

METODA OCENY STANU ZAGROŻENIA TĄPANIAMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Anna MANOWSKA
Politechnika Śląska

Streszczenie: W artykule zaprezentowano koncepcję przewidywania ryzyka wypadkowego w czasie prowadzenia eksploatacji ścianowej, w warunkach zagrożenia tąpnięciem. W polskich kopalniach zagrożenia tąpnięciami można określić jako duże. Wynika to ze wzrostu głębokości eksploatowanych pól ścianowych i robót przygotowawczych, w tym drażenia przodków chodnikowych, co systematycznie pogarsza warunki geologiczno-górniczne. Wyczerpywanie się zasobów węgla to również powód prowadzenia eksploatacji w warunkach zagrożenia wstrząsami górnictwem. Kopalnie coraz częściej podejmują eksploatację pokładów, gdzie występuje duża liczba krawędzi i resztek pokładów. Tąpnięcia należą ciągle do najbardziej niebezpiecznych zagrożeń naturalnych, są więc zasadniczym problemem i mają największy wpływ na bezpieczeństwo pracy w górnictwie. Zaproponowany sposób przewidywania możliwości wystąpienia tąpnięcia i wielkości strat ludzkich oraz strat rzeczowych może wpłynąć na doskonalenie metod organizowania pracy, a także na usprawnianie systemu zarządzania bezpieczeństwem kopalni.

