi oraz metodą kompleksową wydany został jako instrukcja postępowania przez Główny Instytut Górnictwa [10].

Dokonanie oceny każdą z wymienionych metod wiąże się z koniecznością wykonania dużej liczby czynności związanych m.in. z interpretacją warto-

ści pomiarowych uzyskanych przez urządzenia rejestrujące emisję sejsmiczną w obszarze czynnych wyrobisk.

Efektom automatyzacji prac wykonywanych przez pracowników stacji geofizycznych jest opracowany w centrum EMAG system Hestia [5]. Hestia do przechowywania informacji wykorzystuje relacyjną bazę danych [8] (w starszych wersjach programu jest to baza MS Access, w najnowszej SQL Server). W bazie tej struktura kopalni odzwierciedlona jest w trzech tablicach: pokład, rejon, wyrobisko (rozumiane jako ściana lub chodnik). Dla każdego wyrobiska wprowadzane są informacje o: stanie zagrożenia wynikającym z oceny rozeznania górniczego, wysokości wyrobiska, typie wyrobiska, sposobie prowadzenia stropu.

W najnowszej wersji programu wprowadzono funkcję umożliwiającą wykonanie oceny metodą rozeznania górniczego. Użytkownik wprowadza wartości punktowe dla 19 czynników mających wpływ na sumaryczną liczbę punktów zagrożenia. Liczba uzyskanych punktów przekształcana jest następnie w jeden ze zdefiniowanych poziomów zagrożenia [10].

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q		R		S		T		U		V		W		X		Y		Z		AA		AB		AC		AD		AE	
DZIAŁ TAPAN																																																													
Stacja Geofizyki Górniczej																						Kopalnia Węgla Kamiennego "Sośnica"																																							
ARKUSZ STANU ZAGROŻENIA TAPANIAM I ŚRODKÓW PROFILAKTYCZNYCH																																																													
Wyniki pomiarów i obserwacji wykonanych dn. 2003-06-24																						Ocena stanu zagrożenia i profilaktyka na dzień 2003-06-25 zm. "A"																																							
Odmiar Hestia wyrobiska	Prostokąt stwierca stwierca	Wiercenia małosłownikowe										Sejsmologia										Sejsmoinżynieria										USTALENIA																													
		Sm	Stwierca	Wiercenie wiertnicze		Moc dźwięku lub przesłuchanie		Dźwięki		Ilość wstrząsów o energii rzędu					Σ K	Σ E	Odczytanie składowe		Wzrost	Sprężenie	Składowe	Składowe	Składowe	Składowe	Wyliczenie wartości																																				
		Par	1,5M	3,4M	m	L/mb																																																							
13	da7	A																																																											
14		B																																																											
15	405/2VC9a	C																																																											
16	sc9	A																																																											
17		B																																																											
18	405/2VC9a	C																																																											
19	diag b 2	A																																																											
20	510/2VD7	B																																																											
21	F	C																																																											
22	dbb2a	A																																																											
23		B																																																											
24	510/2VD7	C																																																											
25	dbb2	A																																																											
26		B																																																											
27	504/VD5a	C																																																											
28	Ilość czepnych sejsmometrów - 2																																																												
29	Ilość czepnych geofonów - 4																																																												
30	Ilość najmniejszych wstrząsów																																																												
31	w dniu 2003-06-24 4																																																												
32	oraz od początku m-c 62																																																												
33	roku 164																																																												

