

*Alfons Krawiec\**

## METODA UDAROWEGO HYDRAULICZNEGO SZCZELINOWANIA GÓROTWORU ZA POMOCĄ STRZELAŃ ODPALANYCH W OTWORACH WYPEŁNIONYCH WODĄ POD CIŚNIENIEM W ASPEKCIE ZWALCZANIA ZAGROŻENIA TĄPANIAMI

---

### **1. Wstęp**

Z przeglądu literatury krajowej i zagranicznej na temat zagrożenia tąpniętami wynika, że zagrożenie to jest jeszcze w dalszym ciągu jednym z najpoważniejszych naturalnych zagrożeń górniczych występujących w kopalniach. W połączeniu z zagrożeniem wybuchem metanu i pyłu węglowego, należy do szczególnie groźnych zjawisk górniczych. Mimo niewątpliwych i poważnych osiągnięć nauki, techniki i praktyki górniczej zagrożenie to nie zostało jeszcze do końca należyście rozeznane i opanowane [4, 10]. W celu lepszego zrozumienia zagadnienia wydaje się słuszne przypomnienie kilku wybranych uwag ogólnych dotyczących problematyki zwalczania tąpnięć.

### **2. Kierunki działań w zakresie zwalczania tąpnięć**

Dotychczasowe prace naukowo-badawcze, techniczno-organizacyjne i obserwacje praktyczne prowadzone w warunkach *in situ* w kopalniach, doprowadziły do wypracowania czterech zasadniczych kierunków działalności w zakresie zwalczania zagrożenia tąpniętami, takich jak [10]:

- 1) prowadzenie i rozwijanie badań naukowych dotyczących istoty i mechanizmu tąpnięć,
- 2) stosowanie profilaktyki górniczej,
- 3) ocena i prognozowanie oceny stanu górotworu,
- 4) stosowanie metod aktywnych zwalczania tąpnięć.

---

\* Były pracownik Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice

### **2.1. Badania naukowe**

Należy rozwijać prowadzenie dalszych badań naukowych w zakresie poznania istoty i mechanizmu oraz przyczyn i przebiegu tępnię w oparciu o badania nauk podstawowych, jak i stosowanych, teoretycznych oraz laboratoryjnych, techniczno-organizacyjnych, a także na podstawie praktycznych obserwacji ruchowych prowadzonych bezpośrednio w kopalniach. Dalsze zbliżenie do prawdy o istocie i mechanizmie tępnię pozwoli na skuteczniejszy dobór środków profilaktyki przeciwtępniowej, poprawi ocenę stanu górotworu, a co za tym idzie — ocenę skuteczności i kontroli zastosowanych metod prewencyjnych i aktywnych zwalczania tępnię [1–3, 5, 10].

### **2.2. Profilaktyka górnicza**

Stosowanie profilaktyki górnicznej w najszerszym tego słowa znaczeniu jest podstawowym wymogiem opanowania tępnię. Chodzi tu głównie o prawidłowe projektowanie kopalń, poziomów i pięter oraz wszelkich robót górnicznych i technologii ich prowadzenia, tak aby czasoprzestrzenny układ frontów eksploatacyjnych i wyrobisk górnicznych nie wytwarzał stref koncentracji naprężeń i krytycznego wytężenia górotworu, a odwrotnie — rozładować je, tam gdzie zostały już wytworzone z naturalnych lub górnicznych, bądź i jednych, i drugich przyczyn powstawania tępnię.

W szczególności przy projektowaniu i prowadzeniu eksploatacji pokładów powinny być stosowane najbardziej skuteczne i wypróbowane górniczne sposoby zwalczania tępnię i ich skutków, jak np.: zasada odprężania górotworu, odpowiednia kolejność wybierania pokładów i warstw w pokładzie, dobranie właściwego kierunku i porządku wybierania pokładów, pięter i poziomów, czyste wybieranie i prawidłowe rozcięcie złoża, wprowadzenie do ścian obudów zmechanizowanych, a do wyrobisk korytarzowych właściwie dobranych obudów „V” odpowiednio zagęszczonych i w razie potrzeby odpowiednio wzmocnionych.

