

*Antoni Kidybiński**

ZMIANY ENERGETYCZNE PRZODKOWEJ STREFY POKŁADU BEZPOŚREDNIO PRZED WYRZUTEM ORAZ PODCZAS WYRZUTU WĘGLA I METANU

1. Wprowadzenie

Wyrzuty węgla i metanu stanowią w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego drugie — obok zapaleń i wybuchów metanu w wyrobiskach górniczych — największe zagrożenie zbiorowe dla życia i zdrowia pracujących w kopalniach górników. O ile jednak zagrożenie wybuchami metanu może być kontrolowane i ograniczane przy zastosowaniu urządzeń metanometrycznych i odpowiednich korekt w sieci wentylacyjnej, to wyrzuty węgla i metanu są w znacznej mierze nieprzewidywalne i zagrożenie nimi nie daje się dotychczas ilościowo śledzić oraz ograniczać.

W kopalniach dawnego Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego (gdzie gazem towarzyszącym pokładowi węgla był dwutlenek węgla) w okresie końcowym ich eksploatacji (od końca II wojny światowej do końca XX wieku — kiedy kopalnie te zamknięto) wskutek licznych wyrzutów węgla i gazu zginęło ponad 500 górników, a ponad dwukrotnie tyle doznało ciężkich, nieodwracalnych szkód na zdrowiu pomimo, że już wtedy próbowano wiercić w przodkach wyrobisk otwory rozpoznawczo-pomiarowe, zaś całe załogi przodkowe wyposażone były w indywidualne aparaty ucieczkowe — pozwalające w razie potrzeby skutecznie ratować się górnikom przed uduszeniem z braku tlenu w atmosferze kopalnianej.

Poza granicami Polski zagrożenie wyrzutami węgla i gazu występuje (bądź występowało) najczęściej w Chinach, Australii, Niemczech, Węgrzech i Czechach, lecz również w tych krajach nie wypracowano dotychczas niezawodnych metod ochrony załóg górniczych przed tym zagrożeniem. Należy jednak wspomnieć, że opracowana w Niemczech metoda dwupunktowego pomiaru stężenia metanu w atmosferze drażonego przodka węglowego (przy organie urabiającym oraz w odległości 100 m za przodkiem) wykazała cechy przydatności

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

w ostrzeganiu przed zbliżającym się w danym przodku wyrzutem gazu i skał. Nie znalazła ona jednak szerszego zastosowania w innych krajach górnictwa węglowego.

Jeśli chodzi ośrodki ochrony osobistej kombajnisty przed wyrzutem, należy wymienić australijskie rozwiązania zamkniętych hermetycznie kabin kombajnisty (wraz z butlami tlenu lub sprężonego powietrza) — dla maszyn urabiających typu CM (*Continuous Miner*), rzadko stosowanych w krajach europejskich.

Wiercenie przodkowych otworów rozpoznawczych stosowane doraźnie w kopalniach byłego DZW już przy ich długości 1,5–2,0 m od czoła powodowało małe wyrzuty w końcowej partii otworu, prowadzące czasem do inicjacji większych wyrzutów w skali całego wyrobiska. Było to spowodowane skrajnie niską wytrzymałością mechaniczną węgla w pokładzie i wysokim ciśnieniem dwutlenku węgla w caliznie.

Z tych samych powodów nie udało się dotychczas (w pokładach wyrzutowych o niskiej wytrzymałości mechanicznej) pomierzyć wiarygodnych wielkości ciśnienia gazu w caliznie węglowej — na końcu zamkniętego korpusu sondy pomiarowej otworu wiertniczego w pokładzie.

Wymienione trudności obiektywne powodują, że istnieją — zdaniem autora — trzy racjonalnie uzasadnione drogi badania omawianego zjawiska, a mianowicie:

- 1) wykonywanie szczegółowych opisów zaistniałych wyrzutów oraz warunków ich wystąpienia, których przykładem może być praca [1],
- 2) opracowywanie analiz uwarunkowań geologicznych i gazowych wystąpienia oraz przebiegu wyrzutów gazu i skał, na przykład praca [2],
- 3) badania wyrzutów na modelach fizycznych (w tym — laboratoryjnych) oraz numerycznych — z maksymalnym możliwym zachowaniem parametrów i okoliczności wyrzutów rzeczywistych (np. w skali geometrycznej modelu do rzeczywistości 1:1).