Słowa kluczowe: zagrożenie tąpnięciami, metody organizowania pracy

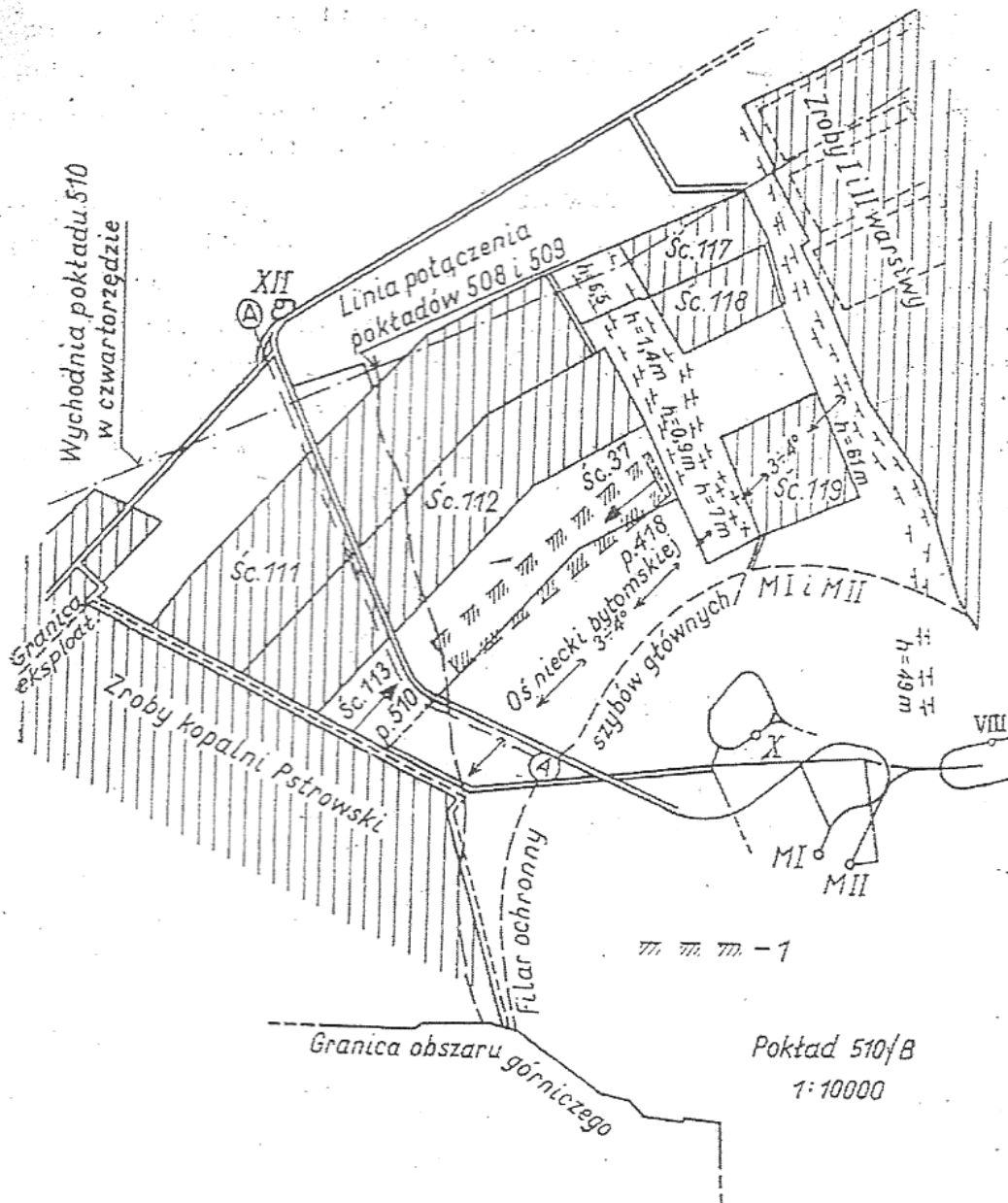
WPROWADZENIE

Tąpnięcie w polskim górnictwie węglowym występuje głównie w północnym i środkowym skrzydle siodła głównego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Związane są one przede wszystkim z eksploatacją pokładów grupy siodłowej (500), zalegających wśród grubych i mocnych warstw skalnych [1]. W ostatnich 10 latach nastąpiło znaczne zmniejszenie liczby tąpnięć w kopalniach eksploatujących pokłady zaliczone do zagrożonych tąpnięciami, nie wynika to z zaniechania eksploatacji w warunkach wysokiego stanu zagrożenia. Jest to wynik właściwego określenia stanu zagrożenia, a co za tym idzie, działanie na rzecz jego ograniczenia. W miarę rozwoju technologii liczba tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego zmniejszyła się z 506 w 1949 r. do dwóch tąpnięć w latach 1996-2000. Natomiast według analizy statystycznej średnio w latach 1949-2010 odnotowano aż 64 tąpnięcia rocznie. Od roku 2000 zgodnie z dokumentacją określającą miejsce i warunki tąpnięć zaistniałych w latach 2000-2010 można stwierdzić, że zjawiskom tym towarzyszyły wstrząsy górotworu o energii 10^5 - 10^8 J. Generowana aktywność sejsmiczna jest niewątpliwie związana z eksploatacją resztkową, a w szczególności z koncentracją robót górniczych w rejonach wpływu krawędzi eksploatacyjnych [2]. Świadczy o tym fakt, że przy stałej tendencji spadkowej wielkości wydobywania z ok. 102 mln ton w 2001 do 82 mln ton w 2010 i zbliżonej w tym okresie licznie tąpnięć 1-5 w każdym roku, aktywność sejsmiczna emitowana przez górotwór była znaczna. Analiza stanu zagrożenia tąpnięciami jest zatem nadal problemem trudnym i wymagającym indywidualnego podejścia. Wynika to z większej wrażliwości chodników na dynamiczne oddziaływania wstrząsów sejsmicznych, mających swe źródło w ich otoczeniu i potencjalnie większych skutków dla pracującej w nich załogi [3].

OKREŚLENIE STREFY BEZPIECZNEJ

Określenie strefy bezpiecznej pomiędzy frontem ścianowym, a krawędzią starej eksploatacji z uwzględnieniem wpływu wyrobiska chodnikowego dotyczy konkretnych sytuacji górniczych często występujących w praktyce ruchowej kopalni. Są to sytuacje,

w których czynny front ścianowy zbliża się do równoległego (lub prawie równoległego) wyrobiska chodnikowego, na które stare zrobry nie oddziałują, a także do samych zrobów lub krawędzi w pokładzie nadległym lub podległym [4, 5, 6, 7, 8]. Przykładem takiej sytuacji górniczej może być uruchomiona w kopalni Miechowice eksploatacja ściany 113 w pokładzie 510, który jest zaliczony do III stopnia zagrożenia tąpnięciami (rys. 1). Eksploatacja była prowadzona z zachodu na wschód, natomiast w pokładzie 418 nietąpiącym uruchomiono ścianę 37 w kierunku ze wschodu na zachód [10].



Rys. 1 Ogólna sytuacja górnicza przed rozpoczęciem wybierania ściany 113

Źródło: Górnictwo w Szczegółach, wspólne sprawy, kwiecień 2010.

Prowadzenie równoległej eksploatacji do siebie w pokładach zalegających nad sobą jest dopuszczalne i możliwe tylko w przypadkach, gdy odległość pionowa pomiędzy tymi pokładami jest większa niż 200 m, co zostało spełnione w przypadku eksploatacji ściany 113. Odległość pionowa między omawianymi pokładami wynosiła około 250 m, a przytoczony artykuł Marcela „Ogólna sytuacja górnicza przed rozpoczęciem wybierania ściany 113”

stanowił materiał pomocniczy przy ustaleniu warunków eksploatacji kopalń, które mają podobną sytuację górniczą, jak np. Rydułtowy-Anna [10, 11].

Przy tak prowadzonej eksploatacji następuje koncentracja naprężeń. W jej następstwie w chwili przekroczenia wytrzymałości węgla może dojść do przemieszczenia się skał do wyrobiska, mającego charakter zawału lub tąpnięcia. Skutki przekroczenia wytrzymałości węgla mogą uwidocznić się zarówno w samym przodku wybierkowym, jak również w wyrobisku chodnikowym (np. tąpnięcie w KWK Rydułtowy-Anna marzec 2010 [12]). Artykuł ten stanowi przykład możliwych działań prewencyjnych w celu ochrony załóg górniczych przed skutkami z jednej strony podbierania pokładu, a z drugiej przed zagrożeniem tapaniami. Dla poprawy bezpieczeństwa górników opracowano metodę wyznaczenia tzw. szerokości strefy krytycznej, przy zbliżającym się froncie ścianowym do chodnika i starych zrobów, co stanowi metodę przewidywania zdarzeń niebezpiecznych.