Idzie w gruncie rzeczy o stosowanie metody kompleksowego zwalczania tępnię, w tym dalszej częściowej, a następnie kompleksowej mechanizacji i automatyzacji procesów wybierania pokładów tępniących ograniczających, a nawet eliminujących ludzi z zagrożonych przodków i rejonów górnicznych. W tym przypadku czynności człowieka ograniczają się do transportu i zabudowania lub wybudowania maszyn i urządzeń, ich konserwacji oraz zdalnego sterowania nimi. Zdalne zaś sterowanie oraz obserwacja pracy maszyn i urządzeń, jak również poszczególnych faz procesu produkcyjnego odbywać się będzie poza strefą zagrożenia tępniaciami [4, 6, 10].

### **2.3. Ocena i prognozowanie oceny stanu górotworu**

Prognozuje się stan zagrożenia tępniaciami oraz ocenia stan górotworu, określając strefy koncentracji naprężeń i największe wytężenia górotworu, a także na bieżąco kontroluje stan górotworu w strefach szczególnego zagrożenia tępniaciami, tj. narastania lub zmniejszania się zagrożenia w nich. Jednak przede wszystkim chodzi o ocenę i kontrolę skuteczności zastosowanych środków profilaktyki przeciwtępniowej.

Stąd też badania te wymagać będą nie tylko dalszego rozwoju i doskonalenia już istniejących, ale również opracowania nowych metodologii i aparatur kontrolno-pomiarowych w zakresie określania stanu górotworu, tj. jego wytrzymałości w warunkach *in situ*, stanu przemieszczania i odkształcenia, naprężenia, wyężenia, szczelinowatości, zruszenia spękania i innych nieciągłości, energii właściwej już zakumulowanej i całkowitej zdolności zakumulowania właściwej krytycznej energii sprężystej itp. i innych danych charakteryzujących górotwór [11]. Postęp w tej dziedzinie jest niezmiernie ważny, gdyż limituje on dalszy postęp w opanowaniu tupań.

#### **2.4. Metody aktywne**

Zwalczanie tupań metodami aktywnymi, tj. metodami techniki strzelniczej, nawadniania górotworu, rozwiercania pokładów otworami wiertniczymi, torpedowania stropów i spągów, stosujemy w ostateczności w sytuacjach geologiczno-górnictwowych i techniczno-ruchomych, w których w praktyce nie ma żadnych możliwości zastosowania metod górnictwowych, rozładowania krytycznego stanu naprężeń i wyężenia górotworu, tj. jego odprężenia poprzez wybranie w pierwszej kolejności warstwy lub pokładu odprężającego niezagrażonego lub mniej zagrożonego tapaniami [4, 7, 9].

Szczegółowy opis metod aktywnych zwalczania tupań w naszych kopalniach, tj. m.in. strzelań wstrząsowych i wtlaczania wody w górotwór, a także zalety i wady, zasady oraz kryteria ich doboru i stosowania, podane są w pracach [9, 10].

Te cztery zasadnicze i umowne kierunki działania w zakresie opanowania tupań nie mają wyraźnej granicy podziału. Przeciwnie — wzajemnie się uzupełniają oraz razem wzięte stanowią kompleksowy program opanowania tupań. W tym sensie wszystkie one są ważne i aktualne, powinny być stale i konsekwentnie rozwijane oraz doskonalone w oparciu o najnowsze osiągnięcia nauki i techniki górnictwowej w tym zakresie; w szczególności dotyczy to zwalczania tupań metodami aktywnymi [10].

