
PRACE NAUKOWE GIG GÓRNICITWO I ŚRODOWISKO	RESEARCH REPORTS MINING AND ENVIRONMENT
Kwartalnik	Quarterly 3/2005

Eugeniusz Krause

PROFILAKTYKA W POKŁADACH METANOWYCH ZAGROŻONYCH SEJSMICZNIE

Streszczenie

Znaczący wzrost zagrożenia tapaniami oraz metanowego w związku z eksploatacją na coraz większych głębokościach jest przyczyną zdarzeń i wypadków związanych z ich współwystępowaniem.

Wzrastające, wraz z głębokością prowadzenia robót górniczych w kopalniach węgla, nasycenie złoża metanem oraz coraz większa aktywność sejsmiczna górotworu są czynnikami mogącymi powodować uwalnianie się dużych objętości metanu ze złoża po zaistniałym wstrząsie lub tąpnięciu. Koincydencja zagrożeń tapaniami i metanowego będzie w przyszłości stanowiła najbardziej katastroficzny czynnik podczas prowadzenia eksploatacji górniczej.

Analiza przyczynowo-skutkowa wpływów metanu po zaistniałych wstrząsach wysokoenergetycznych, o energii powyżej 10^5 J, pozwoliła na zajęcie stanowiska co do mechanizmów ich przebiegu (Krause 2004).

Ograniczenie niebezpiecznych wpływów metanu po wstrząsach powinno zostać uwzględnione przy opracowywaniu wyprzedzającej profilaktyki metanowej na etapie projektowania eksploatacji w złożu o dużej aktywności sejsmicznej, co zostało zasygnalizowane syntetycznie w niniejszej publikacji.

Coal seams methane protection in seismic hazardous conditions

Abstract

Significant increase of rock-bump hazard and methane hazard in relation to mining at more and more greater depths is reason of events and accidents connected with their jointly occurrence.

Increasing with depth of mining methane saturation of deposit in coal mines and more and more greater seismic activity of rockmass are factors being able to cause releasing large volumes of methane from the deposit after occurrence of shock or outburst. In future, coincidence of rock-bump hazards and methane hazards will constitute the most catastrophic factor in mining.

Cause-effect analysis of methane outflows after high-energetic shocks occurrence, with energy above 10^5 J, enabled to assume standpoint to a question of mechanisms of their course (Krause 2004).

Limitation of dangerous methane outflows after shocks should be taken into account at working-out outdistancing methane protection at the stage of projecting exploitation of deposit with large seismic activities, what was briefly signalled in the present publication.

WPROWADZENIE

Koncentracja wydobywania oraz prowadzenie eksploatacji na coraz większych głębokościach przyczynia się do wzrostu zagrożeń naturalnych, szczególnie zagrożenia tapaniami i metanowego. Wpływ koncentracji wydobywania na zagrożenia naturalne stanowi od wielu lat przedmiot badań i analiz wykonywanych w Głównym Instytucie Górnictwa. Ich wynikiem są opracowane zasady, kryteria oraz nowa metoda prognozowania wydzielania metanu do środowiska projektowanych ścian, zawarte w Instrukcjach nr 8, 9, 10, 14 i 17 Głównego Instytutu Górnictwa, sukcesywnie wydawanych od 1998 roku.

Instrukcje te są pomocne kierownictwu Zakładów Górniczych w podejmowaniu decyzji na etapie projektowania oraz w czasie prowadzenia robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego.

Wzrost zagrożenia tapaniami, przy współwystępowaniu zagrożenia metanowego, spowodował, w ostatnich dziesięciu latach, niebezpieczne wypływy metanu do wyrobisk górniczych. Intensywne wypływy metanu po zaistniałych wstrząsach były powodem tworzenia się w wyrobiskach atmosfery niezgodnej z obowiązującymi przepisami, w tym niezdatnej do oddychania, ponadwybuchowej lub wybuchowej. Przykładem może być przerwanie ciągłości przewietrzania po zaistniałym wysokoenergetycznym wstrząsie i tąpnięciu w rejonie ściany 303 w pokładzie 507 w KWK Zabrze – Bielszowice w dniu 12.12.1996 r., które spowodowało uduszenie się dwóch górników, przechodzących chodnikiem podścianowym 7 bz do zniszczonego przez tąpnięcie odcinka wyrobiska.

Doświadczenia ruchowe kopalń potwierdzają, że intensywne niebezpieczne wypływy metanu do wyrobisk górniczych mogą wystąpić po wstrząsach wysokoenergetycznych o energii powyżej 10^5J w otoczeniu złoże o metanonośności powyżej $2,5\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$.

W warunkach wstrząsów wysokoenergetycznych, przy nasyceniu złoże metanem poniżej $2,5\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$, następuje wzrost jego zawartości w powietrzu o około 0,2–0,4%, a bezwzględne wartości kształtują nieznaczny wzrost poziomu zagrożenia metanowego. Wstrząsy wysokoenergetyczne powodujące rozszczelinowanie górotworu wokół wyrobisk eksploatacyjnych, a tym samym zwiększenie jego przepuszczalności, wpływają na uintensywnienie migracji metanu z górotworu w kierunku wyrobisk lub zrobów. Metanonośność oraz stopień zniszczenia struktury złoże, po zaistniałym wstrząsie lub tąpnięciu, rzutują na stopień jego odgazowania i intensywność desorpcji metanu z węgla do wyrobisk górniczych.

Metan dopływający do wyrobisk, po zaistniałym wstrząsie, może pochodzić z pokładu eksploatowanego oraz pokładów podebranych i nadebranych, objętych zasięgiem oddziaływania fali sejsmicznej. Wypływ ten może mieć przebieg niekontrolowany, co stwarza duże zagrożenie dla zatrudnionej załogi.

Analiza przyczynowo-skutkowa zaistniałych wstrząsów wysokoenergetycznych w polskich kopalniach węgla kamiennego, których następstwem były wypływy metanu do wyrobisk, pozwoliła na zajęcie stanowiska co do ich mechanizmu w zależności od lokalizacji epicentrum wstrząsu w stosunku do położenia frontu eksploatacyjnego (Krause 2004).

