

*mgr inż. KRZYSZTOF OSET
dr inż. ADAM MIREK
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG*

Hybrydowy system kontroli parametrów ściany wydobywczej X-MAN

W artykule omówiono nowoczesny sposób monitorowania ściany wydobywczej w aspekcie zagrożeń metanowego i sejsmicznego, występujących w górnictwie podziemnym. Opisano konstrukcję nowego systemu, jego składniki oraz sposoby połączeń transmisyjnych. Przedstawiono możliwości programowe monitorowania parametrów, jak również korelowania wyników pomiarów. Wskazano na konieczność kompleksowego monitorowania parametrów w celu zminimalizowania zagrożeń.

1. WPROWADZENIE

Bardzo ważnym, aczkolwiek nie wszędzie docenianym w zakładach górniczych aspektem prowadzenia ściany wydobywczej jest kontrola jej parametrów technicznych i środowiskowych. Składają się na nią monitoring ciśnień w stojakach obudowy

zmechanizowanej, przekładający się na monitorowanie ciśnienia stropu w obrębie ściany, jak również – coraz bardziej potrzebne dla zachowania bezpieczeństwa prac wydobywczych – monitorowanie wpływu gazów (w tym metanu) bezpośrednio ze zrobów do wyrobiska ścianowego w trakcie jej ruchu. Nie mniej ważne jest monitorowanie aktywności sejsmicznej w tym rejonie. System X-MAN

pozwala na ciągłe śledzenie zmian pierwszych dwóch parametrów i jest przystosowany do rozbudowy o monitoring pozostałych.

Doświadczenia zdobyte w eksploatacji wcześniejszego systemu MONSTER oraz jego odmian (opracowanych w EMAG) ukierunkowały konstrukcję systemu X-MAN na „hybrydową” transmisję danych. Zrywające się najczęściej połączenia sprzętowe „czujnik – koncentrator” zmieniono na bezprzewodowe (radiowe), natomiast bezpieczne (z doświadczenia) połączenia kablowe (magistralne) zachowano, co pozwoliło na rozbudowę koncentratorów sekcyjnych o wskazania dyskretne wielkości ciśnień na wyświetlaczu LCD (możliwość rezygnacji z manometrów) oraz progowe (wskazania LED), pozwalające na szybkie i bezbłędne reakcje operatorów sekcji, bez obawy o wydajność prądową systemu zasilania.

Oprogramowanie systemowe umożliwia bieżącą kontrolę wspomnianych parametrów ściany z dokładnością do 1 sekundy w okresach zadanych przez dyspozytora systemu (standardowo – okno jednodobowe), jak również zadawanie parametrów progowych dla systemu. Oprogramowanie analityczne umożliwia korelację parametrów, co w rezultacie generuje „podpowiedź” dla eksperta odpowiedzialnego za prowadzenie ściany odnośnie do decyzji o zmianach w strategii działania.

Taki sposób podejścia do monitorowania środowiska ściany jest zgodny z kierunkiem kreowania bezpiecznego górnictwa osiąganego poprzez dostosowywanie przepisów i systemowego monitorowania do zmieniających się warunków naturalnych [14, 15].

2. ZAGROŻENIE METANOWE W POLSKICH KOPALNIACH PODZIEMNYCH

Jak powszechnie wiadomo, zagrożenie metanowe [8] to możliwość pojawienia się w powietrzu kopalnianym metanu w stężeniu mogącym spowodować powstanie mieszaniny wybuchowej, palnej względnie atmosfery beztlenowej.

Metan (CH_4) – najprostszy z węglowodorów nasyconych z grupy parafin – jest gazem bezbarwnym i bezwonny, nie posiada także smaku. Jego gęstość w warunkach normalnych wynosi $0,716 \text{ kg/m}^3$, jest więc znacznie lżejszy od powietrza. Rozpuszcza się w etanolu i w eterze, słabo w wodzie (do 3,5% w warunkach normalnych). Jest gazem obojętnym dla procesów oddychania, lecz jego duża zawartość w powietrzu może być niebezpieczna z uwagi na wypieranie tlenu (4,8% metanu wypiera 1% tlenu). Jest on głównym składnikiem gazów palnych, a w przedziale stę-

żenia objętościowego w powietrzu od 5 (4,5) do 15% i przy minimalnej zawartości tlenu około 8% jest gazem silnie wybuchowym. Temperatura jego zapłonu waha się między 650 a 750°C , natomiast temperatura wybuchu między 1500 a 2650°C . Przy stężeniu niższym niż 5% i wyższym niż 15% metan wypala się w zetknięciu ze źródłem termicznym. Najsilniejszy wybuch występuje przy stężeniu 9,5% metanu – jest to tzw. mieszanina stechiometryczna (mieszanina gazu palnego z powietrzem, przy której następuje całkowite wypalenie się tlenu). Temperatura maksymalna przy wybuchu stechiometrycznym w przestrzeni zamkniętej wynosi 2650°C , a maksymalne ciśnienie wybuchu – 650 kPa . Granice wybuchowości metanu są zmienne i zależą od ciśnienia, temperatury, miejsca zapalenia, intensywności początkowego impulsu cieplnego.

W wyrobiskach górniczych może także dochodzić do tzw. wypalania się metanu. Jest to proces niewybuchowego spalania się gazu, który w zależności od zawartości procentowej oraz objętościowej metanu w mieszaninie może zaniknąć samoistnie lub też spowodować wybuch przebiegający w postaci reakcji łańcuchowej. W odróżnieniu od wypalania wybuch charakteryzuje się znacznie wyższą temperaturą i ciśnieniem, wskutek czego powstaje, przemieszczająca się z bardzo dużą prędkością, fala uderzeniowa. Należy dodać, iż niejednokrotnie w konsekwencji wybuchu metanu dochodzi także do wybuchu pyłu węglowego, co skutkuje powstaniem kolejnego zagrożenia – o nieograniczonej, praktycznie, skali.

Podstawowym parametrem wielkości zagrożenia metanowego jest metanonośność pokładu węgla, czyli objętościowa ilość metanu pochodzenia naturalnego, zawarta w jednostce wagowej w głębi calizny węglowej, wyrażana w m^3/Mg czystej (bez wody i popiołu) substancji węglowej. W zależności od wyznaczonej (np. przez rzeczoznawcę) wartości metanonośności [5, 7, 8, 14, 15] pokłady węgla, lub ich części, zalicza się do:

1. pierwszej kategorii zagrożenia metanowego (od $0,1$ do $2,5 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{CSW}}$),
2. drugiej kategorii zagrożenia metanowego (powyżej $2,5$ do $4,5 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{CSW}}$),
3. trzeciej kategorii zagrożenia metanowego (powyżej $4,5$ do $8 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{CSW}}$),
4. czwartej kategorii zagrożenia metanowego (powyżej $8 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{CSW}}$ lub gdy wystąpił nagły wypływ metanu albo wyrzut metanu i skał).

Wydzielanie się metanu do wyrobisk w trakcie prowadzenia eksploatacji, czyli tzw. metanowość, rozróżniana jest jako:

- metanowość wentylacyjna – różnica strumienia objętości metanu w wylotowym i wlotowym prądzie powietrza,