Do drugiej z wymienionych powyżej trzech grup zagadnień zaliczyć można doskonałe ciągle (m.inn. przez zespół Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa) klasyfikacje skłonności do wyrzutów (wyrzutowości) pokładów węgla w GZW — na podstawie badania ich metanonośności oraz prędkości desorpcji metanu z węgla.

Modelowe badania fizyczne wyrzutów natomiast (w zmniejszonej skali) realizowane są — przy zastosowaniu brykietów węglowych — od szeregu lat w Instytucie Mechaniki Górnotworu Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, przy zastosowaniu oprzyrządowanej pomiarowo tzw. rury wyrzutowej.

Można przeto ogólnie stwierdzić, że istnieje potrzeba badania na modelach (możliwie w skali 1:1) mechanizmu powstawania wyrzutu gazu i skał w różnych warunkach geomechanicznych, a zwłaszcza — krytycznych wielkości mierzalnych parametrów fizycznych innych niż ciśnienie gazu w głębi calizny pokładu węglowego, gdyż ten ostatni parametr dotychczas okazywał się trudno mierzalnym w słabych mechanicznie pokładach wyrzutowych.

2. Metoda spoistych modeli cząstkowych (BPM)

Wyrzut węgla i gazu w wyrobisku górnictwem charakteryzuje się wyjątkowo wysokim stopniem rozdrobnienia przyczołowego fragmentu pokładu węglowego. W skrajnych

przypadkach masy powyrzutowe składają się w przeważającej objętości z ziarn węglowych o średnicy 1–2 mm, zaś maksymalne przemieszczenie poziome czołówki mas sięga 30–35 m i więcej [1]. Czynniki te powoduje, że ograniczone zastosowanie do numerycznego modelowania wyrzutów węgla i gazu mają metody modelowania ośrodków ciągłych (np. MES, FLAC). Próby bowiem tego rodzaju modelowania przeprowadzone m.in. w Chinach wykazały, że modelowany rozpad przodka jest daleki od rzeczywistości górniczej i przypomina raczej niewielkie tąpnięcie z bliskim odrzutem dużych brył skalnych w wyrobisku.

Z kolei, metody numeryczne tworzące cząstki o kształtach prostopadłościennych (np. UDEC, 3DEC) wykazują duże opory ich wzajemnego obrotu i przemieszczenia — związane z zadanym kształtem pojedynczej cząstki. Nadając się przeto znakomicie do modelowania rozpadu skalistych zboczy [3], w mniejszym stopniu odwzorowują one poprawnie jakościowo wyrzut węgla i gazu w przodku wyrobiska górniczego.

Natomiast kody numeryczne generujące cząstki o kształtach okrągłych (dyski, kulki), takie jak PFC2D [4] oraz PFC3D łączą cechy dobrego odwzorowania zwięzłej i porowatej calizny skalnej oraz próbek laboratoryjnych skał [5], zaś na ich podstawie powstała metoda spoistych modeli cząstkowych (ang. *Bonded Particle Model*).

Metoda ta w warunkach krajowych wykazała dobrą przydatność do modelowania górotworu poddanego obciążeniom zarówno statycznym, jak i dynamicznym [6], a także do retro-symulacji zaistniałych wyrzutów węgla i metanu w polskich kopalniach węgla [7].