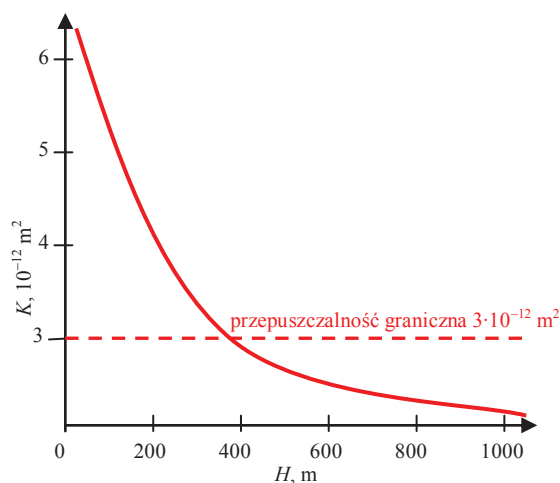
Jak wspomniano, ze wzrostem głębokości eksploatacji wzrasta stan zagrożenia spowodowany koincydencją niebezpiecznych zjawisk. W takiej sytuacji większego znaczenia nabierają rygory i zakres stosowania profilaktyki tapaniowo-metanowej. W szczególności dotyczy to kopalń GZW, takich jak: „Bielszowice”, „Halemba”, „Wujek” „Śląsk” i „Wesoła”, gdzie koincydencja zagrożeń jest znaczna.

Nadmienić należy, że chociaż zagrożenie tapaniami, jak i metanowe, są rozpoznawane w bardzo dużym stopniu, to jednak do tej pory nie opracowano syntetycznych metod rozpoznawania, prognozowania i profilaktyki współwystępujących zagrożeń, z uwzględnieniem współczesnych trendów eksploatacji górniczej.

1. MECHANIZM WYDZIELANIA SIĘ METANU PODCZAS EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Ruch gazu w węglu i otaczających go skałach zależy przede wszystkim od ich przepuszczalności. Na podstawie badań stwierdzono, że przepuszczalność węgla jest znacznie większa niż skał, ponadto jest większa w kierunku równoległym do uławicenia niż prostopadłym. Przepuszczalność węgla maleje ze wzrostem uwęglenia oraz ze wzrostem głębokości, a zatem i ze wzrostem ciśnienia. Uwalnianie się metanu z pokładów węgla, na skutek niewielkiej przepuszczalności skał, jest procesem powolnym i przebiega w ograniczonych ilościach. Czynnikiem powodującym intensywne uwalnianie się metanu z pokładów węgla jest ich odprężanie, na skutek eksploatacji górniczej. W pokładach odprężonych przepuszczalność węgla wzrasta sto-, a nawet tysiącrotnie. Z badań laboratoryjnych wynika, że może ona wzrosnąć na przykład od $1 \cdot 10^{-15}$ – $2,2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ do $4,1 \cdot 10^{-12}$ – $32 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$. Duży wpływ na wzrost przepuszczalności pokładów mają naprężenia rozciągające. Na podstawie wyników badań oraz doświadczeń praktycznych przyjęto, że graniczna przepuszczalność, przy której może wystąpić przepływ metanu w pokładzie węgla, wynosi $3 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$.

Zależność przepuszczalności pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym od głębokości przedstawiono na rysunku 1. Wynika z niego, że wspomniana graniczna przepuszczalność występuje na głębokości około 400 m.



Rys. 1. Zmiana przepuszczalności K pokładów węgla z głębokością zalegania H (Kozłowski, Grębski 1982); linią przerywaną zaznaczono przepuszczalność graniczną

Fig. 1. Change of permeability K of coal seams with bedding depth H (Kozłowski, Grębski 1982); terminal permeability was marked with dashed line

Potwierdzeniem powyższego jest fakt, że w warunkach naturalnych strefa zwiększonej przepuszczalności wokół otworu badawczego, wykonanego w węglu, ma promień od ułamka metra do maksymalnie 2 m. Przy częściowym, a tym bardziej przy

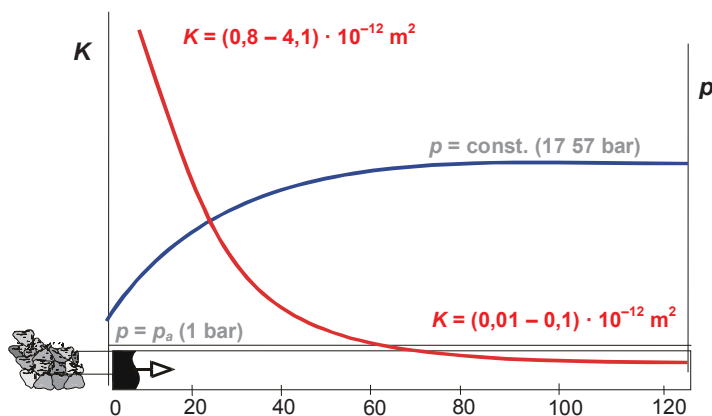
całkowitym odprężeniu pokładu podebranego promień drenującego wpływu otworu może osiągnąć dziesiątki metrów. W pokładach nadbieranych skuteczność drenowania jest mniejsza.

Wydzielanie się metanu podczas robót eksploatacyjnych należy odnieść do tzw. środowiska ściany, obejmującego obszar górotworu związany z prowadzoną eksploatacją, z którego wydziela się metan mogący wypływać do wyrobisk górniczych i zrobów ściany, stwarzając zagrożenie. Przez środowisko ściany należy rozumieć:

- pokład eksploatowany w parceli ściany wraz z wyrobiskami przyścianowymi,
- obszar desorpcji metanu w górotworze,
- zroby poeksploatacyjne mające połączenie z obszarem desorpcji,
- zroby poeksploatacyjne przylegające do pola ścianowego,
- wyrobiska korytarzowe przechodzące przez obszar desorpcji.

Rozkład ciśnienia i przepuszczalności w pokładzie wybieranym przed frontem eksploatowanej ściany przedstawiono na rysunku 2. Z badań wynika, że przepuszczalność pozwalająca na przepływ metanu w płaszczyźnie pokładu występuje w bardzo niewielkiej odległości przed ścianą, a wartość ciśnienia gazu w tym obszarze jest zbliżona do wartości ciśnienia atmosferycznego. Jednocześnie w odległości kilku – kilkunastu metrów przed frontem ściany wartość przepuszczalności pokładu jest zbliżona do wartości przepuszczalności występującej w warunkach naturalnych w złożu nienaruszonym.

Na skutek różnicy wytrzymałości skał, w których zalega wybierany pokład, nad i pod wybraną przestrzenią następuje rozwarstwienie i tworzenie się tak zwanych pustek Webera. Pustki te stanowią rezerwuary metanu.