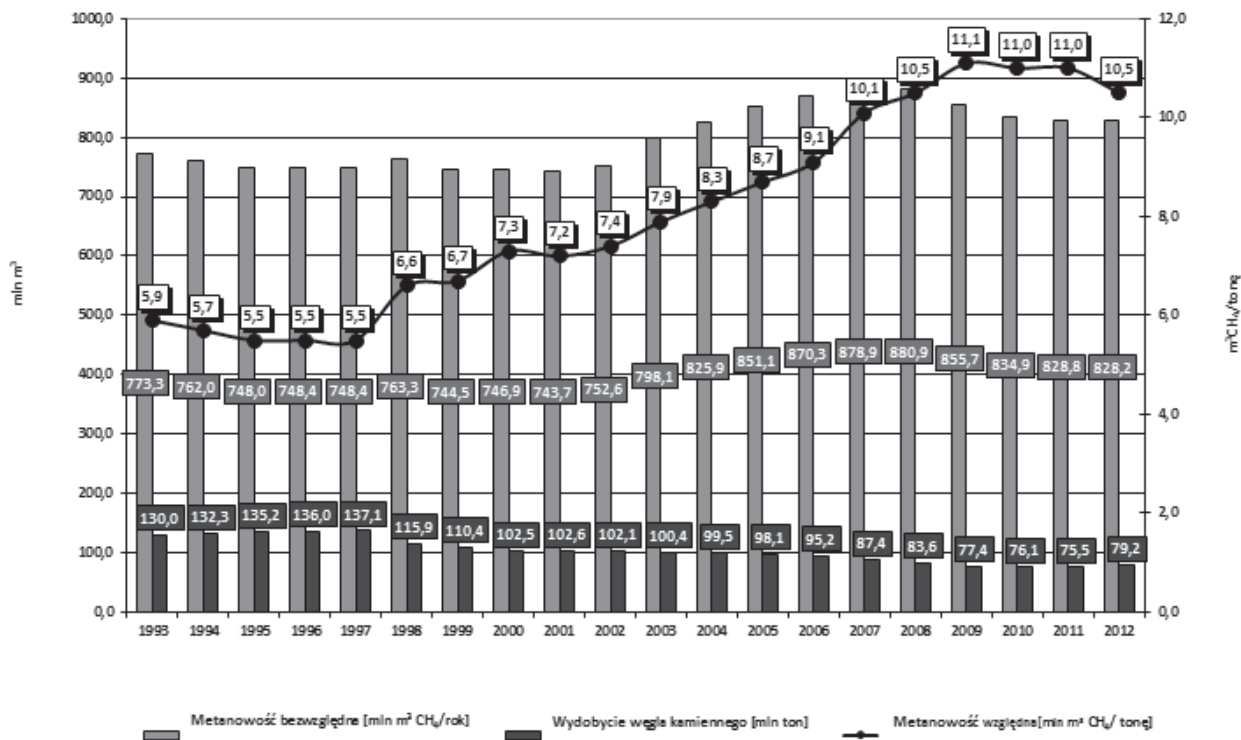
- metanowość bezwzględna – suma ilości metanu wydzielającego się do wyrobisk (metanowość wentylacyjna) oraz metanu ujętego odmetanowaniem,
- metanowość względna – ilość wydzielonego metanu (metanowość bezwzględna) w przeliczeniu na Mg wydobytego węgla,
- metanowość kryterialna – taka metanowość bezwzględna, przy której w danych warunkach przewietrzania i odmetanowania, przy nierównomiernym wydzielaniu się metanu, nie będą występować przekroczenia dopuszczalnej zawartości metanu w prądzie powietrza zużytego.

W roku 2012 [5, 7, 8] tylko 5 spośród 31 czynnych zakładów górniczych prowadziło eksploatację wyłącznie pokładów niemietanowych, natomiast kolejne 5 – pokładów zaliczonych do I kategorii zagrożenia metanowego, przy czym nie stwierdzano w tych kopalniach metanu w powietrzu wentylacyjnym. Z pozostałych 21 kopalń aż 16 swoją eksploatację prowadziło w pokładach zaliczonych do IV kategorii

zagrożenia metanowego. W roku 2012 wydobyte węgla kamiennego osiągnęło wielkość około 78,6 mln Mg, z czego około 59,1 mln Mg (czyli około 75%) pochodziło z pokładów metanowych.

W ciągu całego 2012 roku z górotworu objętego wpływami eksploatacji wydzielono się około 828,2 mln m³ metanu (metanowość bezwzględna), co w przeliczeniu na tonę wydobytego węgla (uwzględniając całość wydobycia) daje wielkość około 10,5 m³. Poniższy wykres (rys. 1) odzwierciedla kształtowanie się wydobycia oraz metanowości bezwzględnej i względnej w ostatnich dwóch dekadach.

Należy dodać, że w roku 1993 [5, 7, 8] eksploatację prowadzono w 70 kopalniach węgla kamiennego, a w roku 2012 – tylko w 31 zakładach górniczych. W tym czasie wydobyte węgla spadło ze 130 mln ton do poziomu 78,6 mln ton. Od roku 2009, pomimo spadku wydobycia, ilość wydzielonego metanu w przeliczeniu na tonę wydobytego węgla (metanowość względna) kształtuje się na podobnym poziomie.



Rys. 1. Kształtowanie się metanowości bezwzględnej, względnej oraz wydobycia w latach 1993-2012 [3, 5, 7, 14]

3. ZAGROŻENIA SEJSMICZNE I TĄPANIAMI W POLSKICH KOPALNIACH

Głęboka ingerencja w stan pierwotnej równowagi górotworu, związana z prowadzoną eksploatacją złóż kopalni [1, 2, 3, 4, 6, 9, 16], pociąga za sobą

konieczność prowadzenia robót w warunkach występowania różnorodnych zagrożeń naturalnych, z których [3, 6] zagrożenia sejsmiczne i tąpniętami występują (rok 2012) w 22 spośród 31 czynnych kopalń węgla kamiennego oraz we wszystkich trzech kopalniach rud miedzi. Zagrożenia te są dynamicznymi objawami procesów geomecha-

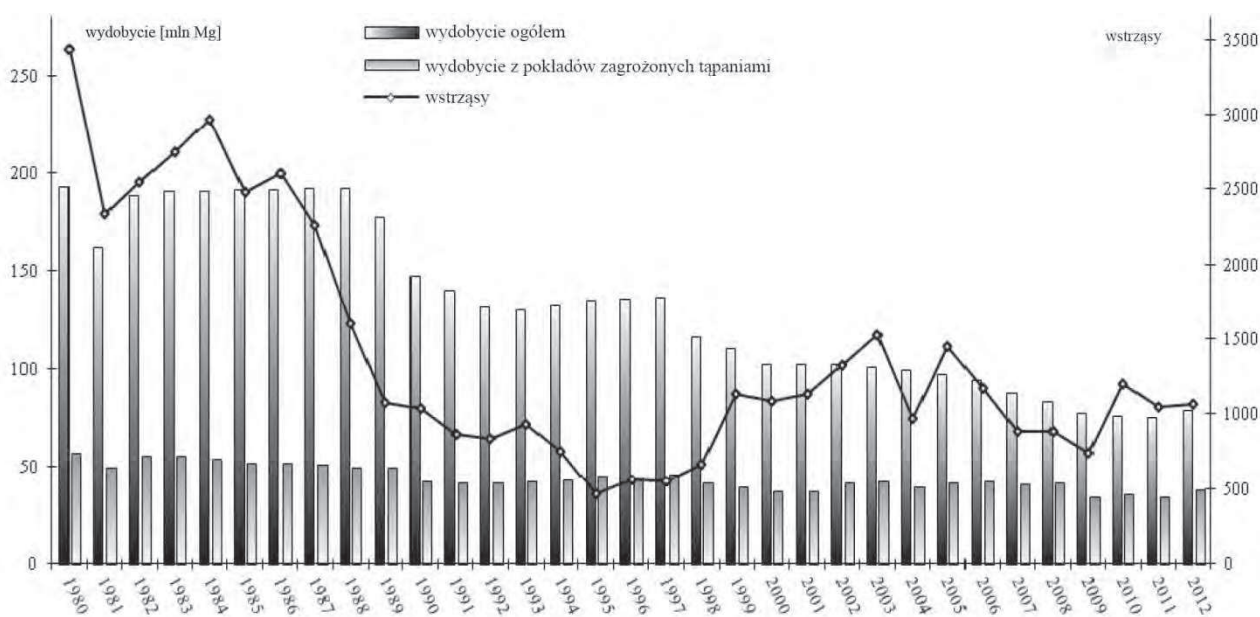
nicznych zachodzących w naruszonym eksploatacją górotworze, a jednocześnie w dalszym ciągu pozostają także najtrudniejszymi do prognozowania i skutecznego zwalczania. Skalę zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami w polskim górnictwie

podziemnym obrazuje statystyka wysokoenergetycznych wstrząsów oraz ich skutków na tle wydobycia węgla i rud miedzi [11]. Wielkości te za okres 1980-2012 przedstawiono w tablicach 1. oraz 2., a ilustrują je rys. 2. i 3.