Przy rozwiązywaniu tego zagadnienia górotwór został potraktowany jako ośrodek liniowo-sprężysty, jednorodny i izotropowy, w którym na pewnej głębokości H zalegał pokład eksploatacyjny z wyrobiskiem chodnikowym o szerokości $2a$. W rozwiązaniu zagadnienia rozpatrzono część górotworu leżącą nad chodnikiem, przyjmując początek układu współrzędnych prostokątnych w stropie pokładu, w połowie szerokości chodnika. Założono również, że istotny wpływ na rozkład naprężeń w strefie pomiędzy czynnym frontem, a wyrobiskiem chodnikowym oraz w strefie między chodnikiem, a starymi zrobami mają: naprężenia pochodzące od czynnego frontu ścianowego, naprężenia od starych zrobów i od chodnika, a także naprężenia naturalne - γH [4, 5].

ALGORYTM WYZNACZENIA STREFY KRYTYCZNEJ [6]

Algorytm postępowania przy wyznaczaniu strefy krytycznej został opracowany przez dr hab. Stanisława Krzemienia w 1990 roku. Opracowany schemat obliczeniowy zawiera następujące etapy:

Etap 1: Wyznaczenie szerokości strefy spękań przy starych zrobach (l_0) i szerokości strefy spękań z obydwu stron chodnika. Strefy spękań wyznaczono z wzoru w postaci:

$$|\sum \Delta|x|| = \frac{\pi k}{2} \quad (1)$$

gdzie:

$|\sum \Delta|x||$ – strefa spękań,

l_0 – szerokości strefy spękań przy starych zrobach,

x – współrzędna liczona w poziomie od punktu rozpoczęcia eksploatacji,

k – współczynnik oporu.

Równanie:

$$\begin{aligned} \frac{\delta \varphi(\alpha z)}{\delta z} &= [B (1 - |\alpha| z) - |\alpha| A] e^{-|\alpha| z} \\ \frac{\delta^2 \varphi(\alpha_1 z)}{\delta z^2} &= [- 2B |\alpha| + | A + Bz | \alpha^2] e^{-|\alpha| z} \\ \frac{\delta^2 \varphi(\alpha_1 z)}{\delta z^2} &= [3\alpha^2 B - A |\alpha| \alpha^2 - zB |\alpha| \alpha^2] e^{-|\alpha| z} \\ \frac{\delta^4 \varphi(\alpha_1 z)}{\delta z^4} &= [-4B |\alpha^3| + | A + Bz | \alpha^4] e^{-|\alpha| z} \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

z – przemieszczenie pionowe,

A, B – parametry modelu,

α – kąt nachylenia pokładu,

δ_φ – naprężenia normalne w kierunku pionowym,

rozwiązano numerycznie, metodą kolejnych przybliżeń, ze względu na szerokość strefy spękań, która zgodnie z przyjętym modelem przestrzennym wyrobisk jest uzależniona od współrzędnej bieżącej x .

W równaniu (2) naprężenia normalne w kierunku pionowym i poziomym oznaczono $\delta_z(x, z)$ oraz $\delta_x(x, z)$. Wzór został wyprowadzony z założenia, że stan naprężeń w ośrodku liniowo-sprężystym, izotropowym dwuwymiarowym opisuje równanie różniczkowe:

$$\Delta^4 \phi(x, z) = 0 \Leftrightarrow \frac{\delta^4 \phi(x, z)}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 \phi(x, z)}{\delta x^2 \delta z^2} + \frac{\delta^4 \phi(x, z)}{\delta z^4} \quad (3)$$

oraz z zależności między naprężeniami i odkształceniami.

$$\begin{aligned} \delta_z(x, z) &= \frac{\delta \phi(x, z)}{\delta x^2}; 2G \frac{\delta w(x, z)}{\delta z} = (1 - \nu) \frac{\delta^2 \phi(x, z)}{\delta x^2} - \nu \frac{\delta^2 \phi(x, z)}{\delta z^2} \\ \delta_x(x, z) &= \frac{\delta \phi(x, z)}{\delta z^2}; 2G \frac{\delta u(x, z)}{\delta x} = (1 - \nu) \frac{\delta^2 \phi(x, z)}{\delta z^2} - \nu \frac{\delta^2 \phi(x, z)}{\delta x^2} \\ \tau(x, z) &= -\frac{\delta \phi(x, z)}{\delta x \delta z}; G \left(\frac{\delta w(x, z)}{\delta x} + \frac{\delta u(x, z)}{\delta z} \right) = -\frac{\delta^2 \phi(x, z)}{\delta x \delta z} \end{aligned} \quad (4)$$

we wzorach tych:

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ – moduł sprężystości postaciowej (Kirchoffa),

ν – współczynnik Poissona ($0 < \nu < 0,5$),

u – przemieszczenia poziome (w kierunku x),

w – przemieszczenia pionowe (w kierunku z),

$\tau_{(x,z)}$ – naprężenia styczne,

$\Phi(x, z)$ – naprężenia w ośrodku liniowo-sprężystym, izotropowym dwuwymiarowym.