Rys. 2. Rozkład ciśnienia p gazu i przepuszczalności K w pokładzie eksploatowanym (Kozłowski, Grębski 1982)

Fig. 2. Distribution of gas pressure p and permeability K in exploited seam (Kozłowski, Grębski 1982)

Strefy zwiększonej przepuszczalności, jak i pustki spowodowane rozwarstwieniem, rozciągają się nad i pod zrobami pokładu. W strefach odprężenia przepuszczalność gazowa jest tak duża, że praktycznie gaz może się przemieszczać na odległości przekraczające długość ścian.

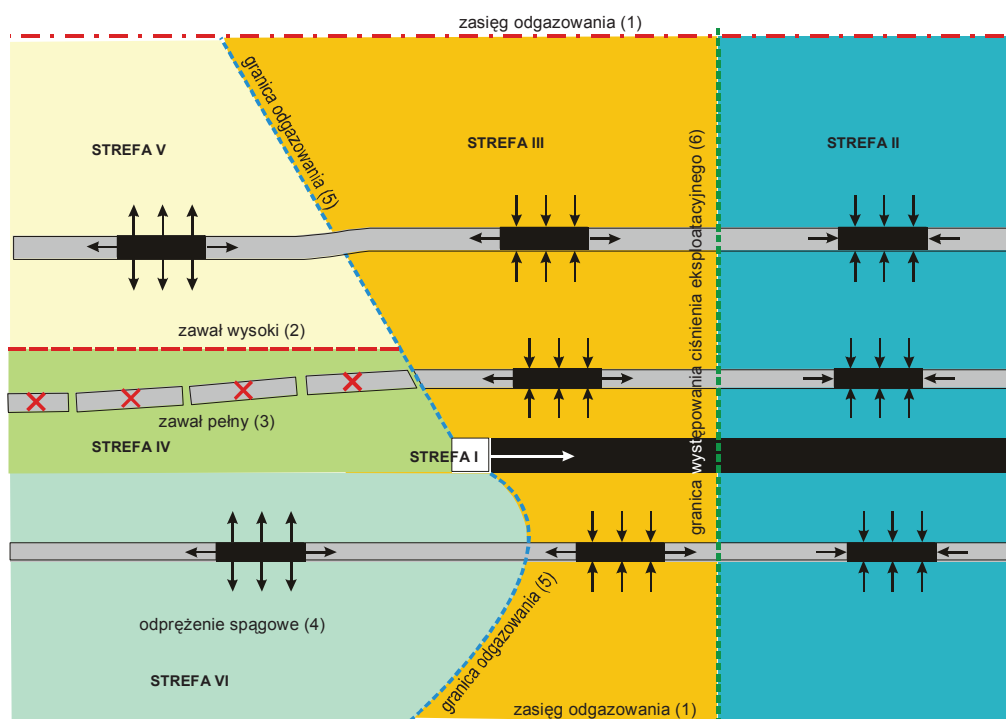
Wzdłuż osi pola ścianowego możliwości przepływu metanu są również ściśle związane z przepuszczalnością. Na skutek rozwarstwienia górotworu przepuszczalność w pokładach podbieranych i nadbieranych wzrasta do pewnej odległości od ściany, osiągając najwyższe wartości w odległości około 100 m, a nawet 200 m od ściany w warstwach podbieranych i około 30–50 m w warstwach nadbieranych. W miarę oddalania się od frontu ściany gruzowisko zawałowe ulega zagnieceniu i przepuszczalność ponownie zmniejsza się.

Gdy w górotworze odprężonym wytworzy się sieć spękań i szczelin oraz, na skutek intensywnej desorpcji, nastąpi spadek ciśnienia metanu do ciśnienia zbliżonego do atmosferycznego, a także zwiększy się wielokrotnie współczynnik przepuszczalności, to nawet niewielka zmiana ciśnienia atmosferycznego w sposób wyraźny może zmienić zarówno kierunek przepływu metanu w górotworze, jak i jego ilość. Metan z górotworu odprężonego będzie migrować zgodnie z rozkładem potencjału aerodynamicznego w środowisku ściany. Można przyjąć, że nawet niewielka zmiana ciśnienia w strefie górotworu odprężonego, wywołana wstrząsem sejsmicznym, może być przyczyną dużej zmiany objętości metanu wydzielonej do wyrobisk.

Rozkład stref odgazowania górotworu w środowisku ściany przedstawiono na rysunku 3:

- Strefa I – to przewietrzane powietrzem wentylacyjnym wyrobisko ścianowe, w którym występuje intensywne odgazowanie jego czoła oraz urobionego węgla. W czole ściany przepuszczalność węgla jest bardzo duża, a ciśnienie metanu zbliżone do atmosferycznego (rys. 2), dlatego wstrząs którego skutki będą widoczne w pobliżu czoła ściany może spowodować **wydzielenie się stosunkowo niewielkich ilości metanu**.
- Strefa II – obejmuje obszar górotworu przed strefą odgazowania i ciśnienia eksploatacyjnego. Wstrząs górotworu, którego skutkiem będzie wytworzenie szczelin i zniszczenie struktury węgla **spowoduje bardzo duże zagrożenie związane z wydzielaniem się metanu bezpośrednio do wyrobisk przyścianowych**, ponieważ spękania i szczeliny będą mieć kontakt z tymi wyrobiskami.
- Strefa III – to obszar górotworu w strefie odgazowania i ciśnienia eksploatacyjnego. W strefie tej występują naprężenia ściskające prostopadłe do uławicenia (zmniejszające przepuszczalność) oraz naprężenia rozciągające i ścinające równoległe do uławicenia (zwiększające przepuszczalność i częściowo niszczące strukturę węgla). Wystąpienie w tej strefie, już częściowo przygotowanej do odgazowania, wstrząsu wysokoenergetycznego, **może skutkować dużym wzrostem zagrożenia metanowego, przy czym wypływ metanu do wyrobisk będzie znacznie szybszy niż w strefie II**. Wytworzone szczeliny i spękania będą mieć kontakt zarówno z wyrobiskiem ścianowym, z wyrobiskami przyścianowymi, jak i ze zrobami ściany.
- Strefa IV – to obszar górotworu obejmujący tzw. zawał pełny, którego wysokość jest równa około 4–5-krotnej miąższości warstwy eksploatowanej. W strefie tej pokłady zalegające w stropie ulegają praktycznie całkowitej destrukcji i znacznemu odgazowaniu. Przepuszczalność jest duża, a pustki i szczeliny wypełnione są metanem pod ciśnieniem równym ciśnieniu atmosferycznemu. **Skutkiem wstrząsu górotworu może być wypchnięcie metanu ze zrobów do wyrobisk („zjawisko tłoka”), przy czym poziom zagrożenia metanowego będzie zależny od systemu przewietrzania.**