Tablica 1.

Wydobycie, wstrząsy wysokoenergetyczne, tąpnięcia i wypadki w kopalniach węgla kamiennego w latach 1980-2012 [3, 6, 14]

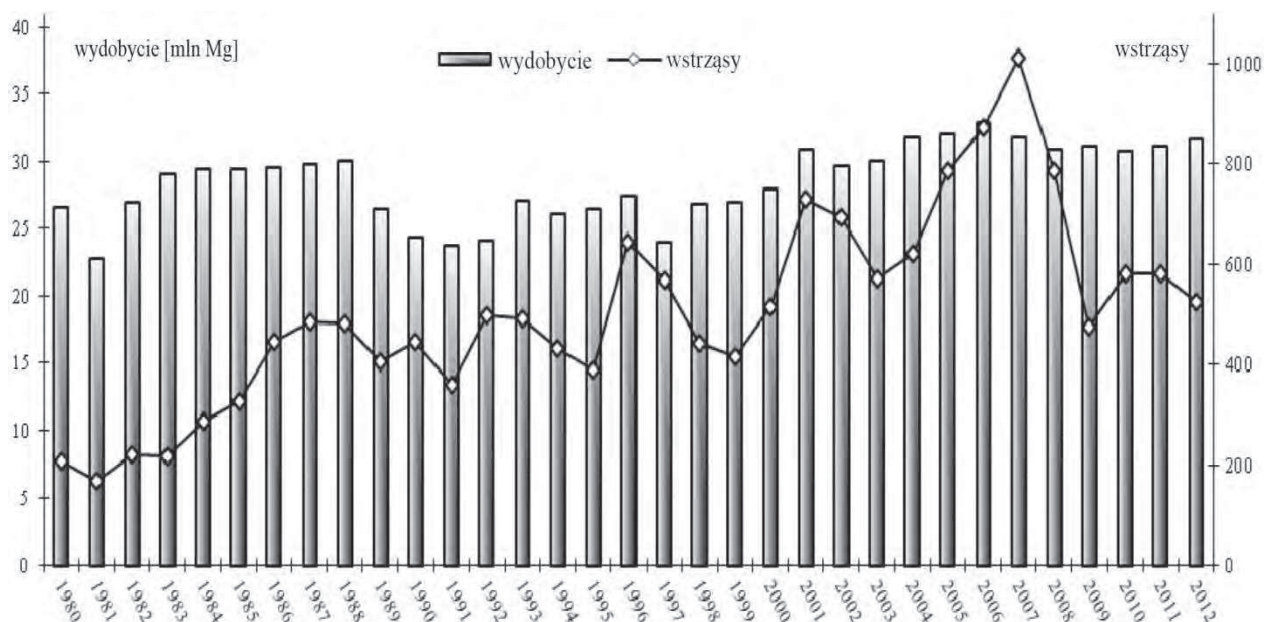
Rok	Wydobycie ogółem [mln Mg]	Wydobycie z pokładów zagrożonych tąpnięciami				Wstrząsy $\geq 1 \cdot 10^5$ J (wg. GIG)		Liczba tąpnięć	Wypadki wskutek tąpnięć	
		I-III ZT [mln Mg]	%	III ZT [mln Mg]	%	liczba	ΣE [GJ]		śmiertelne	ogółem
1981	162,7	49,4	30,3	brak danych	-	2336	11,03	29	4	73
1982	188,9	55,5	29,4	brak danych	-	2545	4,39	20	29	105
1983	190,5	55,2	28,9	brak danych	-	2749	11,05	14	4	46
1984	191,0	54,3	28,3	brak danych	-	2970	14,59	16	20	66
1985	191,1	51,9	27,1	brak danych	-	2480	14,04	16	9	54
1986	191,3	51,6	27,0	brak danych	-	2606	9,66	27	22	83
1987	192,7	50,9	26,4	brak danych	-	2260	6,33	11	7	51
1988	192,7	49,5	25,7	brak danych	-	1599	2,05	13	3	48
1989	177,7	49,5	27,9	brak danych	-	1076	2,44	16	7	77
1990	147,4	42,2	28,6	brak danych	-	1038	2,09	16	6	36
1991	140,1	41,9	29,9	brak danych	-	863	1,25	9	7	27
1992	131,3	41,8	31,8	brak danych	-	833	6,00	10	9	45
1993	130,2	42,6	32,7	brak danych	-	932	12,60	16	11	37
1994	132,7	43,0	32,4	brak danych	-	750	1,49	12	4	47
1995	135,3	45,4	33,6	brak danych	-	465	1,94	7	7	39
1996	136,2	44,2	32,5	brak danych	-	564	1,07	2	3	21
1997	137,1	46,2	37,7	brak danych	-	547	0,87	2	-	6
1998	115,9	41,9	36,2	brak danych	-	663	0,68	5	2	17
1999	110,4	39,4	35,7	brak danych	-	1135	1,59	2	-	3
2000	102,5	37,2	36,3	brak danych	-	1088	2,12	2	-	-
2001	102,6	37,4	36,5	brak danych	-	1137	1,85	4	2	21
2002	102,1	41,8	40,9	brak danych	-	1324	1,96	4	3	20
2003	100,5	42,3	42,1	brak danych	-	1524	2,82	4	2	18
2004	99,5	39,2	39,4	brak danych	-	974	1,30	3	-	11
2005	97,0	41,6	42,9	13,3	13,7	1451	1,79	3	1	13
2006	94,4	42,1	44,6	15,9	16,8	1170	2,06	4	4	20
2007	87,5	40,5	46,3	13,1	15,0	885	2,21	3	-	10
2008	83,6	41,9	50,1	14,3	17,1	883	2,00	5	-	26
2009	77,4	34,3	44,4	12,1	15,6	741	2,25	1	-	5
2010	76,1	35,8	47,1	13,4	17,6	1203	4,44	2	2	15
2011	75,5	34,2	45,3	11,8	15,6	1044	1,86	4	1	7
2012	78,6	37,6	47,8	12,7	16,2	1069	1,78	1	1	3



Rys. 2. Wstrząsy wysokoenergetyczne na tle wydobywania (w tym wydobywania z pokładów zagrożonych tąpnięciami) w kopalniach węgla kamiennego w latach 1980-2012 [3, 6, 14]

Tablica 2.
Zestawienie wydobycia, wstrząsów wysokoenergetycznych, tąpnięć i wypadków w kopalniach rud miedzi w latach 1980-2012 [3, 6, 14]

Rok	Wydobycie ogółem [mln Mg]	Wydobycie ze złóż zagrożonych tąpnięciami		Wstrząsy $\geq 1 \cdot 10^5$ J		Liczba tąpnięć	Wypadki wskutek tąpnięć	
		[mln Mg]	%	liczba	ΣE [GJ]		śmiertelne	ogółem
1980	26,6	26,6	100	206	brak danych	6	3	4
1981	22,8	22,8	100	168	brak danych	7	6	26
1982	27,0	27,0	100	221	brak danych	9	3	9
1983	29,0	29,0	100	217	brak danych	5	2	7
1984	29,4	29,4	100	286	brak danych	5	1	3
1985	29,4	29,4	100	325	1,73	2	1	9
1986	29,6	29,6	100	446	1,72	4	-	10
1987	29,8	29,8	100	484	1,72	5	7	27
1988	30,0	30,0	100	482	1,75	1	1	2
1989	26,5	26,5	100	407	2,82	4	3	8
1990	24,4	24,4	100	447	1,29	2	2	12
1991	23,7	23,7	100	359	0,92	2	2	4
1992	24,1	24,1	100	499	1,22	-	-	-
1993	27,1	27,1	100	492	3,05	4	1	7
1994	26,1	26,1	100	433	2,84	2	5	6
1995	26,5	26,5	100	389	1,87	4	2	13
1996	27,4	27,4	100	644	1,82	4	3	12
1997	24,0	24,0	100	567	2,76	-	-	-
1998	26,8	26,8	100	443	2,80	2	3	9
1999	27,0	27,0	100	414	3,96	3	2	14
2000	28,0	28,0	100	514	7,11	4	2	4
2001	30,9	30,9	100	729	6,22	5	-	3
2002	29,7	29,7	100	694	7,36	8	3	15
2003	30,0	30,0	100	570	3,39	9	5	28
2004	31,8	31,8	100	621	6,56	8	1	15
2005	32,0	32,0	100	786	4,02	3	1	22
2006	32,9	32,9	100	872	5,65	2	-	5
2007	31,8	31,8	100	1011	1,97	3	4	10
2008	30,9	30,9	100	785	1,28	2	1	18
2009	31,2	31,2	100	474	1,82	4	1	11
2010	30,8	30,8	100	581	2,59	8	6	46
2011	31,2	31,2	100	581	1,44	1	-	5
2012	31,7	31,7	100	525	0,94	1	-	3