Przyjęto, że :

- strefa spękań przy starych zrobach $l_0 = 1 - x$

- strefa spękań przy chodniku od strony starych zrobów $l_0^1 = x - a$

- strefa spękań przy chodniku od strony czynnego frontu $l_0^2 = -x - a = x - a$

Etap 2: Wyznaczenie krytycznej odległości pomiędzy czynnym frontem, a chodnikiem (l_2^{kr})

ze względu na obliczone ze wzoru średnie naprężenie w tej reszcie δ_z^{srL} :

$$\begin{aligned} \delta_{ch}^{srL} &= \frac{G W_0}{\pi l_2} \left[\ln \frac{2\sqrt{(l^2 - a^2)[(l_2 + a)^2 - a^2]} + l^2 + (l_2 + a)^2 - 2a^2}{l^2 - a^2} \ln \frac{l_2 + a}{l_2 - a} + \right. \\ &\quad \left. + \ln \frac{l_2 + a}{l_2 - a} \ln \left| \frac{l(l_2 + a) + a^2 - \sqrt{(l^2 - a^2)[(l_2 + a)^2 - a^2]}}{l(l_2 + a) - a^2 + \sqrt{(l^2 - a^2)[(l_2 + a)^2 - a^2]}} \right| + \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\sqrt{l^2 - a^2}} \ln \left| \frac{l_2 + a + \sqrt{(l_2 + a)^2 - a^2}}{l_2 + a - \sqrt{(l_2 + a)^2 - a^2}} \right| \right] + p \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2a}{l_2}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie:

l – odległość między krawędzią chodnika, a krawędzią starych zrobów,

a – szerokość chodnika,

$\frac{G W_0}{\pi l_2}$ – naprężenia pochodzące od starych zrobów,

w_0 – przemieszczenia pionowe w kierunku osi z

l_2 – odległość pomiędzy krawędzią czynnego frontu a krawędzią chodnika,

p – ciśnienie pierwotne panujące na rozpatrywanej głębokości,

W przypadku kiedy strefa spękań l_0 jest równa szerokości resztki pomiędzy chodnikiem a zrobami, wówczas sporządzony jest przez komputer rozkład naprężeń w resztkce (bez uwzględnienia oddziaływania czynnego frontu) i pomijane są dalsze obliczenia do etapu 4. Jeżeli strefa spękań l_0 obejmuje tylko część szerokości strefa pomiędzy chodnikiem a zrobami wówczas realizowany jest etap 3.

Etap 3: Obliczone jest tutaj średnie naprężenie w resztkce między chodnikiem a starymi zrobami δ_z^{srP} :

$$\delta_{2Ch.}^{srP} = \frac{2Gw_0}{\pi(r-a)} \left[\ln \frac{\sqrt{l^2 - a^2} + \sqrt{r^2 - a^2}}{l+r} + \ln \frac{l+a}{l+r} + \right. \quad (6)$$

$$-\frac{1}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{(1^2-a^2)(r^2-a^2)} + lr - a^2}{\sqrt{(1^2-a^2)(r^2-a^2)} - lr - a^2} \right| +$$

$$+\frac{1}{2} \ln \frac{r + \sqrt{r^2 - a^2}}{r - \sqrt{r^2 - a^2}} * \frac{1}{\sqrt{1^2 - a^2}} \Big] + p \left(1 - \sqrt{\frac{r+a}{r-a}} \right)$$

gdzie:

a – szerokość chodnika,

r – jest odległością między osia chodnika od starych zrobów, pomniejszoną o szerokość strefy spękań przy starych zrobach ($r = l - l_0$)

bez uwzględniania oddziaływania czynnego frontu, a także obliczona jest wytrzymałość tej resztki $\delta_z^{kr.P}$. W przypadku kiedy średnie naprężenie $\delta_z^{kr.P}$ przekracza wartość naprężenia krytycznego $\delta_z^{kr.P}$ sporządzony zostaje rozkład naprężeń w resztkce, jak w etapie 2. W równaniu (6) „ r ” jest odległością między osia chodnika od starych zrobów, pomniejszoną o szerokość strefy spękań przy starych zrobach ($r = l - l_0$)