- Strefa V – to obszar górotworu obejmujący odprężone pokłady stropowe powyżej zawału pełnego. W strefie tej występują naprężenia rozciągające, przepuszczalność jest bardzo duża, a w odprężonych pokładach następuje długotrwała desorpcja metanu. Skutkiem wstrząsu wysokoenergetycznego będzie dodatkowe zniszczenie struktury węgla w tych pokładach, wzrost desorpcji metanu, a co za tym idzie – wzrost wydzielania do zrobów ściany. Zagrożenie metanowe będą powodować wyłącznie zrobry.
- Strefa VI – to obszar górotworu obejmujący odprężone pokłady zalegające w spągu. Zjawiska wstrząsów zachodzące w tej strefie będą, co do mechanizmu w przebiegu wydzielania metanu, podobne jak w strefie V, lecz zasięg występowania zwiększonej przepuszczalności pokładów będzie znacznie mniejszy niż w przypadku pokładów występujących w warstwach stropowych. Zagrożenie metanowe będą powodować wyłącznie zrobry.



Rys. 3. Rozkład stref (I–VI) odgazowania górotworu w środowisku ściany: 1 – zasięg odgazowania, 2 – zawał wysoki, 3 – zawał pełny, 4 – odprężenie spagowe, 5 – granica odgazowania, 6 – granica występowania ciśnienia eksploatacyjnego

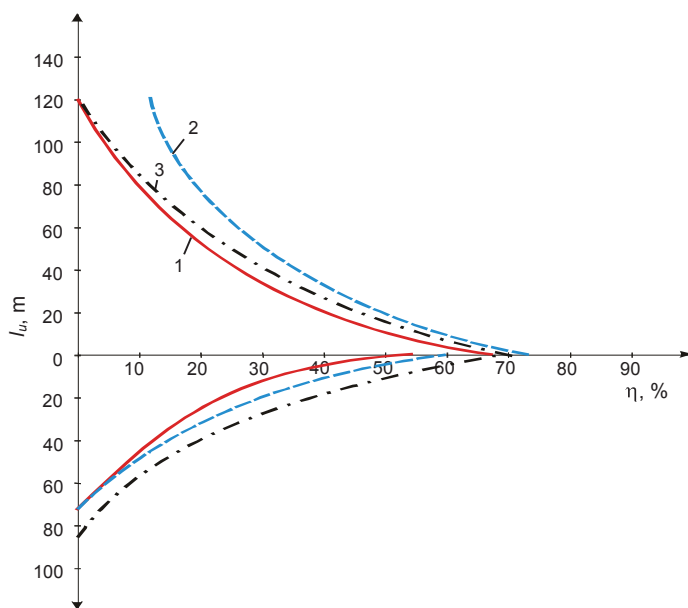
Fig. 3. Layout of rock mass degasification zones (I–VI) in the longwall environment: 1 – degasification range, 2 – high partial roof caving, 3 – roof caving, 4 – floor relaxation, 5 – degasification border, 6 – border of occurrence of abutment pressure

Występowanie wstrząsów, w zależności od ich lokalizacji, odpowiednio zwiększa w czasie stopień odgazowania pokładów, a tym samym wpływa na wzrost wydzielania metanu w środowisku ściany.

Strumień metanu dopływającego do środowiska ściany, po zaistniałym wstrząsie górotworu, może pochodzić z pokładu eksploatowanego oraz pokładów podebranych i nadebranych, objętych strefą przepuszczalności gazowej w zasięgu oddziaływania energii fali sejsmicznej. W warunkach lokalizacji epicentrum wstrząsu w parceli ściany przed jej frontem należy liczyć się przede wszystkim z dopływem metanu do wyrobisk, głównie z pokładu eksploatowanego, w mniejszym stopniu z pokładów niżej i wyżej zalegających. Pokład eksploatowany przed frontem ściany jest nasycony metanem w ilości odpowiadającej jego metanonośności pierwotnej. Z eksploatowanego pokładu, zniszczonego na skutek wstrząsu lub tąpnięcia, są uwalniane desorbowane zasoby metanu do wyrobisk przyścianowych.

Reasumując, zniszczenie struktury pokładu eksploatowanego przed frontem ściany, na skutek wstrząsu, stwarza bardzo duże zagrożenie wypływu metanu do wyrobisk przyścianowych, zależne od stopnia i objętości zniszczenia oraz metanonośności pokładu.

W wyniku występowania wstrząsów nad lub pod pokładem eksploatowanym w strefie odprężenia eksploatacyjnego wzrasta stopień odgazowania pokładów w stosunku do odgazowania pokładów w warunkach niewystępowania aktywności sejsmicznej górotworu. Na rysunku 4 przedstawiono szacunkowy wpływ wstrząsów górotworu w rejonie ścian na zwiększenie zasięgu i stopnia odgazowania pokładów podebranych oraz nadebranych w obszarze odprężenia eksploatacyjnego.



Rys. 4. Stopień odgazowania η pokładów stropowych i spagowych w środowisku ściany w warunkach występowania wstrząsów (Krause 2004): l_u – odległość umowna, 1 – stopień odgazowania (bez aktywności sejsmicznej), 2 – stopień odgazowania (wstrząs w stropie), 3 – stopień odgazowania (wstrząs w spagu)

Fig. 4. Degasification degree η of roof and floor seams in longwall environment in conditions of shocks occurrence (Krause 2004): l_u – conventional distance, 1 – degasification degree (without seismic activities), 2 – degasification degree (shock in roof), 3 – degasification degree (shock in floor)