Rys. 1. Widok dziennego raportu zbiorczego o stopniu zagrożenia tapaniami

Ocena wynikająca z metody rozeznania górniczego może być wykonywana dla każdego wyrobiska kilka razy (jeśli np. zmienia się warunki eksploatacji), stare wyniki ocen archiwizowane są w bazie danych. Wynik aktualnej oceny wynikającej z metody rozeznania górniczego zapisywany jest w bazie danych systemu. W bazie danych systemu przechowywane są również informacje wprowadzane przez użytkownika w sposób manualny; są nimi postępy chodników i ścian oraz informacje o wykonanych wierceniach. Poza tym, do bazy danych systemu Hestia przekazywane są informacje z programów ARES OcenaWin, ARAMIS Win oraz programu Multilok, którego producentem jest Główny Instytut Górnictwa. Informacjami tymi są dane o: odchyłkach zmianowych energii i aktywności sejsmoakustycznej, ocenie zagrożenia wynikającej z oceny sejsmoakustycznej (wykonywanej dla każdego wyrobiska po każdej zmianie), współrzędnych epicentrum zjawiska sejsmicznego, energii i czasie wystąpienia zjawiska sejsmicznego.

Powyższy zestaw informacji pozwala na wykonywanie ocen metodami szczegółowymi oraz na zadawanie zaawansowanych zapytań do bazy danych celem uzyskania różnego rodzaju zestawień.

System Hestia umożliwia oczywiście edycję wprowadzonych danych. Możliwe jest także wyszukiwanie interesujących użytkownika informacji (np. wstrząsów) oraz eksport i import danych do bazy archiwalnej oraz do innych formatów danych (m.in. xls, txt, dbf). System Hestia umożliwia również import starych, archiwalnych wstrząsów, które archiwizowane były w popularnym przed rokiem 2000 programie Avia.

1.1. Funkcje oceny i raportowania

Dla każdego wyrobiska możliwe jest wykonanie ocen szczegółowych i złożonych. System umożliwia wykonywanie ocen po każdej zakończonej zmianie. W czasie wykonywania oceny rozpatrywane są informacje (rejestracje, wykonane wiercenia) za okres trzech zmian wstecz w stosunku do zmiany, której ocena dotyczy.

Wyniki oceny prezentowane są na tzw. arkuszu dziennym (lub zmianowym – Rys. 1), który każda stacja geofizyczna zobowiązana jest opracowywać co najmniej raz dziennie.

Każdy raport tworzony jest jako plik w formacie MS Excel (pakiet MS Office lub Open Office), który składowany jest w katalogu archiwalnym. Takie rozwiązanie umożliwia w prosty sposób edytowanie raportu i umieszczenie w nim nowych informacji wynikających np. z bieżących potrzeb stacji geofizycznej.

Poza raportem zbiorczym Hestia umożliwia generowanie zestawień o: zarejestrowanych zjawiskach sejsmicznych, liczbie wstrząsów w zakresach energii (od 10^2 J do 10^7 J) oraz sumarycznej energii wstrząsów. W najnowszej wersji systemu Hestia użytkownik posiada możliwość skomponowania raportu według swoich osobistych (lub wynikających z przepisów obowiązujących w danej kopalni) preferencji. W oknach konfiguracyjnych raportów istnieje możliwość zdefiniowania ograniczeń na informacje znajdujące się w raporcie. Można definiować następujące ograniczenia: nazwy wyrobisk, które mają być brane pod uwagę; okres, którego dotyczyć ma raport; zakresy energii, które mają być brane pod uwagę; typy wstrząsów, które mają być brane pod uwagę itd.

KWK
Raport zbiorczy energii zjawisk za okres: 2000-11-10 00:00:01 2003-08-11 23:59:59

Wyrobytko	Rejon	Pokład	E*2	E*3	E*4	E*5	E*6	E*7	E*8	E*9	Suma	Suma Energ
oh7	C9z	405/2	0	5	0	0	0	0	0	0	5	1,5E+4
oh8s	C9z	405/2	1	3	0	0	0	0	0	0	4	9,9E+3
so10	C9z	405/2	0	8	4	0	0	0	0	0	12	1,7E+5
so9	C9z	405/2	4	47	8	3	0	0	0	0	62	1,2E+6
zrob1y	B7z	405/2	0	5	10	0	0	0	0	0	15	2,0E+5
zrob1y	B7	405/2	0	2	5	0	0	0	0	0	7	7,9E+4
zrob1y	D7w	405/2	0	2	1	0	0	0	0	0	3	1,5E+4
oh9	C9z	405/2	0	3	0	0	0	0	0	0	3	1,7E+4
p.od.p	C9z	405/2	0	3	0	0	0	0	0	0	3	6,0E+3
zrob1y	C8z	404/5	1	5	0	0	0	0	0	0	6	1,2E+4
zrob1y	D7z	405/2	0	19	12	2	0	0	0	0	33	9,7E+5
zrob1y	C9w	405/1	0	2	0	0	0	0	0	0	2	7,0E+3
zrob1y	C7w	405/2	0	3	5	0	0	0	0	0	8	1,1E+5
zrob1y	D5w	405/2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1,0E+3
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0E+0
Podsumowanie:			6	108	45	5	0	0	0	0	164	2,8E+6