### **3. Wybrane uwagi do metody aktywnego zwalczania tupań za pomocą strzelań wstrząsowych i wtlaczania wody pod ciśnieniem w górotwór**

Jedną z głównych przyczyn kłopotów w stosowaniu strzelań wstrząsowych i wtlaczaniu wody w górotwór w celu zwalczania tupań jest stosunkowo mała skuteczność i niezawodność wymienionych metod. Wynika to m.in. z niewielkiego oddziaływania technicznego tych metod na górotwór oraz niewłaściwej technologii ich stosowania. Strzelania wstrząsowe oddziałują na górotwór za pomocą płynnego i łagodnego ośrodka, jakim są gazy postrzałowe, zaś wtlaczanie wody pod ciśnieniem w górotwór, mimo że mamy ośrodek ciekły i nieściśliwy, w praktyce górnictwowej nie przekracza zwykle stu kilkudziesięciu atmosfer; po osiągnięciu tej wartości ciśnienie się już nie podnosi, mimo dalszej pracy pompy i wtlaczania wody. W tym drugim przypadku, jakkolwiek ośrodek jest nieściśliwy, jego oddziaływanie na górotwór w wysokości 100÷200 atmosfer jest niewielkie [7, 8].

Stąd autor opracowania zaproponował w latach 80. radykalne rozwiązanie tego problemu, przez agresywne zwiększanie oddziaływania środkami technicznymi na górotwór, w celu wyraźnej poprawy skuteczności i efektywności metod aktywnych zwalczania tępań. Chodziło o znaczne zwiększenie dezintegracji górotworu, w celu zmniejszenia pola naprężeń i naturalnej skłonności pokładu do tępań, kontrolowanego rozładowywania nagromadzonej w nim energii sprężystej lub prowokowania tępań i odprężeń, podczas nieobecności załóg górniczych w zagrożonych strefach [4, 5].

Po wielu latach dyskusji oraz rozważań teoretycznych i doświadczeń praktycznych autor wystąpił z propozycją połączenia dwóch metod aktywnego zwalczania tępań, dotychczas stosowanych oddzielnie, tj. strzelań wstrząsowych i wtłaczania wody pod ciśnieniem. Powstała w ten sposób nową oryginalną metodę aktywnego zwalczania tępań nazwano „metodą udarowego hydraulicznego szczelinowania górotworu za pomocą strzelań odpalanych w otworach wypełnionych wodą pod ciśnieniem”. Dzięki temu uzyskano techniczną możliwość zastosowania agresywnego zwiększania oddziaływania środkami technicznymi na górotwór, poprzez zamianę bardzo ściśliwego i łagodnego ośrodka, jakim są gazy porztałowe, na ośrodek nieściśliwy, jakim jest medium wodne.

Do zastosowania i wypróbowania przedmiotowej metody wytypowano KWK „Wesoła” pokład 501/510 zaliczony do kat. IV zagrożenia metanowego i I. stopnia zagrożenia tapaniami. Wyboru kopalni, pokładu i miejsca eksperymentu dokonano, jak się później okazało, z dużym wyczuciem. Podyktowane to było w prawdzie dużą metanowością i „wybijalnością” metanometrii automatycznej, co powodowało częste postoje w ruchu oddziału i duże straty w produkcji, ale również, a może przede wszystkim, prognozą stosunkowo łatwych pomiarów efektów odmetanowania i dokumentowania ich wyników. Ponadto małe zagrożenie tapaniami w wytypowanych warunkach stwarzało optymalne warunki do zastosowania tego eksperymentu [12].

Wdrożenie omawianej metody w podanych warunkach do odmetanowania pokładu dało rewelacyjne wyniki, a mianowicie:

- około 10-krotne zwiększenie wypływu metanu z otworu odmetanowującego,
- zwiększenie stężenia  $\text{CH}_4$  o około 50%.