Rys. 3. Wstrząsy wysokoenergetyczne na tle wydobycia w kopalniach rud miedzi w latach 1980-2012 [3, 6, 14]

Poza zagrożeniami, jakie sejsmiczność generowana eksploatacją stwarza dla wyrobisk podziemnych, powoduje ona także negatywne skutki dla obiektów na powierzchni terenu – od drobnych

uszkodzeń konstrukcji budowlanej (spękania tynku ścian, wylewek betonowych, kominów, odspajanie elementów ceramiki budowlanej itp.) po (znacznie rzadziej) uszkodzenia większych fragmentów

obiektów budowlanych (np. spadanie dachówek, gzymsów itp.).

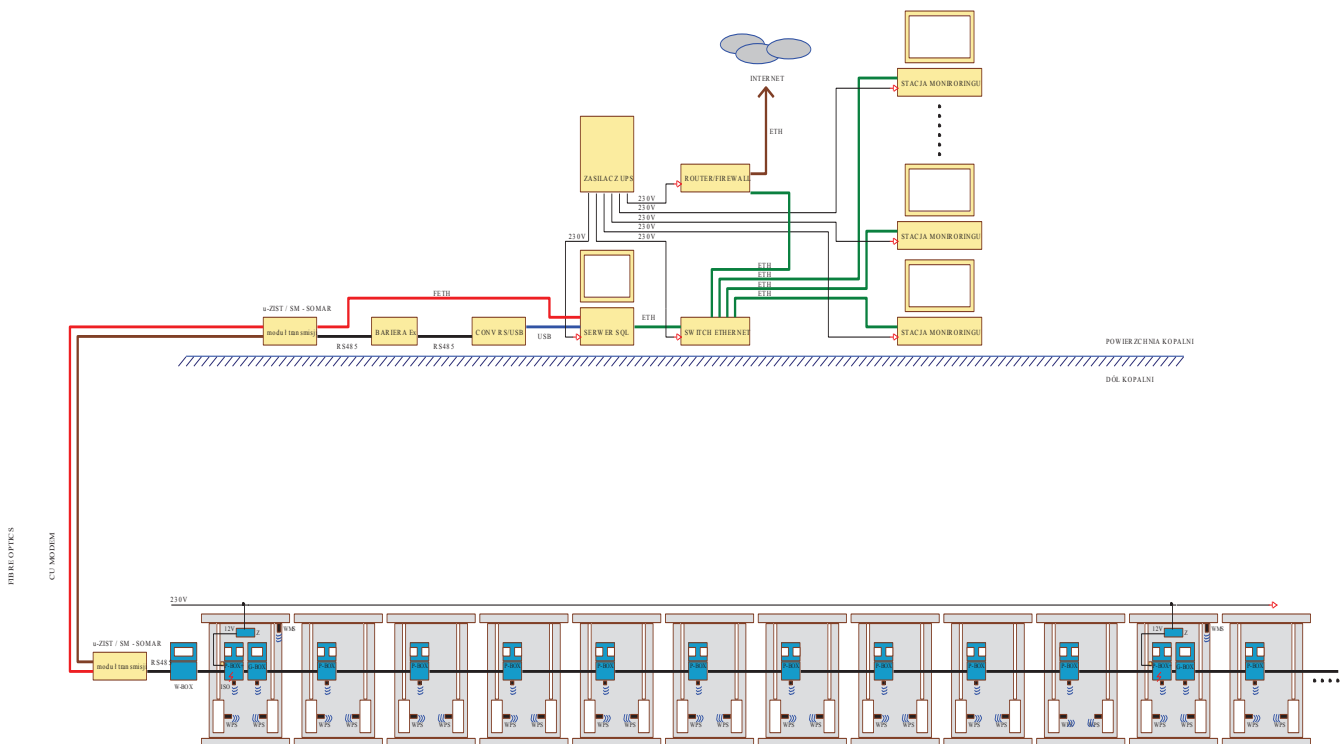
Analizując statystykę dotyczącą tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego, można w przeciągu ostatnich kilkunastu lat zaobserwować [3, 6, 14] trwałą tendencję do utrzymywania się ich liczby na relatywnie niskim (do kilku zdarzeń rocznie) poziomie, w porównaniu do takich samych danych z lat 80. zeszłego stulecia. Na niskim poziomie utrzymuje się także liczba będących ich skutkiem wypadków. Podobnie w kopalniach rud miedzi nie obserwuje się wzrostu liczby tąpnięć pomimo znacznego rozwoju przestrzennego eksploatacji. Tendencje powyższe należy wiązać głównie z przywołanym powyżej spadkiem wydobycia węgla, lepszą koordynacją eksploatacji prowadzonych w różnych partiach danej kopalni i w rejonach przygranicznych kopalń sąsiednich, skuteczniejszym odprężaniem pokładów (złóż) zagrożonych tąpnięciami, rezygnacją z eksploatacji partii najsilniej zagrożonych oraz z doskonaleniem metod oceny stanu tego zagrożenia i stosowanych środków profilaktycznych.

4. SYSTEM X-MAN – ZASADA DZIAŁANIA

System [10] służy do:

- oceny pracy i prowadzenia obudowy hydraulicznej (w tym monitorowania siły nacisku stropu na obudowę, co pozwala kontrolować możliwość zawisania stropu zasadniczego za sekcjami obudowy – może być to przydatne dla oceny zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami w rejonie frontu ścianowego),
- monitorowania wydzielania metanu i innych gazów ze zrobów do ściany w trakcie jej ruchu,
- programowej korelacji danych zawierających informacje o zmierzonych ciśnieniach, stężeniach gazów i innych parametrach – w tym aktywności sejsmicznej – niekoniecznie pochodzących z systemu.

Składa się on z kilku typów urządzeń zabudowanych w ścianie (P-BOX, P-BOX+, G-BOX wraz z dołączonymi czujnikami) oraz w chodnikach pod- i nadścianowym (W-BOX i modem transmisyjny). Urządzenia zbierają i przetwarzają informacje z dołączonych do nich czujników, transmitują wyniki pomiarów do urządzenia podścianowego W-BOX oraz sygnalizują sytuacje niebezpieczne i awaryjne (rys. 4).