Data wydruku: 2003-08-11 11:23:56 Strona 1

Rys. 2. Wyniki raportu o energiach sumarycznych wstrząsów

Wyniki raportu prezentowane są w postaci graficznej na ekranie komputera (Rys. 2); możliwe jest oczywiście wydrukowanie raportu.

1.2. Metoda sejsmoakustyczna

W przypadku metody sejsmoakustycznej system Hestia wykorzystuje oceny wykonane przez program ARES OcenaWin. Zadaniem systemu Hestia jest wybranie maksymalnego stopnia zagrożenia wynikającego z metody sejsmoakustycznej spośród ocen przekazanych przez ARES Ocena Win, a dotyczących dnia, dla którego wykonywana jest ocena sumaryczna i kompleksowa.

1.3. Ilościowa metoda sejsmologii

Ocena stopnia zagrożenia tąpnięciami ilościową metodą sejsmologii wykonywana jest w systemie Hestia zgodnie z najnowszym algorytmem proponowanym przez GIG [10]. Na ocenę mają wpływ cztery obliczane w czasie wykonywania oceny wartości:

- liczba i energia wstrząsów, które wystąpiły w badanym okresie,
- sumaryczna energia wstrząsów, które wystąpiły w czasie odpowiadającym pięciometrowemu postępowi ściany ($\sum E/5m$),
- klasyfikacja występujących wstrząsów (np. wstrząs, odprężenie, tąpnięcie – a więc określenie skutków zarejestrowanego zjawiska).

Program stara się określić stopień zagrożenia według każdego z tych kryteriów. Jeśli ocena według któregoś z wymienionych kryteriów nie jest możliwa (np. nie wpisano postępu lub nie klasyfikowano wstrząsów), to użytkownik informowany jest o powyższym fakcie.

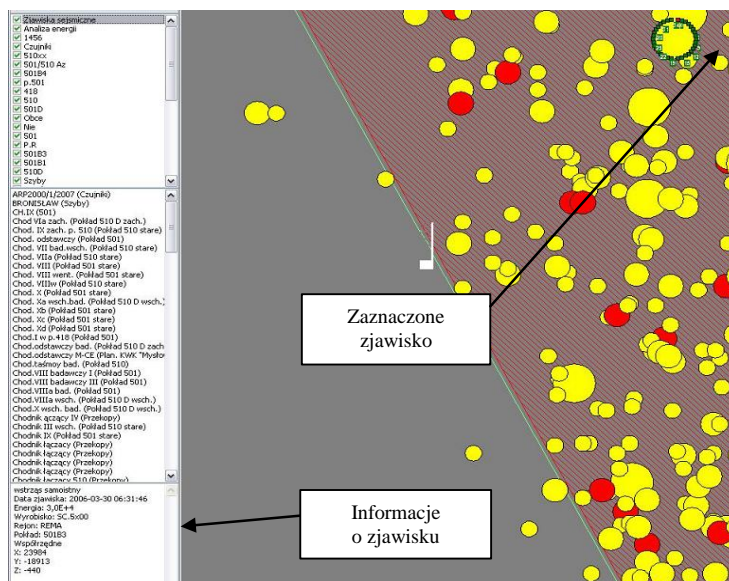
1.4. Metoda wierceń małośrednicowych

Ocena stanu zagrożenia tąpnięciami wykonana metodą wierceń małośrednicowych dotyczy tego fragmentu wyrobiska, w obrębie którego wykonywano otwory sondażowe. Zgodnie z algorytmem tej metody na wynik mają wpływ następujące informacje: wysokość wyrobiska, długość otworów sondażowych, objętości zwiercin z ostatniego metra wiercenia, przebieg wiercenia (stuki, trzaski, zakleszczanie, granulacja zwiercin).