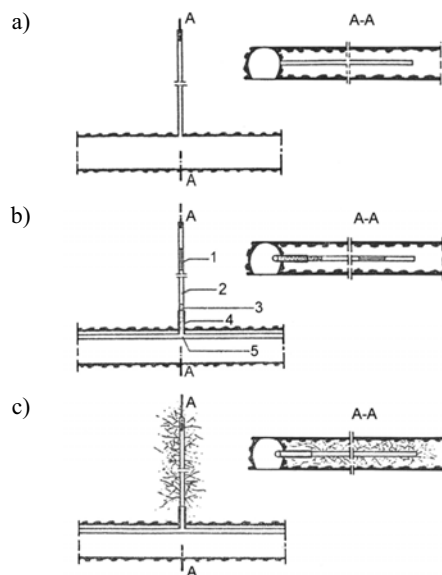
Z zastosowania do rozważań teoretycznych prawa Boyle’a–Mariotte’a wynika, że połączenie obydwóch wyników pomiaru wypływu metanu z otworu, daje w sumie aż 15-krotny wzrost wartości badanego parametru. Wyniki — trzeba tu mocno podkreślić — otrzymano przy zachowaniu stałych warunkach geologiczno-górnich i techniczno-ruchowych oraz technologicznych oraz stałych i miarodajnych grup pomiarowych.

Z prawa mechaniki ciała stałego i fizyki płynów oraz doświadczeń autora wynika, że w innych warunkach geologiczno-górnich i techniczno-ruchowych oraz technologicznych wyniki takiego eksperymentu będą inne pod względem ilościowym, ale pozostaną te same lub bardzo podobne pod względem jakościowym. Wynika z tego, że metoda szczelinowania górotworu, jej słuszność i przydatność w aspekcie zwalczania zagrożenia metanowego zostały w pełni potwierdzone i udowodnione.

W ostatecznym rozrachunku słuszność i prawdziwość wszelkich koncepcji, hipotez i teorii potwierdzają uzyskane w praktyce wyniki, a te — jak wynika z pracy — są rewelacyjne [12].

#### 4. Istota i mechanizm metody udarowego hydraulicznego szczelinowania górotworu za pomocą strzałań w otworach wypełnionych wodą pod ciśnieniem

Metoda udarowego hydraulicznego szczelinowania górotworu polega na wykonaniu w pokładzie (górotworze) otworów wiertniczych o odpowiedniej liczbie, średnicy, długości i nachyleniu oraz odpowiednich odstępach między nimi. Następnie otwory te zostają załadowane materiałem wybuchowym o odpowiedniej wielkości i jakości w postaci skupionej lub rozdzielonej, który należy uzbroić w lont detonujący. Z kolei następuje napełnienie otworu wodą pod ciśnieniem do co najmniej kilkudziesięciu atmosfer, w celu uszczelnienia i wypełnienia ewentualnych pustek istniejących wokół otworu. Ostatnie metry otworu wypełnia się przybitką stałą (w razie potrzeby zabezpieczoną przed wyrzuceniem), z której wyprowadzony jest lont detonujący. Po wykonaniu i przygotowaniu w podany wyżej sposób otworu wiertniczego, umieszczony w nim materiał wybuchowy zostaje odpalony za pomocą lontu detonującego zgodnie z metryką strzałową zatwierdzoną w obowiązującym trybie (rys. 1).



**Rys. 1.** Schemat udarowego hydraulicznego szczelinowania górotworu:

a) sytuacja po wykonaniu otworu wiertniczego; b) sytuacja po przygotowaniu otworu i przedzdetonowaniem w nim MW; c) sytuacja po zdetonowaniu materiału wybuchowego;  
1 — materiał wybuchowy, 2 — woda, 3 — przybitka stała, 4 — króciec, 5 — rurciąg odmetanowania

W zależności od potrzeb i warunków lokalnych otwory można łączyć w grupy i odpalać system wstrząsowym, jednak w tym przypadku w sposób szczególny należy w metryce strzałowej ustalić parametry tych strzelań, stosownie do doświadczeń górniczych kopalń oraz zaleceń, zasad i kryteriów podanych w pracy [10].