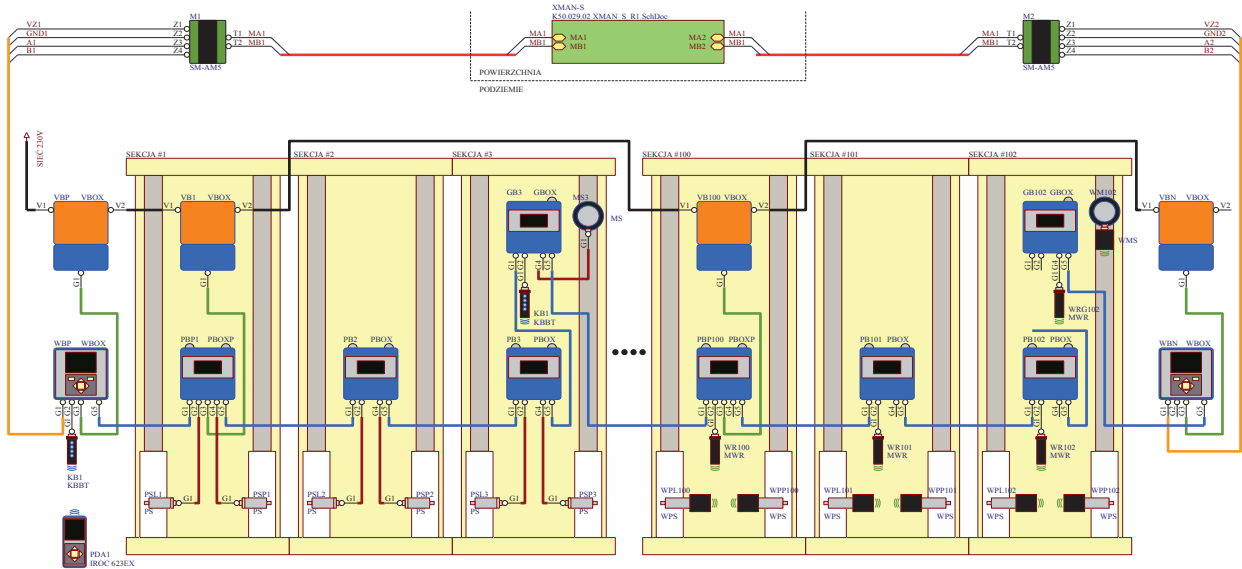


Rys. 4. System X-MAN – budowa [11]

Dla osiągnięcia optymalnych wyników pomiarów czujniki metanu powinny być zamontowane możliwie najwyżej na sekcjach obudowy, natomiast czujniki ciśnienia – standardowo w podłokach stojaków (możliwe również w stropnicy i magistralach zasilających).

Cały system podzielony jest na sektory, z których każdy jest zasilany z odrębnego zasilacza buforowa-

nego V-BOX. Transmisja po magistrali systemowej odbywa się w standardzie RS-485 z protokołem MODBUS-RTU. Rolę nadrzędną na magistrali systemowej pełni urządzenie W-BOX, odpowiedzialne także za transmisję z powierzchnią częścią systemu poprzez modem kablowy lub światłowodowy (rys. 5).



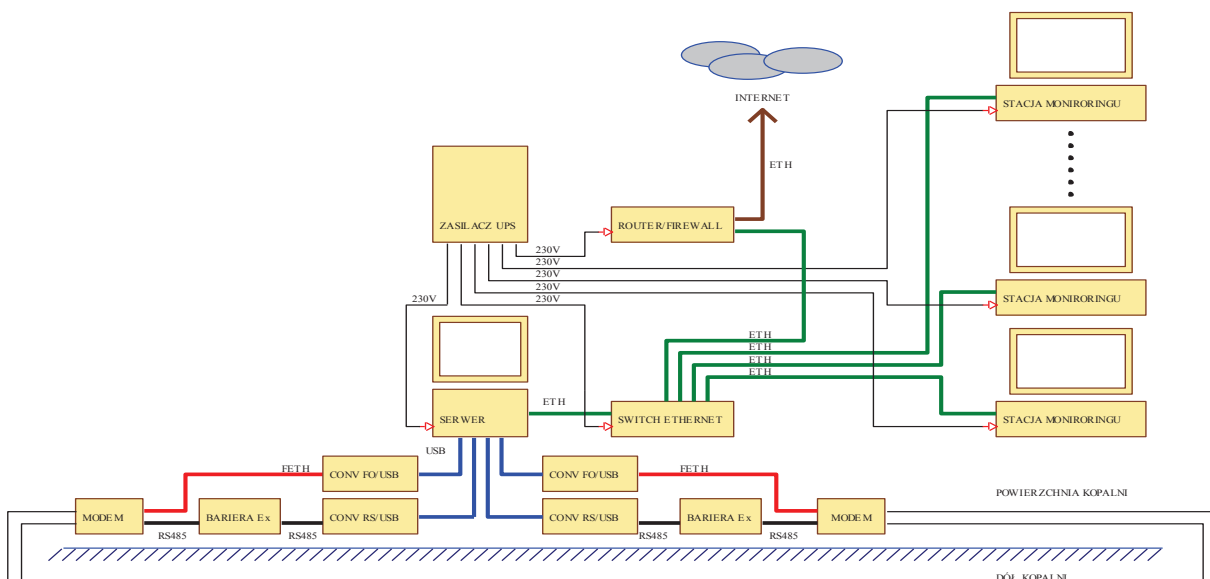
Rys. 5. System X-MAN – część dołowa [9]

Dane z całego systemu są odświeżane z częstotliwością co najmniej raz na sekundę poprzez cykliczne odpytywanie kolejnych urządzeń i z taką samą częstotliwością przesyłane na powierzchnię do serwera bazy danych oprogramowania systemowego. Oprogramowanie to pozwala rejestrować, archiwizować i wizualizować zebrane dane pomiarowe, a także dokonywać analizy pozyskanych pomiarów. W przypadku uszkodzenia kabla magistralnego wewnątrz ściany drugie urządzenie W-BOX (umieszczone w rejonie chodnika nadścianowego) przejmie rolę urządzenia nadrzędnego na odciętym odcinku systemu, zapewniając dostępność do wszystkich danych pomiarowych – jest to opcja wykonania systemu zapewniająca redundancję.

Podczas normalnej pracy systemu (przy zasilaniu sieciowym) wszystkie urządzenia ścienne są włączone, a dane z nich są przesyłane do urządzenia

W-BOX. W przypadku zaniku zasilania sieciowego, co w domyśle oznacza pojawienie się niebezpiecznych stężeń metanu, włączone pozostają jedynie urządzenia wymagające zasilania buforowanego zasilacza V-BOX, tj. P-BOX+ (z regeneratorem sygnału magistralnego) oraz G-BOX (jako urządzenie mierzące stężenie metanu) oraz urządzenie podścianowe W-BOX i modem, odpowiedzialne za transmisję danych po magistrali systemowej i na powierzchnię. Pozostałe urządzenia (P-BOX) załączą się automatycznie w momencie przywrócenia zasilania sieciowego.

Proces przesyłania danych [11] polega na udostępnieniu końcówkom wizualizacyjnym danych zgromadzonych na komputerze (koncentrator danych), gdzie zainstalowane jest oprogramowanie transmisyjne (rys. 6).



Rys. 6. System X-MAN – część powierzchniowa [9]

Komputer gromadzący dane posiada:

- procesor klasy PC, czterordzeniowy o prędkości co najmniej 3 GHz,
 - pamięć RAM co najmniej 4GB,
 - dysk HDD co najmniej 1TB w macierzy RAID 0,
 - kartę sieciową Ethernet 100/1000 Mbps,
 - kartę grafiki (zintegrowaną),
- dzięki czemu zapewnia prawidłową pracę systemu.

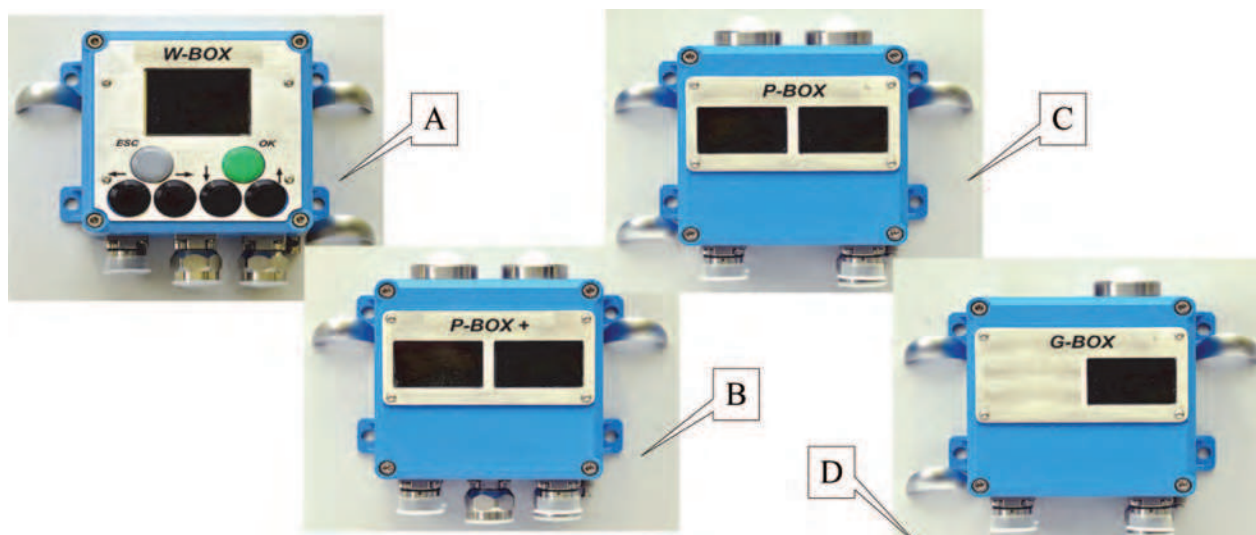
5. ELEMENTY SYSTEMU X-MAN

Na system X-MAN składają się urządzenia wykonane w budowie iskrobezpiecznej i_a , posiadające stopień zabezpieczenia co najmniej IP54.