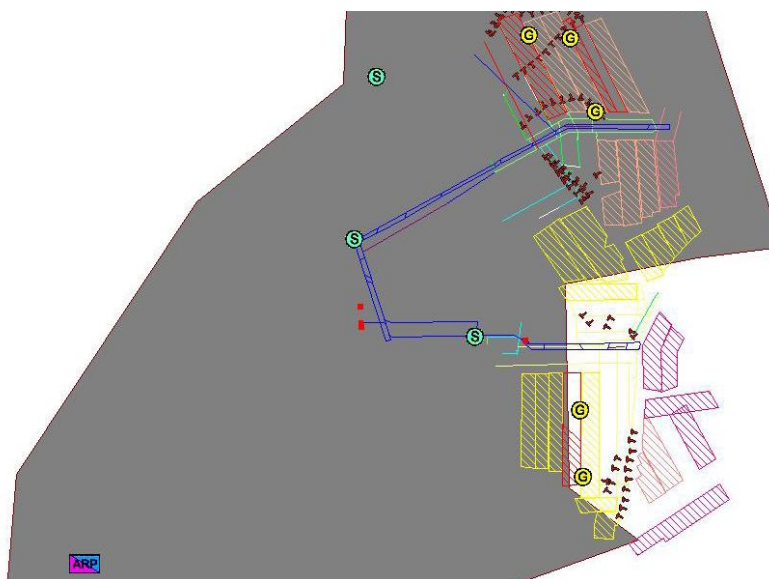
1.5. Metoda złożona

Do oceny złożonej zaliczono w systemie Hestia ocenę kompleksową. Wartość oceny kompleksowej ustalana jest na podstawie ocen szczegółowych i oceny rozeznania górniczego.

Do oceny sumarycznej system Hestia potrzebuje co najmniej dwóch metod szczegółowych. System Hestia dopuszcza również wprowadzanie ocen pochodzących z tzw. metod uzupełniających.



Rys. 4. Widok fragmentu pokładu z naniesionymi zjawiskami, oraz (strona lewa) informacja o zaznaczonym zjawisku. Z lewej strony widoczny jest panel nawigacyjny z nazwami pokładów oraz obiektów naniesionych na mapę



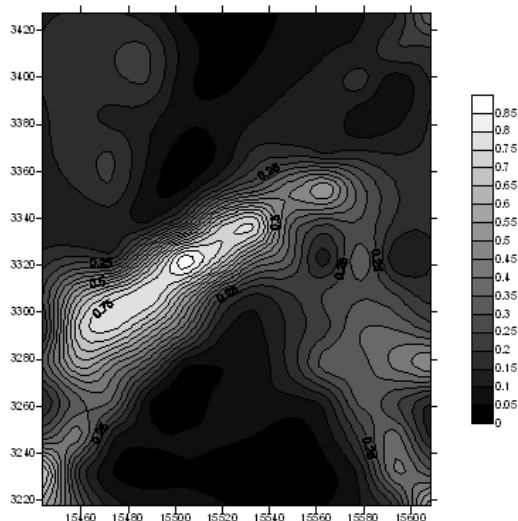
Rys. 5. Widok fragmentu kopalni z lokalizacją czujników (sejsmometrów, geofonów, czujników systemu ARP)