W przypadku lokalizacji epicentrum wstrząsów nad pokładem eksploatowanym należy liczyć się ze znaczącym zwiększeniem się zasięgu i wielkości strefy odgazowania pokładów podebranych (linia przerywana), przy jednocześnie mniejszym zasięgu strefy odgazowania pokładów nadebranych. W sytuacji, gdy epicentrum wstrząsu znajduje się pod pokładem eksploatowanym wystąpi sytuacja odwrotna (linia przerywana z kropkami). **Zwiększenie stopnia odgazowania pokładów podebranych i nadebranych w środowisku ścian, na skutek aktywności sejsmicznej, przyczynia się do zwiększenia wielkości strumienia metanu dopływającego do wyrobisk rejonów eksploatacyjnych, tym samym okresowego wzrostu ich metanowości bezwzględnej**

2. WPLYW PROFILAKTYKI TAPANIOWEJ NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ ZAGROŻENIA METANOWEGO

Doświadczenia uzyskane podczas eksploatacji pokładów węgla zalegających w górotworze skłonnym do tępnię pozwalają na sformułowanie wielu zaleceń, których uwzględnienie, na etapie projektowania robót górniczych, w istotny sposób wpływa na zmniejszenie zagrożenia tapaniami. Profilaktykę tapaniową, obejmującą metody oceny stanu zagrożenia tapaniami oraz metody zwalczania tępnię, opisano w publikacji (Konopko 2005). Metody zwalczania tępnię zostały podzielone na długofalowe i doraźne (aktywne). W metodach długofalowych istniejące zagrożenia uwzględnia się już na etapie dokumentowania złoża i odpowiednio wykorzystuje informacje w projektowaniu udostępniania i rozcinania złoża oraz maksymalnego wykorzystania efektu eksploatacyjnego odprężenia pokładu. Zastosowanie metod długofalowych w zasadniczy sposób rzutuje na wyprzedzające częściowe odgazowanie, tym samym zmniejszenie metanonośności pierwotnej pokładów, przez ich odprężenie. Częściowe odprężenie, w wyniku którego następuje odgazowanie pokładów zagrożonych tapaniami, przewidzianych w okresie późniejszym do eksploatacji, z uwagi na zagrożenie metanowe jest najskuteczniejsze. Eksploatacja pokładów tępniących, które zostały wcześniej częściowo odprężone i odgazowane, zmniejsza w zasadniczy sposób możliwość niekontrolowanych wypływów metanu ze złoża w wyniku wstrząsów lub tępnięć. Aktywne metody zwalczania tępnię w wyniku destrukcji pokładu lub górotworu (MW, wodą, otworami odprężającymi) powodują zmniejszenie poziomu zagrożenia tapaniami i metanowego.

Analizując zagrożenie metanowe oraz wpływ na nie stosowanych metod profilaktyki tapaniowej, w dalszej części artykułu odniesiono się do tych, które wzajemnie się uzupełniają i mogą powodować zmniejszenie zagrożenia tapaniami i metanowego w warunkach ich współwystępowania.

Profilaktykę tapaniową należy rozpatrywać w odniesieniu do stref odgazowania górotworu (rys. 3), ponieważ zastosowane środki mogą implikować różne skutki w różnych obszarach górotworu. Analizą objęto wspomniane metody profilaktyki tapaniowej, które rzutują na poziom występującego zagrożenia metanowego, a mianowicie:

- odprężanie pokładów tąpniących za pomocą wybierania pokładów odprężających (metoda długofalowa),
- destrukcja skał zwięzłych za pomocą strzelań torpedujących oraz szczelinowanie skał techniką hydrauliczną lub strzelniczą (metody aktywne).

3. WYBIERANIE POKŁADÓW ODPREŻAJĄCYCH I ODPREŻONYCH

Wybieranie pokładów metanowych odprężających w dwojaki sposób wpływa na stan zagrożenia metanowego:

- W czasie wybierania pokładu odprężającego (podczas eksploatacji którego występowanie wstrząsów wysokoenergetycznych jest możliwe) stan zagrożenia metanowego najczęściej odpowiada pierwotnym warunkom geologiczno-gazowym. Jeżeli zatem pokłady (odprężany i odprężający) znajdują się w niewielkiej odległości, a ich metanonośności pierwotne M_0 są duże – powyżej $4,5 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$ – to zagrożenie metanowe w czasie prowadzenia eksploatacji pokładu odprężającego będzie znaczące.
- W czasie wybierania wcześniej odprężonego pokładu ma się do czynienia z jego metanonośnością w znacznym stopniu zmniejszoną (metanonośnością wtórną M_w), a zatem również ze zmniejszonym wydzielaniem metanu do środowiska ściany, przy jednoczesnym zmniejszonym zagrożeniu tąpnięciami. Sposób ten uznać należy za najbardziej skuteczny i celowy.

Metanonośność pokładu odprężonego zmienia się następująco

$$M_w = M_0(1 - \eta), \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}} \quad (1)$$

gdzie:

M_w – metanonośność wtórna (po odgazowaniu), $\text{m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$;

M_0 – metanonośność pierwotna, $\text{m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$;

η – stopień odgazowania, %.

Stopień odgazowania pokładu odprężanego określa się na podstawie krzywych odgazowania (linie ciągłe – rys. 4), wyznaczonych zależnościami (Krause, Łukowicz 2000):

- jeżeli pokład odprężający jest wybierany powyżej pokładu odprężanego

$$\eta = 0,5414e^{-0,037lu} \quad (2)$$

- jeżeli pokład odprężający wybierany jest poniżej pokładu odprężanego

$$\eta = 0,6771e^{-0,04lu} \quad (3)$$

gdzie l_u – odległość umowna pokładu odprężającego od odprężanego; oblicza się ją ze wzoru

$$l_u = \frac{l}{m_e \alpha} \quad (5)$$

gdzie:

l – rzeczywista odległość pokładu nadebranego lub podebranego od pokładu eksploatowanego, m;

m_e – miąższość eksploatacyjna pokładu odprężającego, m.

α – współczynnik zależny od sposobu wypełnienia zrobów, który wynosi:

- 1 – dla eksploatacji z zawalem stropu,
- 0,3–0,5 – dla eksploatacji z podsadzką suchą,
- 0,2–0,4 – dla podsadzki płynnej ze skał płonnych,
- 0,05–0,15 – dla podsadzki płynnej z piasku.

Podczas wybierania pokładu odprężającego zwiększa się również przepuszczalność górotworu, co ułatwia odgazowanie złoża w zasięgu środowiska ścian, eksploatowanych po pewnym czasie w pokładach odprężonych.