Na rys. 7. pokazano urządzenia przewodowe, którymi są:

- A. W-BOX – moduł przeznaczony do kontroli modułów na ścianie i transmisji na powierzchnię; posiada wejście zasilające i 2 we/wy transmisyjne oraz klawiaturę operatora;
- B. P-BOX+ – moduł przeznaczony do pomiaru ciśnień; posiada 2 wejścia pomiarowe i 2 we/wy transmisyjne; dodatkowo posiada wejście zasilające i izolację transmisji;
- C. P-BOX – moduł przeznaczony do pomiaru ciśnień; posiada 2 wejścia pomiarowe i 2 we/wy transmisyjne;
- D. G-BOX – moduł przeznaczony do pomiaru stężenia gazów; posiada 2 wejścia pomiarowe i 2 we/wy transmisyjne.

Parametry tych urządzeń przedstawiono w tabelicy 3. (urządzenia przewodowe).



Rys. 7. System X-MAN – urządzenia przewodowe [9]

Tablica 3.

System X-MAN – parametry urządzeń przewodowych [10]

PARAMETR	WARTOŚĆ
Okres próbkowania	500 ms (200 ms G-BOX)
Prędkość transmisji pomiaru	co najmniej 9600 bps
Prędkość transmisji magistralnej	co najmniej 66000 bps
Standard transmisji magistralnej	RS-485 MODBUS RTU
Standard wejścia pomiarowego	RS-485 MXX/DXX
Wyświetlanie wartości	LCD EA LED55X46 (LCD 3,2” RGB W-BOX)
Wyświetlanie stanów	LED 3-kolor (1-kolor G-BOX)
Pobór prądu	Średnio 120 mA
Zasilanie	12V DC (7-15V)
Parametry Ex	I M1 Ex ia I
Obudowa	typu OB-01
Klasa IP	co najmniej IP54
Czas pracy na baterii	co najmniej 4h

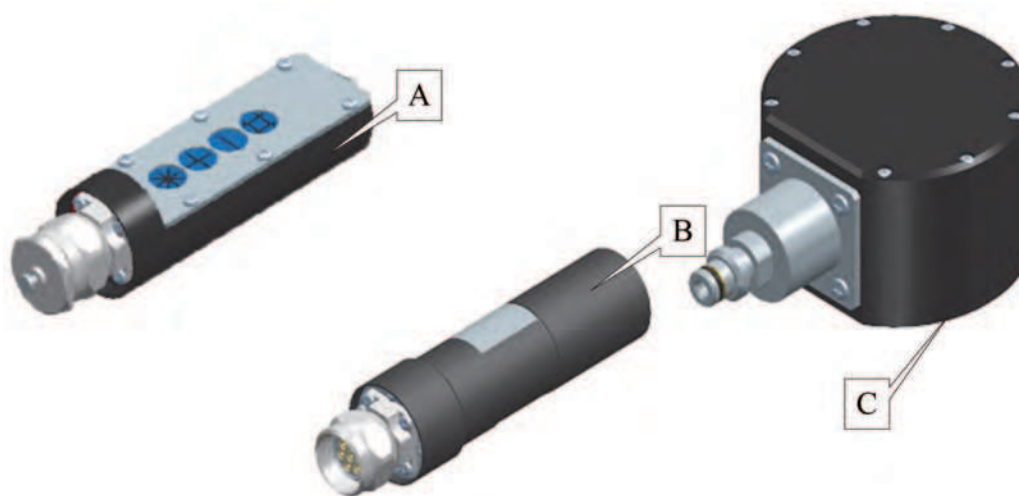
Z kolei na rys. 8. przedstawiono elementy bezprzewodowe, którymi są:

A. Klawiatura KBBT – współpracując z urządzeniem PDA poprzez łącze Bluetooth, umożliwia kalibrację i ustawianie parametrów urządzeń systemu X-MAN oraz innych urządzeń zgodnych z tym systemem; zabezpiecza przed niepożądanym dostępem do nastaw urządzeń oraz do wymiany dużych ilości informacji między urządzeniami; może również współdziałać ze starszymi urządzeniami, współpracującymi do tej pory z klawiaturą kalibracyjną KB-1.

B. Odbiornik MWR (B) – przeznaczony do zapewnienia połączenia radiowego przeznaczonego do bezprzewodowej komunikacji systemu nadrzędnego z urządzeniami pomiarowymi, wyposażonymi w interfejs RS 485.

C. Bezprzewodowy czujnik ciśnienia WPS (C) – przeznaczony do pomiaru ciśnienia i bezprzewodowego przesyłania danych pomiarowych oraz konfiguracyjnych

Parametry tych urządzeń przedstawiono w tablicy 4. (urządzenia bezprzewodowe).



Rys. 8. System X-MAN – urządzenia bezprzewodowe [10]

System X-MAN – parametry urządzeń bezprzewodowych [10]

Tablica 4.

PARAMETR	WARTOŚĆ
Zasilanie	z urządzenia nadrzędnego lub baterii iskrobezpiecznej 3,6 V
Pobór prądu	50 mA (co najwyżej 10 mA w szczycie dla WPS)
Zakres częstotliwości	868 MHz GFSK (Bluetooth Class 1 dla KBBT)
Prędkość transmisji	115000 bps (RS-485 @ 9600 baud dla KBBT)
Parametry Ex	I M1 Ex ia I
Klasa IP	co najmniej IP54
Zakres pomiaru ciśnień	0-60 MPa