Etap 4: Gdy naprężenie średnie w resztkce pomiędzy chodnikami i starymi zrobami $\delta_z^{sr.P}$ ma wartość mniejszą od wartości wytrzymałości tej resztki δ^{wp} , wówczas następuje obliczenie średniego naprężenia, w tej samej resztkce, dla przypadku skrajnego położenia czynnego frontu (w linii chodnika, $l_2 = 0$). Naprężenie to oznaczono przez $\delta_z^{sr.P2}$. W sytuacji, kiedy naprężenie $\delta_z^{sr.P2}$ przekracza wartość naprężenia krytycznego $\delta_z^{kr.P}$ następuje obliczenie krytycznej odległości czynnego frontu od chodnika l_1^{kr} ze względu na naprężenia w resztkce między chodnikiem i starymi zrobami, a w sytuacji przeciwnej, jako szerokość strefy niebezpiecznej przyjmuje się wielkość l_2^{kr} wyznaczoną w etapie 1. Jeżeli l_1^{kr} było wyznaczone, wtedy jako niebezpieczną odległość czynnego frontu od chodnika przyjmuje się $l_2 = l_2^{kr}$ jest większe od l_1^{kr} , lub $l_2 = l_1^{kr}$, gdy l_1^{kr} jest większe od l_2^{kr} . W obydwu przypadkach sporządzone rozkłady naprężeń w obydwu resztkach przy odległości l_2 określonej jak wyżej. Odległość l_2 jest odległością czynnego frontu od chodnika, w momencie kiedy w jednej lub drugiej strefie naprężenia osiągną wartość krytyczną. Jeżeli l_2 jest równe l_2^{kr} , wówczas następuje stabelaryzowane zależności średniego naprężenia i wytrzymałości resztki między chodnikiem i czynnym frontem od odległości czynnego frontu od chodnika. Gdy l_2 jest równe l_1^{kr} stabelaryzowana zostaje zależność średniego naprężenia i wytrzymałości resztki między chodnikiem i starymi zrobami od odległości czynnego frontu chodnika.

Dane wejściowe metody muszą zawierać w przedstawionej kolejności następujące wielkości:

1. Głębokość pokładu w metrach /m/,
2. Przeciętny ciężar właściwy skał górotworu $\frac{KN}{m^3}$,
3. Kąt nachylenia pokładu /°/,
4. Odwrotność czasu opóźnienia sprężystego dla skał górotworu $\frac{1}{rok}$,
5. Przeciętną wartość modułu sprężystości postaci skał górotworu /MPa/,
6. Stałą plastyczność węgla /MPa/.
7. Przeciętną wielkość współczynnika Poissona dla skał górotworu,
8. Odległość chodnika od starych zrobów /m/,
9. Szerokość chodnika /m/,
10. Grubość wybrania starych zrobów /m/,
11. Wielkość współczynnika eksploatacyjnego zależnego od sposobu wypełniania przestrzeni w starych zrobach,
12. Średnią grubość wybieranego pokładu przed frontem czynnym /m/,
13. Wielkość współczynnika eksploracyjnego zależnego od sposobu kierowania stropem w pokładzie wybieranym,

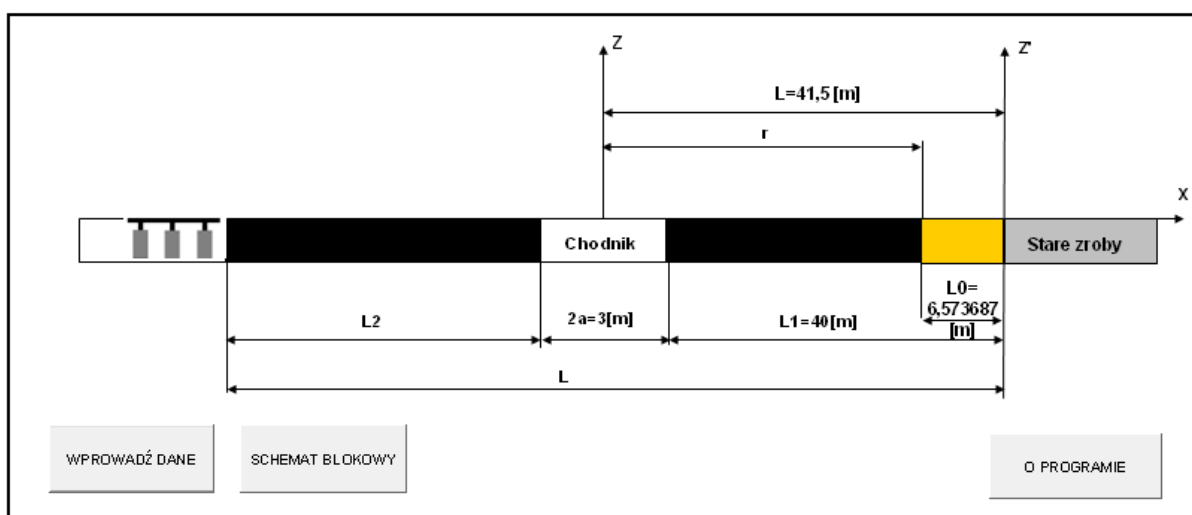
14. Średni roczny postęp frontu eksploracyjnego $\frac{m}{rok}$,
15. Parametr sterujący, mający wartość równą $-1/$.

Opis programu KROLL

Metodologię określenia strefy bezpiecznej pomiędzy frontem ścianowym, a krawędzią starej eksploatacji z uwzględnieniem wpływu wyrobiska chodnikowego zaimplementowano w środowisku Visual Basic wersja 6.3, gdzie powstało praktyczne narzędzie – program KROLL, który może być wykorzystywany przez polskie kopalnie (rys. 2). Panel użytkownika osadzono w standardowym arkuszu Excela, który odwołuje się do aplikacji Visual Basic’a w tle. Po uruchomieniu programu widoczny jest panel główny, na którym pokazano schemat usytuowania w pokładzie wyrobisk górniczych z uwzględnieniem przyjętego układu współrzędnych.