3. PRACE ROZWOJOWE ZWIĄZANE ZE ZWIĘKSZENIEM MOŻLIWOŚCI OCENY ZAGROŻENIA

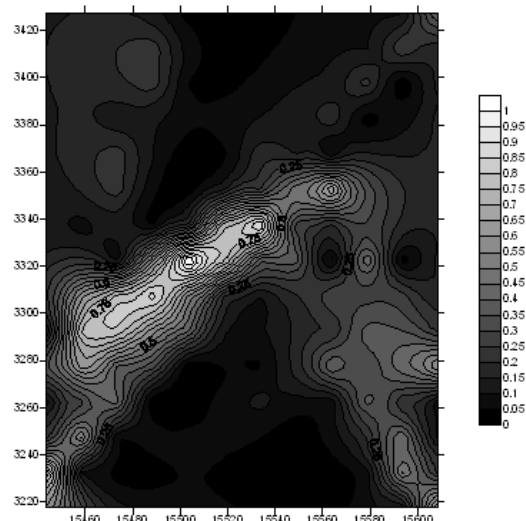
3.1. Mapy tomograficzne

Coraz częściej do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach stosuje się metodę tomografii. W przypadku tomografii pasywnej [11] wykorzystuje się rejestrację zjawisk sejsmicznych. Podczas rejestracji wstrząsu (i po jego zlokalizowaniu) ogniska wstrząsów stanowią źródło, które inicjuje falę sejsmiczną,

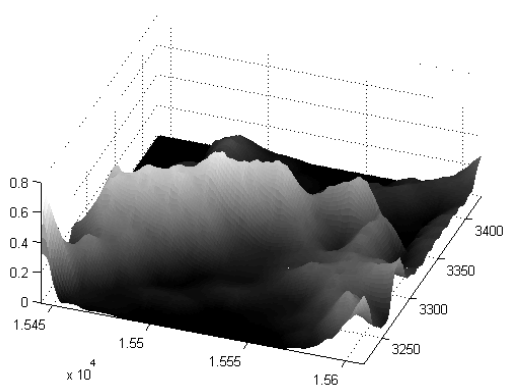
którą rejestrują rozmieszczone w wyrobiskach sejsmometry. Wykorzystanie zdjęć tomograficznych badanego obszaru polega zazwyczaj na porównaniu obrazów pola prędkości w przemieszczających się oknach czasowych. Takie rozwiązanie umożliwia śledzenie procesu przemieszczania się obszarów potencjalnie zagrożonych [11]. Abstrahując na tym etapie prac rozwojowych od dokładnego algorytmu pozwalającego na zdefiniowanie w sposób numeryczny mapy tomograficznej, w ramach rozwoju programu Hestia Mapa podjęto próby opracowania metody rysowania map na podstawie niekompletnego zbioru danych. Dokładniej, mając dane na temat



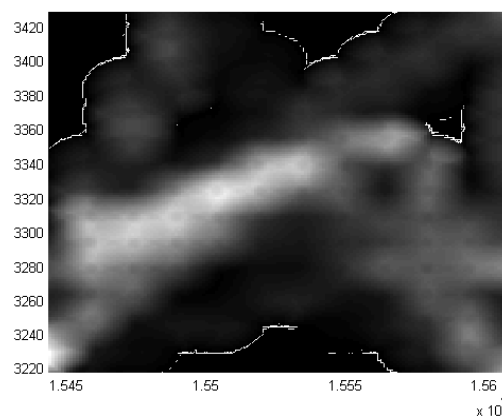
wykres a



wykres b



wykres c – 3d



wykres c – 2d

Rys. 6. Porównanie map naprężeń uzyskanych przez program Surfer (wykres a i b) oraz przez program Hestia Mapa (wykres c – 2d). Na wykresie c – 3d widać mapę trójwymiarową uzyskaną za pomocą programu Matlab.