Oczywiste jest, że fizyka opisanego zjawiska w otworze po zdetonowaniu w nim materiału wybuchowego w trójfazowym układzie: górotwór — woda — gazy postrzałowe obejmującym stan skupienia stały, ciekły i gazowy, jest niezmiernie trudna i złożona. W jakimś zakresie będziemy mieli do czynienia z teorią szczelin i mechaniki pęknięcia, prawem Pascala i prawami gazów Boyle'a–Mariotte'a i Clapeyrona–Clausiusa.

Przyjmując daleko idące uproszczenia, przyjrzymy się pokrótce fizyce opisanego zjawiska w otworze po zdetonowaniu w nim materiału wybuchowego. Naturalnie woda w otworze, jako ośrodek nieściśliwy, podlega prawu Pascala, tj. ciśnienie w niej zadane w jakimkolwiek miejscu i czasie rozchodzi się z jednakową siłą we wszystkich kierunkach. Określenie jego parametrów i przebiegu zjawiska jest bardzo trudne, a może nawet niemożliwe — na obecnym etapie rozwoju nauki i techniki — ze względu na przypuszczalnie ekstremalnie dużą wielkość ciśnienia i czas trwania zjawiska.

Pomijając dokładny opis zjawiska w otworze, można przypuszczać, że ciśnienie to w momencie wybuchu materiału wybuchowego jest — teoretycznie rzecz biorąc — nieskończenie duże, zaś praktycznie — bardzo duże, nigdzie i nigdy przy wtlaczaniu wody pompą nieosiągalne. Następnie spada w bardzo krótkim czasie dość gwałtownie w miarę wtlaczania wody w górotwór. Ponieważ przedmiotowe zjawisko zachodzi w ekstremalnie krótkim czasie, zatem tak samo gwałtownie szybko musi zachodzić wciskanie wody w pokład (górotwór) oraz jego szczelinowanie. Zjawisko zachodzi prawdopodobnie w sposób równomierny i jednorodny na całym obwodzie i na całej długości otworu. Przypuszczalnie równomierna i jednorodna propagacja szczelin górotworu na całym obwodzie i długości otworu, mimo że górotwór nie jest ośrodkiem jednorodnym i izotropowym, stanowi istotną zaletę i główny walor proponowanej metody. Ponadto przedstawiona metoda szczelinowania górotworu łączy w jedną całość zalety dotychczasowych metod aktywnego zwalczania tapani stosowanych oddzielnie, tj. za pomocą strzelań wstrząsowych i wtlaczania wody w górotwór, przy równoczesnym eliminowaniu ich wad.

Opisana metoda, jako oryginalna i dotychczas nigdzie wcześniej niestosowana w aspekcie zwalczania zagrożenia tapaniami, daje również szansę jednoczesnego i kompleksowego zwalczania niektórych podstawowych naturalnych zagrożeń górniczych występujących w kopalniach, tj. zagrożenia tapaniami, metanowego i pyłowego. Zaproponowana metoda, mimo że pod względem merytorycznym jest pionierska, pod względem techniczno-ruchowym jest w pełni bezpieczna oraz niezmiernie prosta i łatwa do stosowania w kopalniach.

Trzeba wreszcie podkreślić, że dotychczasowe wyniki, w szczególności na odcinku odmetanowania pokładu 501/510 KWK „Wesoła” w całej rozciągłości potwierdzają słuszność i celowość stosowania metody udarowego hydraulicznego szczelinowania górotworu. W warunkach tej kopalni zastosowanie metody pozwoliło na około 10-krotne zwiększenie wypływu metanu z otworu odmetanowującego, przy jednoczesnym wzroście jego stężenia  $\text{CH}_4$  o około 50% [12]. Po zastosowaniu do otrzymanych wyników prawa Boyle'a–Mariotte'a

otrzymujemy aż 15-krotny wzrost wartości wypływu metanu z otworu odmetanowującego, przy zachowaniu warunków constans w czasie prowadzenia eksperymentów [12].