Panel główny

Wyznaczanie szerokości strefy niebezpiecznej przy zbliżaniu się do frontu ścianowego do chodnika położonego w sąsiedztwie starych zrobów.



Rys. 2 Główny panel programu „KROLL”

Źródło: opracowanie własne

Na pulpicie głównym umieszczono przycisk „Wprowadź dane”, który uruchamia formularz danych, przycisk „Schemat blokowy”, który pokazuje algorytm obliczeń oraz przycisk „O programie”, który dostarcza informacji o genezie programu (rys. 3). Kolejnym krokiem jest wprowadzenie danych na specjalnie opracowanym formularzu. Dane to należy wprowadzić w specjalnie przygotowane pola z jednoczesnym sprawdzeniem poprawności. Następnie należy uruchomić proces obliczeń przyciskiem „Oblicz”. Użytkownik będzie mógł prześledzić poszczególne etapy obliczeń na schamcie blokowym, gdzie kolorem zielonym zostaną podświetlone bloki ze spełnionymi warunkami, które wynikają ze specyfiki rozważanego problemu. Wyniki zostaną wygenerowane na pulpicie głównym (rys. 4).

Następnie w nowym arkuszu zostaną automatycznie wygenerowane wykresy rozkładu naprężeń w resztkę między chodnikiem i starymi zrobami bez uwzględnienia oddziaływania czynnego frontu lub sporządzenie rozkładów naprężeń w obu resztkach przy odległości L_2 czynnego frontu od chodnika.

1. Głębokość zalegania pokładu H	[m]	400	ZATWIERDŹ DANE
2. Przeciętny ciężar właściwy skał górotworu	[kNm ³]	25	SCHEMAT BLOKOWY
3. Kąt nachylenia pokładu w stopniach.....		0	PANEL GŁÓWNY
4. Odwrotność czasu opóźnienia sprężystego dla skał górotworu B.....	[1/rok]	3	OBLICZ
5. Przeciętna wartość zastępczego modułu sprężystości postaciowej skał górotworu G	[MPa]	500	WYNIKI
6. Skala plastyczności węgla K	[MPa]	20	
7. Przeciętna wielkość współczynnika Poissona		0,25	
8. Odległość chodnika od starych zrobów L1	[m]	40	
9. Szerokość chodnika	[m]	3	
10. Grubość wybrania starych zrobów	[m]	3	
11. Współczynnik eksploatacyjny ze względu na stare zroby.....		0,15	
12. Grubość średnia pokładu wybieranego przed frontem czynnym.....	[m]	3	
13. Współczynnik eksploatacyjny ze względu na system kierowania stropem w pokładzie wybieranym		0,15	
14. Średni roczny postęp frontu eksploatacyjnego.....	[m]	400	

Rys. 3 Formularz wprowadzania danych programu „KROLL”

Źródło: opracowanie własne

1. Szerokość stref spękań przy starych zrobach [m] $L_0 = 6,573687$ [m]
2. Szerokość stref spękań przy chodniku od strony starych zrobów [m] = $0,1889999999999999$ [m]
3. Szerokość stref spękań przy chodniku z drugiej strony [m] = $0,1463000000000005$ [m]
4. Krytyczna odległość czynnego frontu od chodnika ze względu na naprężenia wreszcie między chodnikami i czynnym frontem = $25,491$ [m]
5. Naprężenie krytyczne = $15,49490907265$ [MPa]
6. Krytyczna odległość czynnego frontu od chodnika = $12,538$ [m]
7. Wytrzymałość tej resztki = $19,463669771454$ [MPa]

 Przyjmujemy krytyczną odległość czynnego frontu od chodnika = $25,491$ [m]

Rys. 4 Formularz wynikowy programu „KROLL”

Źródło: opracowanie własne

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Rozpatrzono konkretną sytuację ruchową zawierającą przemieszczający się front ścianowy w kierunku chodnika usytuowanego równolegle i znajdującego się w strefie oddziaływania starych zrobów. Założonym celem, niech będzie wyznaczenie bezpiecznej odległości l_2^{bezp} , na którą może zbliżyć się front eksploatacji ścianowej do chodnika, dla następujących parametrów charakteryzujących warunki eksploatacji oraz stałe materiałowe górotworu [4]:

1. Głębokość zalegania pokładu $H = 400$ [m]
2. Przeciętny ciężar właściwy skał górotworu $25,0$ $\left[\frac{KN}{m^3}\right]$
3. Kąt nachylenia pokładu $\alpha = 0^0$
4. Odwrotność czasu opóźnienia sprężystego dla skał górotworu $\beta = 3,0$ $\left[\frac{1}{rok}\right]$
5. Przeciętną wartość zastępczego modułu sprężystości postaciowej skał górotworu $G = 500$ [MPa]
6. Skala plastyczności węgla $K = 20$ [MPa]
7. Przeciętna wielkość współczynnika Poissona $\nu = 0,25$
8. Odległość chodnika od starych zrobów $l_1 = 40$ [m]
9. Szerokość chodnika $2a = 3$ [m]
10. Grubość wybrania starych zrobów $g = 3$ [m]
11. Współczynnik eksploatacyjny ze względu na stare zroby $\bar{\eta} = 0,15$
12. Średnia grubość pokładu wybieranego przed frontem czynnym $g = 3$ [m]
13. Współczynnik eksploatacyjny ze względu na system kierowania stropem w pokładzie wybieranym $\bar{\eta}_2 = 0,15$
14. Średni roczny postęp frontu eksploatacyjnego 400 $\left[\frac{m}{rok}\right]$

Wielkość strefy bezpiecznej będzie uzależniona od naprężenia w strefie pomiędzy frontem ścianowym i wyrobiskiem chodnikowym oraz od naprężenia w strefie między chodnikiem a starymi zrobami. W miarę zbliżania się frontu do chodnika naprężenia te będą rosły i mogą osiągnąć wartość krytyczną zarówno w strefie pierwszej jak i drugiej. Z tego względu w programie obliczeniowym wyznaczone są obydwie rozkłady naprężeń. Porównanie ich z naprężeniami dopuszczalnymi, obliczonymi dla każdej części pokładu odrębnie umożliwi określenie odległości krytycznych l_1^{kr} i l_2^{kr} ze względu na te naprężenia. Jako odległość bezpieczną należy przyjąć odległość krytyczną, której wartość jest większa. Zwiększenie tej odległości, przez wprowadzenie współczynnika bezpieczeństwa nie jest konieczne, ponieważ l^{kr} zawiera pewną rezerwę, wynikającą z przyjętych do obliczeń średnich wartości stałych materiałowych. Zagadnienie to będzie można ocenić jednoznacznie po przeprowadzeniu odpowiednich badań i obserwacji dołowych.

Dla konkretnych warunków podanych w przykładzie; po przeprowadzeniu obliczeń w programie otrzymujemy:

- krytyczną odległość czynnego frontu od chodnika ze względu na naprężenia w resztkie między chodnikiem i czynnym frontem: $l_2^{kr} = 25,6$ [m]
- krytyczną odległość czynnego frontu od chodnika ze względu na naprężenia w resztkie między chodnikiem a starymi zrobami: $l_1^{kr} = 13,1$ [m]

Jako odległość krytyczną należy przyjąć $l_2^{kr} = 26$ [m]. Odległość krytyczną można również wyznaczyć graficznie wykreślając przebieg średnich naprężeń w resztkie między czynnym frontem i chodnikiem, a następnie porównując go z wykresami wytrzymałości tej resztki. Wykonane obliczenia, w których uwzględniono rzeczywiste warunki górnicze wskazują, że odległość bezpieczna, na jaką może zbliżyć się front eksploatacyjny do chodnika na który oddziałują stare zrobki jest zależna od wielkości naprężenia pionowego w strefie pomiędzy tym frontem, a chodnikiem oraz od wielkości naprężenia pionowego w strefie między chodnikiem a starymi zrobami. W sytuacji, kiedy w jednej lub w drugiej strefie naprężenie pionowe przekroczy dopuszczalną wartość naprężenia dla tej strefy, może dojść do zawału lub tąpnięcia. Korzystając z programu obliczeniowego można wyznaczyć strefę niebezpieczną, odległość czynnego frontu od chodnika l_1^{kryt} , zarówno ze względu na naprężenie w strefie pomiędzy frontem a chodnikiem l_2^{kryt} , jak również ze względu na naprężenie w strefie pomiędzy chodnikiem a starymi zrobami l_1^{kryt} . Spośród wyznaczonych wielkości l_1^{kryt} i l_2^{kryt} , należy wybrać zawsze tę wielkość, która ma większą wartość i przyjąć, że bezpieczna odległość czynnego frontu od chodnika spełnia warunek:

$$l_{bezp} > l^{kryt} = \max [l_1^{kryt}, l_2^{kryt}] \quad (1)$$

W warunkach ruchowych kopalń, powinno to spowodować odpowiednio wczesne wykonanie ściany zamykającej oraz podjęcie przedsięwzięć technicznych mających na celu spowodowanie odprężenia stref zagrożonych (strzelanie odprężające, wtłaczanie wody itp.). Załączony przykład obliczeniowy wskazuje, że dla najbardziej niesprzyjających warunków górniczych (w granicach głębokości eksploatacyjnej do 1000 [m]) strefa niebezpieczna nie przekracza 80 [m]. Nie jest więc większa od przeciętnej długości ściany. Wielkość szerokości strefy krytycznej można wyznaczyć ze względu na naprężenie pionowe panujące pomiędzy czynnym frontem, a chodnikiem, z pominięciem obliczenia naprężeń między chodnikiem a starymi zrobami w przypadku:

- a) Kiedy chodnik położony jest w znacznej odległości od starych zrobów. Odległość ta należy od aktualnych dla danych warunków górniczych parametrach mechanicznych górotworu, oraz parametrów techniczno-organizacyjnych wybierania. Z przeanalizowania przykładów, w których uwzględniono najbardziej niekorzystne warunki wynika, że odległość chodnika od starych zrobów, powyżej której decydujące wielkości strefy krytycznej są naprężenia pomiędzy frontem a chodnikiem 80 [m].