lokalizacji punktów pomiarowych oraz wartości pewnej wielkości (np. wysokości) wyliczonej w tych punktach zależy nam na narysowaniu mapy odzwierciedlającej „ukształtowanie terenu” na całym rozważanym obszarze. W systemach kartograficznych zadanie takie definiuje się jako zadanie tzw. gridingu [12]. Z matematycznego punktu widzenia jest to problem regresji pewnej dwuwymiarowej funkcji. Najpopularniejszym programem stosowanym do rysowania map wykorzystujących techniki gridingu jest program Surfer [13]. W programie Hestia Mapa zastosowano unikalną metodę regresji jądrowej [14] do rozwiązania problemu gridingu. Na rysunku szóstym przedstawiono mapę naprężeń fragmentu rejonu w kopalni węgla kamiennego, wykresy a i b przedstawiają mapy uzyskane za pomocą programu Surfer (wykres a – metoda Radialnych Funkcji Bazowych, wykres b – metoda Kriginu), natomiast wykres c przedstawia mapę uzyskaną za pomocą metody regresji jądrowej (na mapie tej nie naniesiono izolinii).

Mapa na wykresie c jest mniej szczegółowa od dwóch pozostałych, jednak odzwierciedla ogólne zależności występujące w danych. W chwili obecnej prowadzone są prace mające ustalić jakie parametry metody regresji jądrowej mają zostać użyte, aby możliwe było tworzenie map o poziomie szczegółowości odpowiedniej dla pracownika stacji geofizycznej, gdyż wydaje się, że mapy widoczne na wykresach a i b są zbyt szczegółowe.

3.2. Predykcja stanu zagrożenia

Gromadzone przez system Hestia dane są w chwili obecnej jedynie archiwizowane i przechowywane przez okres wymagany odpowiednimi przepisami. System Hestia jest jedynym systemem, który integruje dane pochodzące z różnych systemów sejsmicznych oraz umożliwia przechowywanie informacji odzwierciedlających proces wydobywania węgla (np. postęp ściany, informacje o strzelaniach itd.).

W poprzednim zdaniu z rozmysłem użyto słowa „umożliwia”, gdyż część stacji geofizycznych nie wprowadza wszystkich informacji, które można wprowadzać do bazy danych Hestii.

Traktując Hestię jako bogate źródło danych sprawdzono czy możliwe jest stworzenie systemu klasyfikującego, wykorzystującego techniki maszynowego uczenia [1] do predykcji stanu zagrożenia w wyrobisku. W przeprowadzonych badaniach wzorowano się na pomysłe Kornowskiego [15], który dokonuje predykcji całkowitej (sejsmoakustycznej oraz sejsmicznej) energii jaka wydzieli się w zadanym okresie w wyrobisku. Prace mające za zadanie dokonać predykcji dokładnej (po zlogarytmowaniu) energii opisano m.in. w [15], [16]. W pierwszych badaniach prowadzonych przez jednego z autorów niniejszego artykułu, skoncentrowano się na predykcji sumarycznej energii sejsmicznej podzielonej na dwa zakresy: energia mniejsza niż $1 \times 10^5 \text{J}$ i większa niż $1 \times 10^5 \text{J}$. Interpretacja określonych tutaj klas energetycznych jest taka, że jeśli system przewiduje klasę energetyczną $>1 \times 10^5 \text{J}$, to okres dla którego jest dokonana taka predykcja powinien zostać uznany za okres o większym zagrożeniu.

Jak już wspomniano, standardowo zagrożenie sejsmiczne monitorowane jest za pomocą aparatury sejsmologicznej i sejsmoakustycznej znajdującej się w podziemiach kopalni. Dane transmitowane są do systemu Hestia [5], gdzie są agregowane. W przeprowadzonych badaniach, wykorzystując informacje zawarte w bazie danych systemu Hestia, utworzono zbiór danych, w którym zawarto m.in. informacje o zarejestrowanych (zarejestrowanych w czasie kolejnych zmian) wartościach: energii sejsmoakustycznej wydzielonej w wyrobisku, energii sejsmicznej, liczbie wstrząsów w poszczególnych klasach energetycznych (od $1 \times 10^2 \text{J}$ do $1 \times 10^7 \text{J}$), ocenie zagrożenia generowanej przez klasyczne metody oceniające. W analizowanym zbiorze danych uwzględniano również informację o tym czy analizowana zmiana była zmianą wydobywczą czy nie. Zebrano dane z zagrożonej ściany SC508 w KWK Wesoła. Zbiór danych liczył 864 obiekty; jak już wspomniano dane podzielono na dwie klasy decyzyjne odzwierciedlające sumaryczną energię sejsmiczną jaka wydzieli się w wyrobisku w czasie następnej zmiany. Wartością graniczną dla klas decyzyjnych była energia $1 \times 10^5 \text{J}$. Liczebność klasy $E > 1 \times 10^5 \text{J}$ wynosiła 109 obiektów.