## 5. Wniosek końcowy

Otrzymane wyniki w zakresie odmetanowania są bardzo obiecujące i wiarygodne. Stąd też rozszerzenie zastosowania tej metody do zwalczania zagrożenia tapaniami wydaje się oczywiste. W obu przypadkach mamy do czynienia z tym samym zjawiskiem fizykomechanicznym i tą samą metodą szczelinowania górotworu, w określonym zakresie i obszarze wokół otworów strzałowych. Potwierdzają to dotychczasowe doświadczenia górnicze naszych kopalń i autora.

Ponieważ zagrożenie tapaniami nie jest jeszcze na obecnym etapie rozwoju nauki, techniki i praktyki należy je rozeznane i opracowane, więc przedstawioną metodę należy w dalszym ciągu rozwijać i doskonalić na gruncie badań podstawowych i stosowanych, w tym teorii szczelin i mechaniki pęknięcia oraz doświadczeń praktycznych uzyskanych w kopalniach. Optymalnego zaś doboru parametrów technicznych i technologicznych należy dokonywać w metryce strzałowej indywidualnie, stosownie do lokalnych warunków geologiczno-górnich i techniczno-ruchowych oraz doświadczeń górniczych kopalni, jak również, a może przede wszystkim, w myśl wytyczonych zasad i kryteriów podanych w pracy [10].

## LITERATURA

- [1] *Filcek H.*: Stan naprężenia i odkształcenia wokół wyrobiska chodnikowego. AGH, Kraków 1960 (praca doktorska)
- [2] *Filcek H.*: Wpływ czasu na stan naprężenia i odkształcenia górotworu w sąsiedztwie wyrobisk korytarzowych. Kom. Gór. PAN, Zeszyty Problemowe Górnictwa, t. 1, z. 1, 1963
- [3] *Filcek H.*: Zjawisko zawałów w świetle mechaniki górotworu. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 27, 1971
- [4] *Filcek H., Kleczek Z., Zorychta A.*: Poglądy i rozwiązania dotyczące tapani w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 123, Kraków 1984
- [5] *Krawiec A., Dybel T.*: Wpływ warunków górniczo-technicznych na wielkość wypromieniowanej energii sejsmicznej podczas tapani i wstrząsów. Przegląd Górniczy, nr 9, 1968
- [6] *Krawiec A.*: Węzłowe zagadnienia profilaktyki tapani w kopalniach węgla kamiennego. Bezpieczeństwo pracy w górnictwie. Wydanie WUG, nr 2, Katowice 1975
- [7] *Krawiec A., Domżał J.*: Nawadnianie pokładów, a zagrożenie tapaniami. Przegląd Górniczy, nr 12, 1973
- [8] *Krawiec A., Domżał J.*: Właczanie wody w pokład węglowy w celu osłabienia i zniszczenia jego struktury. Bezpieczeństwo Pracy w górnictwie. Wydanie WUG, nr 3, Katowice 1976
- [9] *Krawiec A., Takuski S.*: Rock bursting in Polish deep coal mines in light of research and practical observation. Transaction of The Society of Mining Engineers of Aime. Vol. 262, No. 1, march 1977
- [10] *Krawiec A.*: Zwalczanie tapani metodami strzelań wstrząsowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z. 207, Gliwice 1993
- [11] *Maloszewski St., Kowalczyk T., Marczak H.*: Prognozowanie tapani metodami geofizycznymi. Prace GIG, Sym. Nauk., Katowice 1976

- [12] *Lisiecki B., Demel T., Krawiec A., Batko St., Layer A., Domżał S.*: Uderzeniowe hydrauliczne szczelinowanie górotworu. X Szkoła Mechaniki Górotworu. Zjawiska dynamiczne w górotworze. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 129, Kraków 1987
- [13] *Litwiniszyn J.*: Zjawisko tapani i fale uderzeniowe. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 3, 1985
- [14] *Sałustowicz A.*: Zarys mechaniki górotworu. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1965