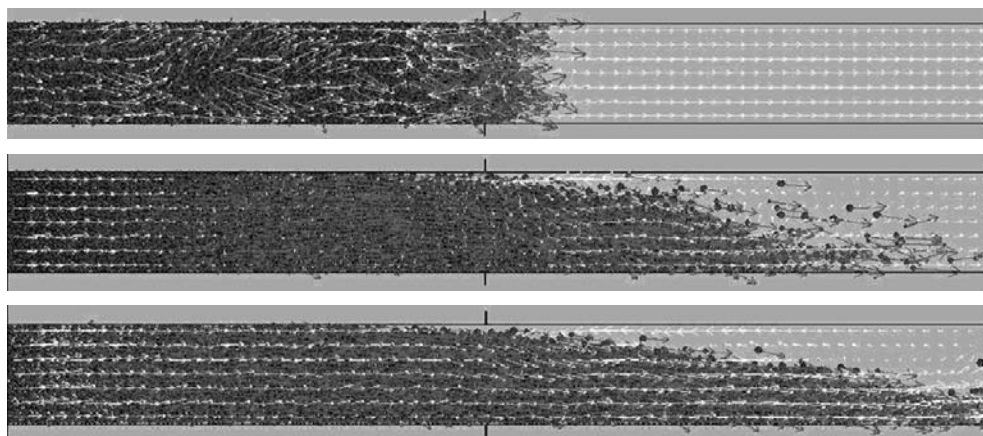
Podstawową jednak użytkową uciążliwością metody spoistych modeli cząstkowych realizowanych wspomnianymi wyżej kodami komputerowymi jest każdorazowa konieczność rozpisania własnego obliczeniowego programu tekstowego, który następnie powinien zostać starannie wytestowany. Użytkowanie każdego takiego programu dotyczy tylko jednej, konkretnej sytuacji górniczo-geologicznej i nie może być uogólniane na inne warunki.

Ta specyfika programów BPM powoduje ograniczoną dotychczas ich stosowalność zarówno w świecie, jak i w warunkach krajowych, większość bowiem potencjalnych użytkowników metody przyzwyczajona jest do ekranowego sposobu sterowania procesem obliczeniowym, jaki stosowany jest w innych programach komputerowych (np. FLAC).

3. Wytrzymałość węgla a energia więzów pokładu w modelu wyrzutu węgla i metanu w przodku wyrobiska korytarzowego

Celem zbadania zmian energetycznych zachodzących w przyprzodkowej strefie pokładu węgla bezpośrednio przed oraz podczas wyrzutu węgla i metanu — autor opracował w kodzie PFC model odcinka wyrobiska korytarzowego o całkowitej długości 35 m, wysokości 3,5 m oraz szerokości 1,0 m, (rys. 1).

Lewa strona modelu (o długości 17,0 m) została wypełniona dyskami o średnicy 4–14 cm (w ogólnej liczbie ok. 3200), które — poprzez nadanie im odpowiednich cech wytrzymałości (w postaci wzajemnych więzów poszczególnych cząstek), odkształcalności oraz zagęszczenia utworzyły imitację fragmentu pokładu węglowego o porowatości początkowej 5,5% [8].



Rys. 1. Wstępna, zaawansowana oraz końcowa (przed osiadaniem) faza wyrzutu węgla i metanu w przodku wyrobiska korytarzowego (przekrój pionowy modelu)

Wspomniane cechy fizyczne węgla przyjęto wg średnich wyników badań laboratoryjnych — dla czterech rodzajów węgla kamiennego (*A*, *B*, *C* oraz *D*), gdzie węgiel *A* odpowiadał najmocniejszemu węglom występującym w GZW ($R_c \approx 40$ MPa), zaś pozostałe były odpowiednio słabsze (20 MPa, 10 MPa oraz 3 MPa).

Cechy wytrzymałości oraz odkształcalności występujące na stykach cząstek zostały wprowadzone w postaci odpowiednich wartości więzów stykowych (występujących na stykach między poszczególnymi cząstkami) oraz więzów równoległych (pełnoprzekrojowych). W ten sposób całość materiału modelowego przedstawiającego odcinek pokładu węglowego została powiązana w jednorodną całość.

Do modelu (po odjęciu ścianki czołowej) wprowadzono pełnoprzekrojowy poziomy strumień wolnego metanu (z właściwą mu gęstością oraz lepkością), którego przepływ był wymuszony gradientem ciśnienia ($d_p = 0,5$ MPa) między lewą (0,6 MPa) a prawą (0,1 MPa) stroną modelu.