Do analizy danych zastosowano narzędzia teorii zbiorów przybliżonych [3] oraz metod maszynowego uczenia [1]. W szczególności zastosowano zmodyfikowaną wersję algorytmu indukcji reguł

decyzyjnych MODLEM [17] oraz algorytm filtracji wyznaczonych reguł [17]. Efektywność uzyskanych wyników oceniano metodą pięciokrotnej krosvalidacji (zbiór danych dzielono na pięć części, po czym na 4/5 częściach zbioru danych dokonywano indukcji reguł, a na 1/5 sprawdzano trafność przewidywania; proces powtarzano pięciokrotnie za każdym razem zmieniając zbiór testowy). Średnia dokładność klasyfikacji wynosiła 77%, a dokładność poszczególnych klas energetycznych wynosiła odpowiednio 76% i 77%. Metodę uruchamiano dla różnych parametrów algorytmu, co pozwalało osiągnąć lepszą dokładność klasyfikacji, sięgającą do 89%, ale działało się to kosztem zdolności rozpoznawania klasy oznaczającej potencjalną możliwość wystąpienia zagrożenia sejsmicznego. W każdym eksperymencie uzyskiwano średnio 22 reguły, przy czym klasę decyzyjną opisującą potencjalne zagrożenie opisywały dwie reguły. Zastosowany algorytm filtracji pozwalał na usunięcie 18 reguł i uzyskanie opisu każdej z klasy decyzyjnej, złożonego z dwóch reguł. Analiza postaci reguł (zbiór wejściowy był niewielki, więc było to możliwe) pozwoliła na arbitralne ustalenie progu tzw. pokrycia reguł opisujących większą z klas decyzyjnych (stan „niezagrożone”). Stosując zawarty w bibliotece TRS [18] algorytm arbitralnej filtracji reguł uzyskiwano średnio pięć reguł decyzyjnych (3 opisujące stan „niezagrożony” oraz 2 opisując stan „zagrożony”) i dokładności klas 82%, 72% dla odpowiednio stanu „niezagrożone” i „zagrożone”. Wyznaczone reguły wykorzystują trzy atrybuty warunkowe: maksymalną energię sejsmoakustyczną zarejestrowaną w czasie danej zmiany przez jakikolwiek z geofonów, średnią energię sejsmoakustyczną zarejestrowaną przez geofony, maksymalną liczbę impulsów zarejestrowanych przez jakikolwiek geofon, średnią liczbę impulsów zarejestrowanych przez geofony. Przykładowe reguły zaprezentowano poniżej:

```
IF avg_impulsy < 2786 THEN stan „bezpieczny”,  
IF max_energia < 161560 THEN stan „bezpieczny”,
```

```
IF avg_energia < 48070 THEN stan „bezpieczny”,  
IF max_energia > 218000 THEN stan „niebezpieczny”,
```

```
IF max_impulsy > 1444 THEN stan „niebezpieczny”.
```

Aktualnie trwają badania na sprawdzenie czy możliwe jest utworzenie systemu klasyfikacyjnego dokonującego z równą skutecznością predykcji zagrożenia w dowolnym wyrobisku górniczym.