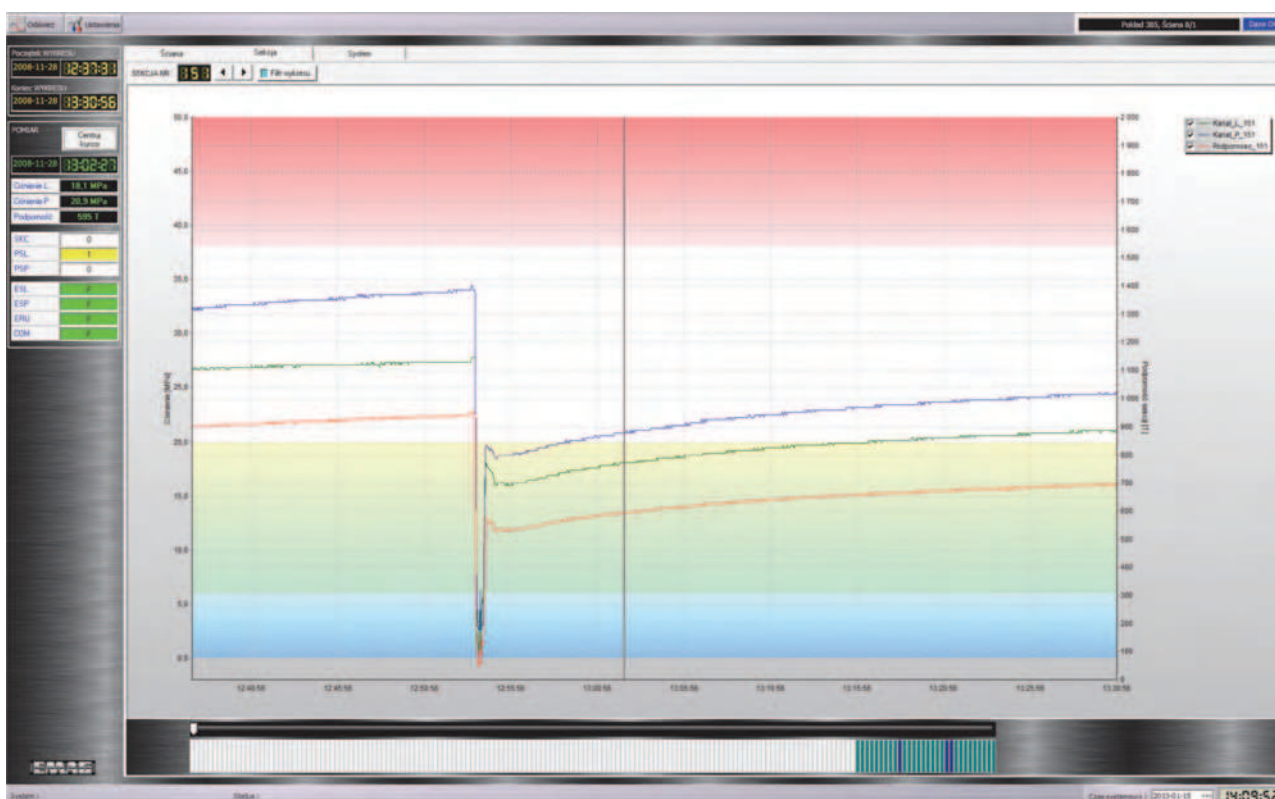
6. OPROGRAMOWANIE SYSTEMU X-MAN

Zadaniem oprogramowania wizualizacyjnego [12] jest prezentacja danych pomiarowych w sposób czytelny dla użytkownika w postaci wykresów. Prezentacja danych posiada dwa tryby:

- bieżącego wyświetlania danych (rys. 9) – przyjmuje się, że okno czasowe wyświetlania danych

w tym trybie to 24 godziny – korzysta z danych bieżących zgromadzonych w postaci plików godzinowych,

- archiwalnego wyświetlania danych – użytkownik sam wybiera okres, z jakiego wyświetla dane, z założeniem, że maksymalny czas wyświetlania danych wynosi 7 dób; tryb ten korzysta zarówno z plików dobowych, jak i plików godzinowych.



Rys. 9. System X-MAN – okno danych z sekcji [11]

W zakładzie górniczym jest możliwe uruchomienie wielu końcówek wizualizacyjnych. Komputery wchodzące w skład systemu będą podłączone do istniejącej sieci kopalnianej LAN. Fizyczna struktura jest zależna od możliwości danej kopalni. Nie przewiduje się specjalnych wymagań dotyczących komputerów wizualizacyjnych ani sieci poza minimalnymi:

- procesor klasy PC, czterordzeniowy o prędkości min. 3 GHz,
- pamięć RAM min. 4 GB,
- karta sieciowa Ethernet 100/1000 Mbps,
- zewnętrzna karta grafiki z pamięcią min. 512 MB,
- istniejąca na kopalni sieć LAN o przepustowości 100/1000 Mbps.

7. SYSTEM X-MAN JAKO SYSTEM BEZPIECZEŃSTWA

System opracowany według poniższych założeń jest przygotowany do przekształcenia na w pełni funkcjonalny systemem bezpieczeństwa.

Zadaniem systemu jest monitorowanie parametrów pozwalających za ocenę zagrożenia ściany wydobywczej, pracujących tam ludzi oraz znajdujących się

urządzeń. Z tego względu system został zaprojektowany w taki sposób, aby dopuszczenie go do pracy jako systemu bezpieczeństwa wymagało możliwie najmniejszych zmian.

Mając to na uwadze, system został opracowany z uwzględnieniem odpowiednich rozporządzeń. Główne wymagania, które zostały wzięte pod uwagę przy prowadzeniu prac projektowych, to:

- w przypadku zaniku zasilania sieciowego – działanie w zakresie podstawowych funkcji nie krócej niż 4 godziny,
- możliwość automatycznego wyłączenia energii elektrycznej, zdalnego sterowania niektórymi urządzeniami lub maszyn oraz współpracy z systemami rozgłoszeniowymi w zakresie komunikatów ewakuacyjnych i ostrzegawczych,
- dokonywanie wyłączeń energii elektrycznej w czasie nie dłuższym niż 15 sekund od momentu podania na wejście skokowej zmiany parametru lub informacji z wejścia dwustanowego,
- zabezpieczanie dostępu do nastaw urządzeń przed niepowołaną ingerencją,
- dokonywanie sygnalizacji optycznej lub dźwiękowej lub obydwu naraz w miejscu zabudowy lub w dyspozytorni w przypadku przekroczenia dopuszczalnej

- zawartości metanu lub innego (monitorowanego) parametru w powietrzu,
- wskazywanie i rejestrowanie w miejscu zabudowy i w dyspozytorni zawartości metanu w powietrzu,
- budowa przeciwwybuchowa pozwalająca na pracę w atmosferze wybuchowej przy dowolnej koncentracji metanu w każdych warunkach (szczególnie w kopalni),

- rejestrowanie, archiwizowanie oraz wizualizacja danych.

Z wymagań prawnych wyniknęły szczegółowe wymagania dla systemu jako całości, poszczególnych urządzeń oraz oprogramowania. Wymagania te dla poszczególnych elementów systemu wymieniono w tablicy 5.

Tablica 5.

Wymagania szczegółowe dla systemu bezpieczeństwa [9]

	Wymagania / uwagi
System	System powinien zapewniać zasilanie awaryjne dla urządzeń biorących udział w pomiarze metanu i transmisji danych pomiarowych (w tym transmisji na powierzchnię) w przypadku zaniku zasilania sieciowego. Transmisja danych pomiędzy urządzeniami G-BOX a urządzeniem W-BOX i ewentualnym urządzeniem wyłączającym powinna pozwalać na zachowanie 15-sekundowego czasu wyłączenia. Kalibracja czujnika powinna być widoczna w systemie. System powinien mieć możliwość dokonywania wyłączeń automatycznych.
Urządzenia:	
Wszystkie urządzenia	Wszystkie urządzenia powinny być w wykonaniu iskrobezpiecznym kategorii „ia”.
G-BOX	Urządzenie powinno posiadać sygnalizator optyczny oraz wyświetlacz oraz wyświetlać pomiar i sygnalizować przekroczenia dopuszczalnych stężeń metanu.
W-BOX	Urządzenie powinno mieć możliwość dokonywania automatycznych wyłączeń (bezpośrednio lub pośrednio).
V-BOX	Urządzenie powinno zapewniać podtrzymanie zasilania dla urządzeń w systemie odpowiedzialnych za pomiar metanu i transmisję na czas nie krótszy niż 4 godziny.
Oprogramowanie systemowe	Oprogramowanie musi rejestrować, archiwizować i wizualizować zebrane dane pomiarowe; wszelkie zmiany nastaw czujnika (w tym kalibracja) powinny być odnotowane; każdy czujnik powinien być identyfikowany przez typ i numer seryjny.

8. MOŻLIWOŚCI ROZBUDOWY SYSTEMU

System został opracowywany dla najtrudniejszego rodzaju zabudowy – w ścianie wydobywczej. Magistralowa struktura systemu, dostosowanie do dużej liczby urządzeń na magistrali oraz częstego odświeżania danych stwarzają szerokie możliwości rozbudowy i modyfikacji systemu, jak również zmianę jego zastosowań. Poniżej wymieniono niektóre z możliwości.

Zastosowanie innych urządzeń na magistrali pozwoli monitorować odmienne parametry. Tym sposobem, poprzez zastosowanie urządzeń G-BOX z różnymi komorami pomiarowymi, można stworzyć system monitorowania składu atmosfery w ścianie wydobywczej. Podobnie zastosowanie czujników sejsmicznych pozwala zmienić charakter systemu z zachowaniem jego struktury.

Struktura magistralowa pozwala zabudować system nie tylko w ścianie wydobywczej, ale także w wyrobiskach chodnikowych, wydłużając odległości pomiędzy urządzeniami. Jedynym ograniczeniem mogą być odległości, ale problem można rozwiązać poprzez stosowanie regeneratorów sygnału w urządzeniach umieszczonych na magistrali.