Zaznaczyć jednakże należy, że w przypadku wystąpienia wstrząsu wysokoenergetycznego, w czasie wybierania pokładu odprężonego, wypływ metanu do wyrobisk na skutek większej przepuszczalności będzie następował z większą kinetyką niż z górotworu nieodprężonego, jednakże przy mniejszej bezwzględnej objętości strumienia metanu dopływającego do środowiska ściany.

Reasumując, podczas prowadzenia eksploatacji w pokładzie odprężonym poziom zagrożenia metanowego na skutek aktywności sejsmicznej będzie wielokrotnie niższy niż w otoczeniu złoża nieodprężonego.

4. DESTRUKCJA GÓROTWORU ZA POMOCĄ STRZELAŃ TORPEDUJĄCYCH

Metoda strzelań torpedujących polega na wykonywaniu otworów wiertniczych (o średnicy najczęściej 75 mm) w skałach zwięzłych i jednoczesnym odpalaniu w nich ładunków materiału wybuchowego w ilości 200–500 kg. W sąsiedztwie otworu powstaje wtedy sieć spękań i szczelin, która powoduje zmniejszenie wytrzymałości warstwy zwięzłej, czego wynikiem jest łatwiejsze załamywanie się skał stropowych. Ponadto, strzelaniami torpedującymi są prowokowane wstrząsy górotworu zarówno nisko-, jak i wysokoenergetyczne. Metoda strzelań torpedujących nie może mieć większego wpływu na profilaktykę metanową z powodu niewielkiego zwiększenia zasięgu przepuszczalności skał. Jednakże, gdyby w pobliżu sieci takich otworów lub zeszczelinowania górotworu zostało zlokalizowane epicentrum wstrząsu, to należy się liczyć z ułatwionym wypływem metanu do wyrobisk, ponieważ sieć spękań i szczelin z reguły ma połączenie z wyrobiskami lub zrobami środowiska ściany.

5. SZCZELINOWANIE SKAŁ ZWIĘZŁYCH (HYDRAULICZNE LUB STRZELNICZE)

Szczelinowanie skał zwięzłych może powodować pękanie górotworu w żądanych kierunkach. Zasięg szczelin zależy od własności skał (wytrzymałości, porowatości, budowy i struktury, uławiczenia itd.), a także od wytwarzanego w otworze ciśnienia.

Metodą tą uzyskuje się znaczny zasięg rozwarstwienia skał. Wyniki badań i obserwacji potwierdzają, że jeżeli szczelinowanie przebiega zgodnie z kierunkiem uwarstwienia, zasięg szczelin wynosi 30–70 m od otworu. Jeżeli szczelinowanie jest ukierunkowane w poprzek uwarstwienia, to uzyskuje się zasięg szczelin do grubości warstwy (nawet około 20 m). Otwory wiertnicze są wykonywane z wyrobisk przyścianowych oraz ze ściany. Powoduje to, że zasięg hydroszczelinowania jest niewielki w porównaniu do szerokości pola ścianowego. Jeżeli warstwy, w których jest wykonywane szczelinowanie znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie pokładu eksploatowanego, to będzie istnieć kontakt tych szczelin z wyrobiskami przyścianowymi, a więc wypływ metanu z górotworu do tych wyrobisk będzie ułatwiony. W przypadku wystąpienia wstrząsu w strefie II lub III (rys. 3) może dojść do zwiększonego wydzielania metanu w rejonie ściany i zwiększenia zawartości metanu w wyrobiskach środowiska ściany. Jeżeli epicentrum wstrząsu wystąpi w strefie V lub VI, wydzielający się metan spowoduje zwiększenie metanowości zrobów ścianowych i tym samym zwiększenie ilości wypływającego z nich metanu do wyrobisk rejonu ściany, w wydłużonym czasie.

Wpływ wymienionych metod profilaktyki tapaniowej na kształtowanie się zagrożenia metanowego w poszczególnych strefach środowiska ściany, przedstawionych na rysunku 3, zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Oddziaływanie poszczególnych środków profilaktyki tapaniowej na strefy odgazowania i jej skutki dla zagrożenia metanowego

Metoda profilaktyki	Oddziaływanie w strefach odgazowania					
	Strefa I	Strefa II	Strefa III	Strefa IV	Strefa V	Strefa VI
	wyrobisko ścianowe	górotwór przed granicą ciśnienia eksploatacyjnego	górotwór między granicą ciśnienia eksploatacyjnego a granicą odgazowania	zawał pełny	zawał wysoki	warstwy nadbierane pod zawałem
Wybieranie pokładów odprężających	znacznie mniejsze wydzielanie metanu z urobku i ociosu na skutek zmniejszenia metanowości w pokładach odprężonych wybraniem pokładu odprężającego	zmniejszona metanowość lecz zwiększona przepuszczalność; ułatwiona migracja metanu do wyrobisk przyścianowych	zmniejszona metanowość lecz zwiększona przepuszczalność; ułatwiona migracja metanu do ściany i do zrobów ścianowych przy zmniejszonym wydzielaniu	znacząco zmniejszona metanowość otoczenia środowiska ściany, tym samym metanowość zrobów w ścianach w pokładzie odprężonym	zmniejszona metanowość otoczenia środowiska ściany; zmniejszenie metanowości zrobów	zmniejszona metanowość i zwiększona przepuszczalność; wzrost zagrożenia metanowego ze strony pokładów spagowych – w przypadku znacznego wydzielania metanu możliwość dopływu metanu wolnego wprost do wyrobiska ścianowego
Strzelanie torpedujące	w niewielkim stopniu zwiększona przepuszczalność, niewielki wpływ na zagrożenie metanowe	możliwość wytworzenia połączeń szczelinowych, ułatwiających migrację metanu do wyrobisk przyścianowych	możliwość wytworzenia połączeń szczelinowych ułatwiających migrację metanu do wyrobisk przyścianowych i zrobów ściany	praktycznie brak wpływów zarówno pozytywnych, jak i negatywnych	możliwość wytworzenia połączeń szczelinowych ułatwiających migrację metanu do zrobów ściany	praktycznie brak wpływów zarówno pozytywnych, jak i negatywnych
Szczelinowanie	jeżeli szczelinowanie jest wykonywane ze ściany – zwiększenie przepuszczalności i możliwość wypływu metanu do ściany	możliwość wytworzenia połączeń szczelinowych, ułatwiających migrację metanu do wyrobisk przyścianowych	możliwość wytworzenia połączeń szczelinowych ułatwiających migrację metanu do wyrobisk przyścianowych i zrobów ściany	praktycznie brak wpływów zarówno pozytywnych, jak i negatywnych	możliwość wytworzenia połączeń szczelinowych ułatwiających migrację metanu do zrobów ściany	praktycznie brak wpływów zarówno pozytywnych, jak i negatywnych