4. PODSUMOWANIE

System wspomaganie stacji geofizycznych Hestia pracuje od kilku lat w większości stacji geofizycznych polskich kopalń węgla kamiennego oraz w kilku kopalniach zagranicznych (Chiny, Rosja). Dzięki cennym uwagom dotychczasowych użytkowników systemu udało się w znaczącym stopniu zautomatyzować proces oceny stanu zagrożenia. Bogaty zestaw funkcji oraz możliwości konfiguracyjnych pozwala w łatwy sposób zarządzać gromadzonymi w bazie danych informacjami. System Hestia Mapa pozwala w lepszym stopniu nadzorować bezpieczeństwo w szczególnie zagrożonych rejonach kopalni. Połączone systemy Hestia i Hestia Mapa oraz ich wspólna relacyjna baza danych zarządzana przez wysokowydajny system SQL Server firmy Microsoft, stały się swego rodzaju Geofizycznym Systemem Dyspozytorskim.

Obecnie prowadzone są prace mające na celu wyposażenie systemu w nowe funkcje zwiększające możliwości oceny zagrożenia. Jedną z tych funkcji jest metoda tomografii, która jest metodą uznaną w środowisku górniczym, druga metoda predykcji stanu potencjalnego zagrożenia sejsmicznego wykorzystuje innowacyjne techniki maszynowego uczenia i eksploracji danych.

Literatura

1. Kubat M., Bratko I., Michalski R.: Machine learning and data mining. Methods and applications. John Wiley and Sons 1998.
2. Litwin L., Myrda G.: Systemy informacji geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT i LIS. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
3. Pawlak Z.: Rough sets: Theoretical aspects of reasoning about data. Dordrecht Kluwer 1991.
4. Sikora M., Sikora B.: Application of machine learning for prediction a fire damp concentration in a coal-mine. Archives of Mining (w druku) 2006.
5. Sikora M.: System wspomaganie pracy stacji geofizycznej – Hestia. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, 12/395, Katowice 2003.
6. Sikora M., Widera D.: Identyfikation of diagnostics states for dewater pumps working in abyssal mining pump stations. XV International Conference on Systems Sciences, September 7-10, Wrocław 2004.
7. Sikora M., Krzykowski D.: Zastosowanie metod eksploracji danych do analizy wydzielania się dwutlenku węgla w stacjach odwadniania kopalń węgla kamiennego. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 6/413, Katowice 2005.
8. Ullman J. D., Widom J.: Podstawowy wykład z baz danych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
9. Wojciechowski J.: Nowa generacja systemów dyspozytorskich dla kopalń – system SD2000. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, 5/365, Katowice 2001.
10. Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczególnych oceny stanu zagrożenia tapaniami w kopalniach węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje Nr 20, Katowice 2007.

11. Dubiński J., Lurka A., Mutke I.: Zastosowanie metody tomografii pasywnej do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach. Przegląd Górniczy Nr. 3, 1998.
12. Cressie, N. A. C.: Statistics for Spatial Data, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900, 1990.
13. Surfer. Golden Software Inc., www.goldensoftware.com (2001).
14. Michalak M.: Estymacja nasilenia zjawisk geofizycznych na przykładzie rysowania rozkładów energii sejsmicznej. Raport wewnętrzny Centrum EMAG, Katowice 2008.
15. Kornowski J.: Linear prediction of aggregated seismic and seisomacoustic energy emitted from a mining longwall. Acta Montana Ser. A, No 22 (129), 2003, str.4-14.
16. Kornowski J.: Linear prediction of hourly aggregated AE and tremors energy emitted form a longwall and its performance in practice. Archives of Mining Sciences, Vol. 48, No. 3, 2003, str. 315-337.
17. Sikora M.: Rule quality measures in creation and reduction of data rule models. Lecture Notes in Artificial Intelligence Vol. 4259, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, pp. 716-725.
18. Sikora M., Michalak M.: NetTRS – induction and postprocessing of decision rules. Lecture Notes in Artificial Intelligence Vol. 4259, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, pp. 378-387.

Recenzent: dr inż. Zbigniew Isakow