- b) Kiedy odległość między chodnikiem a starymi zrobami stanowi w całości strefę spękań to powstałe wcześniej wskutek naprężeń pochodzących od zatrzymanej eksploatacji (starych zrobów).

PODSUMOWANIE

Opracowana metodologia określenia stanu zagrożenia wstrząsami górnictwem jest bardzo ważnym czynnikiem zapobiegającym występowaniu sytuacji niebezpiecznych, które mogą wywołać katastrofalne skutki. Dotyczy to konkretnych sytuacji górnictwem często występujących w praktyce ruchowej kopalni. Są to sytuacje, w których czynny front ścianowy zbliża się do równoległego (lub prawie równoległego) wyrobiska chodnikowego, na które stare zroby nie oddziałują, a także do samych zrobów lub krawędzi w pokładzie nadległym lub podległym. Przedstawiona w artykule metodologia wyznaczenia strefy bezpiecznej, w czasie prowadzenia eksploatacji ścianowej, w warunkach zagrożenia tąpnięciem uwzględnia wymóg prawny postawiony kierownictwu kopalń i wyspecjalizowanym służbom, jakim jest obowiązek aktywnej oceny ryzyka skutków zagrożeń wypadkowych, występujących w miejscach wykonywania pracy [9]. Problematyka naukowa i badawcza dotycząca zjawiska tąpnięcia jest niezwykle istotna [12]. Prognozowanie skłonności górotworu do tąpań pozwala bowiem na właściwy dobór środków i metod profilaktycznych, a tym samym wpływa na poprawę bezpieczeństwa robót górnictwem. Załoga ostrzeżona na czas przed nadchodzącym tąpnięciem zostaje wycofana z zagrożonych wyrobisk. W korzystnych sytuacjach istnieje także realna możliwość podjęcia aktywnych środków opanowania zagrożenia i niedopuszczenie do tąpnięcia. Opracowany program KROLL powinien zatem znaleźć szerokie zastosowanie praktyczne podczas określenia parametrów eksploatacyjnych.

LITERATURA

1. Dubiński J., Konopko W.: Tąpnięcia: ocena – prognoza – zwalczanie. GIG, Katowice 2000
2. Firganka B., Klebanowa F.: Zagrożenia naturalne w kopalniach. Sposoby prognozowania, zapobiegania i kontroli., Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1983
3. Konopko W. red.: Warunki bezpiecznej eksploatacji pokładów węgla zagrożonych metanem, tąpnięciami i pożarami endogenicznymi. Praca zbiorowa. GIG, Katowice 2010
4. Krzemień S.: Praktyczny sposób wyznaczania szerokości strefy bezpiecznej pomiędzy frontem ścianowym, a chodnikiem znajdującym się w zasięgu oddziaływania strefy eksploatacyjnej, Zeszyty Naukowe Pol. Śl. seria Górnictwo z.125/1984.
5. Krzemień S.: Zastosowanie programowania logicznego w procesach oprogramowania zagadnień systemów bezpieczeństwa górnictwem na przykładzie zagrożenia tąpnięciami. Prace Centralnego Ośrodka Informatyki Górnictwa. Zeszyt nr 19. Katowice 1988.
6. Krzemień S.: Opracowanie metody budowy stochastycznych modeli prognozowania stanów zagrożenia tąpnięciami w KWK w ujęciu systemowym, Prace Instytutu Organizacji i Ekonomiki Górnictwa, Gliwice, 1990
7. Krzemień S.: Systemowo-informacyjne modele oceny stanu zagrożenia wstrząsami górnictwem w kopalniach węgla kamiennego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, Gliwice, 1991
8. Krzemień S.: Teoretyczne podstawy określania miar stanu zagrożenia bezpieczeństwa w wyrobiskach górnictwem. Monografia, Zeszyty Naukowe Pol. Śl. zeszyt nr 204, Gliwice 1992.
9. Krzemień A., Manowska A., Krzemień S.: Operatywne przewidywanie ryzyka wypadkowego w czasie prowadzenia eksploatacji ścianowej w warunkach zagrożenia tąpnięciem, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 5(237)/2014, s. 23

10. Marcela K.: Ogólna sytuacja górnicza przed rozpoczęciem wybierania ściany 113, źródło: Górnictwo w szczegółach, wspólne sprawy, kwiecień 2010.
11. Mężyk Z.: Akcja zawałowa w KWK „Rydułtowy-Anna”, Ratownictwo Górnicze, Kwartalnik Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A., nr 1 (62), Bytom 2011.
12. Patyńska R., Kabiesz J.: Zagrożenia tąpnięciami w kopalniach GZW w latach 1993-2012, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 5(237)/2014.