6. CHODNIKI DRENAŻOWE JAKO ŚRODEK PROFILAKTYKI TĄPANIOWO-METANOWEJ

W warunkach bardzo dużego zagrożenia metanowego jako skuteczny środek zwalczania zagrożenia metanowego sporadycznie jest stosowany drenaż nadległy. Metoda ta polega na ujmowaniu metanu, wydzielającego się w czasie eksploatacji, zza tam izolujących chodniki; specjalnie wykonane nad polem ściany. Efektywność odmetanowania górotworu w środowisku ściany metodą drenażu nadległego wynosi 70–80%, a więc jest bardzo duża. Spośród kopalń GZW metoda ta jest stosowana od kilku lat z dużym powodzeniem w kopalni „Brzeszcze”, ponadto w kopalniach „Wesoła” i „Sośnica”, a ostatnio projektuje się odmetanowanie tym sposobem w kopalni „Szczygłowie”.

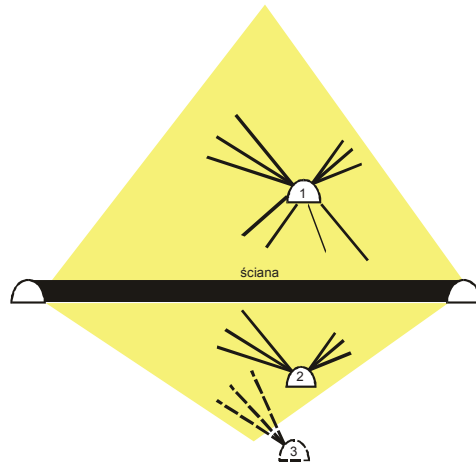
W kopalni „Wesoła” chodniki drenażowe są wykonywane w pokładzie 418, w celu ułatwienia odmetanowania pokładu 501, odprężającego pokład 510. W kopalni „Sośnica” dla eksploatowanego silnie metanowego pokładu 413/1 został wykonany chodnik drenażowy w pokładzie 412/1, który warunkuje prowadzenie bezpiecznej eksploatacji. W projektowanej ścianie 13 w pokładzie 405/1 z przecznicy II poz. 850 m w kopalni „Szczygłowie” o prognozowanej metanowości około 100 m³ CH₄/min, przewiduje się wykonanie chodnika drenażowego w pokładzie 404/4. Jedynie wykonanie takiego chodnika stworzy możliwość prowadzenia eksploatacji przy istniejących uwarunkowaniach wentylacyjnych.

Nadmienić należy, że w przypadku eksploatacji podziemowej w kopalniach węgla kamiennego zwiększy się znaczenie odmetanowania z wyrobisk wykonanych powyżej prowadzonej eksploatacji lub z istniejących zrobów poeksploatacyjnych. Ograniczone możliwości wentylacyjne oddziałów podziemowych wymuszają potrzebę poszukiwania rozwiązań, pozwalających na zcerpywanie desorbowlanych ilości metanu, uwalnianych podczas eksploatacji, do wyrobisk nadległych (istniejących) lub wykonanych specjalnie w celu prowadzenia bezpiecznej eksploatacji.

Chodnik drenażowy jest wykonywany w celu odprowadzenia metanu z jak największej objętości górotworu odprężanego podczas eksploatacji. Korzystne jest wykonywanie otworów wiertniczych z tego chodnika do skał otaczających, w tym do warstw zwięzłych. Wykonanie szczelinowania takich otworów, zwiększające stopień zdrenowania górotworu, jest celowe, a w warunkach występowania zagrożenia tąpnięciami wręcz niezbędne. Zwiększenie przepuszczalności górotworu wokół chodnika drenażowego nie powoduje osłabienia „izolacyjności” górotworu na kontakcie z wyrobiskami przyścianowymi, a więc nie stanowi ułatwienia w migracji metanu do tych wyrobisk. Cechą drenażu nadległego jest również wytworzenie dodatkowej wolnej przestrzeni w górotworze, która samoczynnie kompensuje wzrost ciśnienia gazu spowodowanego dodatkowym wypływem metanu na skutek wstrząsu sejsmicznego.

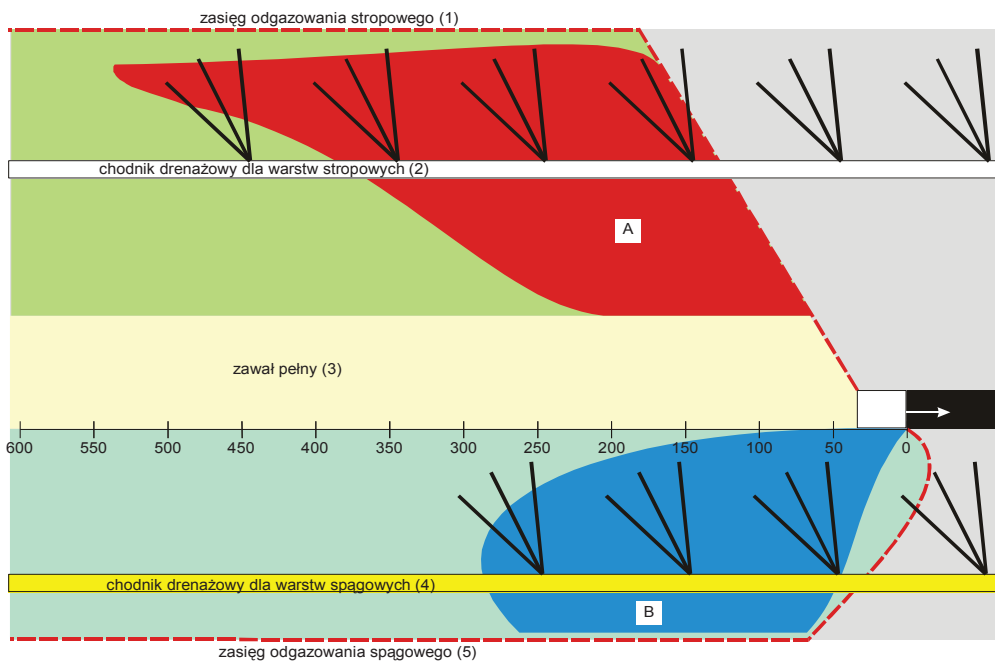
Podobne jest działanie tzw. drenażu podległego, wykorzystywanego obecnie sporadycznie. Odmetanowanie z wyrobisk wykonanych w niżej zalegającym pokładzie było stosowane w kopalni „Sośnica” – dotyczyło eksploatacji pokładu 404/5 z C9R i było prowadzone z wyrobisk w pokładzie 405/1.