Odpowiednio opracowany system, protokoły transmisyjne oraz oprogramowanie systemowe pozwalają na rozbudowę funkcjonalności systemu poprzez zastosowanie coraz to innych typów urządzeń. Wśród urządzeń, które pozwolą rozszerzyć zastosowanie systemu, wymienić można:

- czujniki parametrów fizycznych powietrza (temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne),
- sejsmometry/geofony wraz ze stowarzyszonymi z nimi koncentratorami (S-BOX),
- anemometry,
- czujniki parametrów technologicznych (np. ciśnienia w rurociągach),

- koncentratory sygnałów analogowych w różnych standardach,
- koncentratory sygnałów dwustanowych,
- moduły wyjść sterujących,
- elementy sygnalizacyjne.

Zastosowanie powyższych urządzeń w systemie pozwoli na niemal nieograniczone wykorzystanie systemu w roli systemu gazometrii, aerologii, przeciwpożarowego, sejsmicznego lub monitorowania parametrów technologicznych (np. temperatury w przenośnikach taśmowych bądź stanu sieci odmetanowania górotworu). Ponadto system może stanowić element systemu sterowania zautomatyzowanym kompleksem ścianowym.

Wielość zastosowań, możliwość oczyunikowania praktycznie każdego wyrobiska w kopalni w połączeniu z zastosowaniem koncentratorów transmisji kablowej lub światłowodowej umożliwią stworzenie rozbudowanego systemu.

Jak wspomniano wcześniej, planuje się przekształcenie systemu w system bezpieczeństwa. Już na tym etapie przewidziane jest monitorowanie ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej celem oceny stanu stropu. Następnym krokiem powinno być dodanie modułu zbierającego informacje o aktywności kombajnu ścianowego, jego pozycji i prędkości,

a w dalszej perspektywie czasowej mającego także możliwość sterowania pracą tego kombajnu na podstawie zebranych danych.

9. PORÓWNANIE SYSTEMU X-MAN Z SYSTEMAMI ISTNIEJĄCYMI NA RYNKU

W tablicy 6. przedstawiono porównanie wybranych parametrów dla systemów pozwalających na monitorowanie stanu stropu (ciśnień w stojakach obudowy zmechanizowanej) produkcji EMAG (MOPS, X-MAN) i FAMUR (FAMAC RSPC).

System w roli systemu bezpieczeństwa będzie miał kilka dodatkowych zalet, w porównaniu z innymi systemami bezpieczeństwa:

- kontrolą objęciem wyrobisko ścianowe w strefie przyzawałowej narażonej na dopływ metanu ze zrobów w czasie występowania zawału skał stropowych,
- rejestrując wielkości ciśnień w stojakach obudowy, da możliwość oceny warunków sprzyjających wystąpieniu zawału skał stropowych,
- będzie mógł pracować w rejonie ściany nieobjętej stacjonarnym systemem metanometrycznym.

Tablica 6.

Porównanie wybranych parametrów systemów monitorowania ciśnień (opracowanie własne)

PARAMETR	MOPS	RSPC	X-MAN
Wizualizacja cyfrowa ciśnień i stężeń gazu (LCD) na sekcji	NIE	NIE	TAK
Wizualizacja 3-kolorowa (LED) progów i stężeń gazu na sekcji	NIE	TAK	TAK
Transmisja radiowa pomiarów z czujników	NIE	TAK	TAK
Transmisja magistralna kablowa	TAK	NIE	TAK
Transmisja magistralna radiowa	NIE	TAK	NIE
Koncentrator danych w wersji Ex M1 (wersja iskrobezpieczna)	TAK	NIE	TAK
Koncentrator danych w wersji Ex M2 (wersja ognioszczelna)	NIE	TAK	NIE
Gromadzenie danych na wymiennym nośniku	TAK	NIE	NIE
Transmisja danych na powierzchnię	NIE	TAK	TAK
Transmisja modemowa	NIE	NIE	TAK
Transmisja IP	NIE	TAK	NIE
Wizualizacja danych	TAK	TAK	TAK
Korelacja danych	NIE	NIE	TAK

Literatura

1. Dubiński J.: *Związki przyczynowe wstrząsów i tąpnięć*. „Przegląd Górniczy”, 1994, nr 2.
2. Kłeczek Z., Zorychta A.: *Geomechaniczne warunki powstawania wstrząsów górniczych*. W: Materiały III Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych”, t. I., AGH, Kraków 1991.
3. *Raporty roczne o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*, red. W. Konopko, Wydawnictwa GIG, Katowice, lata 1993-2012.
4. Mirek A.: *Wpływ systemu z szerokim otwarciem na kształtowanie się zagrożenia wysokoenergetycznym wstrząsami w kopalniach LGOM* (praca doktorska), Archiwum Biblioteki Głównej AGH, Kraków 2002.
5. Mirek A., Katan D.: *Zagrożenie metanowe w polskim górnictwie węgla kamiennego w ostatnim dwudziestoleciu i perspektywy kształtowania się poziomu tego zagrożenia w najbliższych latach*. W: Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2013, Kraków 2013.
6. Mirek A., Oset K.: *Geofizyczne badania stanu górotworu w świetle nowych uregulowań prawnych dotyczących geofizyków górniczych*. „CUPRUM”, 2013, nr 1(66).
7. Mirek A., Respondek A.: *Metan – bogactwo czy najpoważniejsza z zagrożeń naturalnych występujących w polskim górnictwie węgla kamiennego. Problemy bezpiecznej eksploatacji w świetle zdarzeń zaistniałych w KWK „Wujek” Ruch „Śląsk” i w KWK „Krupiński”*. W: Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2012.
8. Mirek A., Respondek A., Katan D.: *Raport o stanie zagrożenia metanowego i wyrzutami gazów i skal w podziemnych zakładach górniczych*, Materiały własne WUG, Katowice 2012 (niepublikowane).
9. Mirek A., Wowczuk G.: *Prawne uwarunkowania bezpieczeństwa eksploatacji filarów oporowych w polskich kopalniach rud miedzi*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2007, nr 9(440).
10. Oset K.: *Sprawozdanie z etapu 1. pt. „Analiza sposobów monitorowania oraz opracowanie założeń nowego modułowego systemu monitorowania”*, Dokumentacja pracy nr 301 0094 2 63 30 pt. „Opracowanie nowych metod systemowej oceny bezpieczeństwa prac w rejonie ściany wydobywczej (Online Security of Excavation Tools)”, Katowice 2012.
11. Oset K.: *Sprawozdanie z etapu 3. pt. „Wykonanie dokumentacji nowego modułowego systemu monitorowania bezpieczeństwa”*, Dokumentacja pracy nr 301 0094 2 63 30 pt. „Opracowanie nowych metod systemowej oceny bezpieczeństwa prac w rejonie ściany wydobywczej (Online Security of Excavation Tools)”, Katowice 2012.
12. Oset K.: *Sprawozdanie z etapu 5. pt. „Wykonanie oprogramowania i dokumentacji firmware (urządzenia) oraz software (system)”*, Dokumentacja pracy nr 301 0094 2 63 30 pt. „Opracowanie nowych metod systemowej oceny bezpieczeństwa prac w rejonie ściany wydobywczej (Online Security of Excavation Tools)”, Katowice 2012.
13. *Sprawozdania z prac Komisji powoływanych przez Prezesa WUG w latach 2000-2011*, Materiały własne WUG (niepublikowane).
14. *Stan bezpieczeństwa w górnictwie*, Praca zbiorowa, WUG, Katowice, lata 1980-2012.
15. Trenczek S.: *Kreowanie bezpiecznego górnictwa przez dostosowywanie przepisów i systemowego monitorowania do zmieniających się warunków naturalnych*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2013, nr 1, s. 5-12.
16. Zorychta A., Burtan Z., Chlebowski D., Mirek A.: *Geomechaniczne warunki powstawania wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych i ich oddziaływanie na zagrożenie tąpnięciami*. „CUPRUM”, 2000, nr 2.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.