Możliwe usytuowanie drenażu nadległego i podległego jako efektywnego środka profilaktyki tąpniowo-metanowej pokazano na rysunkach 5 i 6.



Rys. 5. Usytuowanie chodników drenażowych w stosunku do ściany: 1 – chodnik drenażowy dla warstw stropowych, 2 i 3 – dla warstw spagowych

Fig. 5. Location of gas-drainage galleries in relation to longwall: 1 – gas-drainage gallery for roof layers, 2 and 3 – for floor layers



Rys. 6. Usytuowanie chodników drenażowych w stropie i spagu ściany oraz obszary intensywnego ujęcia metanu: A – obszar intensywnego odgazowania warstw stropowych, B – obszar intensywnego odgazowania warstw spagowych

Fig. 6. Gas-drainage galleries location at longwall roof and floor, and areas of intensive methane removal: A – area of intensive degasification of roof layers, B – area of intensive degasification of floor layers; 1 – range of roof degasification, 2 – gas-drainage gallery for roof layers, 3 – roof caving, 4 – gas-drainage gallery for floor layers, 5 – range of floor degasification

Lokalizacja otworów odmetanowania, ich długość i kierunek z chodników drenażowych są zależne od usytuowania pokładów zalegających w strefie odprężenia eksploatacyjnego oraz usytuowania parceli eksploatacyjnej w sieci wentylacyjnej kopalni i są objęte zakresem projektu odmetanowania opracowanego dla danej ściany.

Można mieć nadzieję, że w profilaktyce tapaniowo-metanowej, metoda drenowania górotworu odprężanego eksploatacją za pomocą specjalnie wykonanych wyrobisk nabierać będzie coraz większego znaczenia, w miarę eksploataowania złoża na coraz większych głębokościach.

Oprócz opisanych metod można stosować hydroszczelinowanie w tzw. otworach kierunkowych, wykonywanych z chodników drenażowych w celu odmetanowania (nad lub pod pokładem eksploatowanym równoległe do wybiegu ściany). Zagadnienie to nie jest jednak rozwiązane w górnictwie światowym, a niniejszą propozycję należy potraktować jako wstępną, wymagającą oceny możliwości jej zastosowania i ewentualnego ukierunkowania, i podjęcia dalszych badań.

PODSUMOWANIE

Niebezpieczne wypływy metanu po zaistniałych, w polskich kopalniach węgla kamiennego, wstrząsach wysokoenergetycznych o energii powyżej 10^5 J oraz ich syntetyczna analiza pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Doświadczenia ruchowe kopalń w ostatnich dziesięciu latach potwierdziły, że podczas eksploatacji silnie metanowego złoża wysokoenergetyczne wstrząsy górotworu, o energii powyżej 10^5 J, mogą przyczynić się do wystąpienia niekontrolowanych niebezpiecznych wypływów metanu i powstania w wyrobiskach atmosfery niezgodnej z obowiązującymi przepisami, wybuchowej, ponadwybuchowej oraz niezdatnej do oddychania.
2. Metanonośność złoża, lokalizacja epicentrum wstrząsu, usytuowanie pokładów podebranych i nadebranych, stosowany układ przewietrzania ściany są czynnikami wpływającymi na kinetykę oraz wielkość strumienia metanu dopływającego do wyrobisk środowiska ściany po zaistniałym wstrząsie.
3. Współwystępowanie zagrożeń tapaniami i metanowego wymaga opracowania wyprzedzającej profilaktyki tapaniowo-metanowej, ograniczającej ewentualny poziom zagrożenia wpływami metanu. Na obecnym etapie badań każdy przypadek eksploatacji powinien być rozważany i oceniany indywidualnie.
4. Wybieranie pokładów odprężających, pomimo zwiększenia przepuszczalności złoża, jest bardzo korzystne z uwagi na znaczące zmniejszenie się metanonośności pierwotnej do wtórnej w pokładach odprężonych na skutek ich częściowego odgazowania.
5. Metody destrukcji górotworu zarówno z zastosowaniem strzelań torpedujących, jak i metod szczelinowania, z uwagi na zagrożenie metanowe, powinny być stosowane rozważnie, ponieważ w wyniku wstrząsu wcześniejsze zeszczelinowanie ułatwia wypływ metanu do wyrobisk przyścianowych.

6. Zastosowanie chodników drenażowych zarówno w warstwach stropowych, jak i spągowych, jest skutecznym środkiem profilaktyki tapaniowo-metanowej. Wykonywane z tych chodników otwory drenażowe powinny być poddane szczeliniowaniu, co wpłynie pozytywnie na redukcję zarówno zagrożenia metanowego, jak i tapaniami.

Literatura

1. Drzewiecki J. (2004): *Optymalizacja koncentracji wydobycia w warunkach zagrożenia tapaniami i metanem*. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Tapania 2004. Katowice, GIG.
2. Dubiński J., Konopko W. (2000): *Tapania – ocena – prognoza – zwalczanie*. Katowice, GIG.
3. Konopko W., Myszkowski J. (1994): *Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopnia zagrożenia tapaniami*. Prace Naukowe GIG. Nr 795.
4. Konopko W. (2005): *Wyprzedzająca profilaktyka tapaniowa*. Przegląd Górniczy Nr 9.
5. Krause E. (2004): *Kształtowanie się zagrożenia metanowego i wybuchowego w rejonach eksploatacyjnych ścian o wysokiej aktywności sejsmicznej*. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Tapania 2004. Katowice, GIG.
6. Krause E., Łukowicz K. (2004): *Odmetanowanie w polskich kopalniach węgla kamiennego – osiągnięcia i perspektywy*. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Tapania 2004. Katowice, GIG.
7. Krause E., Łukowicz K. (2000): *Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian*. Instrukcja nr 14. Katowice, GIG.
8. Kozłowski B., Grębski Z. (1982): *Odmetanowanie górotworu w kopalniach*. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Władysław Konopko