Ponadto, do wszystkich cząstek modelu zastosowano jednorodne poziome wymuszenie mechaniczne — celem odwzorowania parcia poziomego spowodowanego narastającą w miarę niszczenia struktury pokładu desorpcją metanu z węgla. Można dodać, że udział objętościowy metanu wolnego (traktowanego jako wyłącznie gaz porowo-szczelinowy) wynosi poniżej 1% ogółu tego gazu zawartego w węglu, resztę zaś stanowi metan zasorbowany (ok. 99% — dla przyjętej metanonośności węgla wynoszącej $8 \text{ m}^3/\text{tonę}$ czystej substancji węglowej). Przyjęta wielkość stanowi — jak wiadomo — dolną granicę czwartej (najwyższej, otwartej) klasy zagrożenia metanowego węgla. Na rysunku 1 pokazano trzy fazy rozwoju wyrzutu w opisywanym modelu — wydzielone umownie w ciągłym procesie jego przebiegu. Na rysunku zaznaczono cząstki tworzące pokład węglowy, wektory kierunku i prędkości ruchu cząstek węgla oraz wektory kierunku i prędkości przepływu wolnego metanu.

Pierwotne położenie przodka wyrobiska (17 m od lewego końca modelu) oznaczono krótkimi odcinkami prostej przy zewnętrznych (dolnej i górnej) granicach modelu. Ponadto, na zmieniającym się obrazie modelu, zaznaczono również obecność i położenie więzów między-

cząstkowych, które są widoczne jedynie we wczesnej, początkowej fazie modelowego wyrzutu. W dalszym ciągu przebiegu wyrzutu w modelu więzy te szybko znikają, powodując, że słaby węgiel reprezentowany jest w przeważającej mierze przez pojedyncze cząstki. Przy szczegółowej obserwacji modelu na ekranie komputera można zauważyć, że większość tych więzów znika w początkowej fazie wyrzutu, nieliczne jednak zachowane zostają do końca, pokazując istnienie w masach wyrzutowych dużych brył węgla — zajmujących miejsce przy spągu wyrobiska — co jest wynikiem uwzględnienia w modelu pola sił grawitacji ziemskiej. Obecność, liczba i wielkość tych brył jest wyraźnie większa przy modelowaniu mocnego węgla (*A*, ewent. *B*), w stosunku do sytuacji odnoszącej się do węgla słabych (*C* oraz *D*).

Na omawianym rysunku można zauważyć następujące, charakterystyczne cechy badanego modelu:

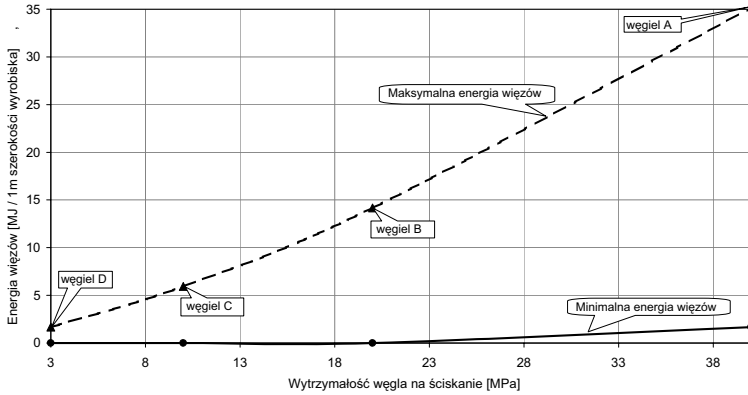
- 1) powiększający się (w fazach cyklu 1–3) poziomy zasięg strefy intensywnego ruchu poziomego cząstek węglowych,
- 2) turbulencje przepływu metanu przez strefę intensywnego niszczenia struktury pokładu węglowego (położoną z tyłu za strefą szybkiego ruchu poziomego),
- 3) regularny, poziomy przepływ metanu w poruszających się masach wyrzutowych,
- 4) strumień zwrotny (wsteczny) metanu w czole mas wyrzutowych, który można interpretować jako efekt szybkiego wbijania się porowatego korka (czoła wyrzutu) w spokojną atmosferę gazową wyrobiska,
- 5) lewoskrętny wir ruchu metanu w rejonie czoła mas wyrzutowych (na kontakcie mas z atmosferą wyrobiska).

Można również dodać, że wyżej wymienione cechy strumienia wolnego metanu w niszczonej pokładzie węglowym i masach wyrzutowych są w niewielkim stopniu zależne od zastosowanego w modelu gradientu ciśnienia gazu między lewym a prawym końcem modelu — w przedziale gradientu (d_p) od 0,5 do 5 MPa.

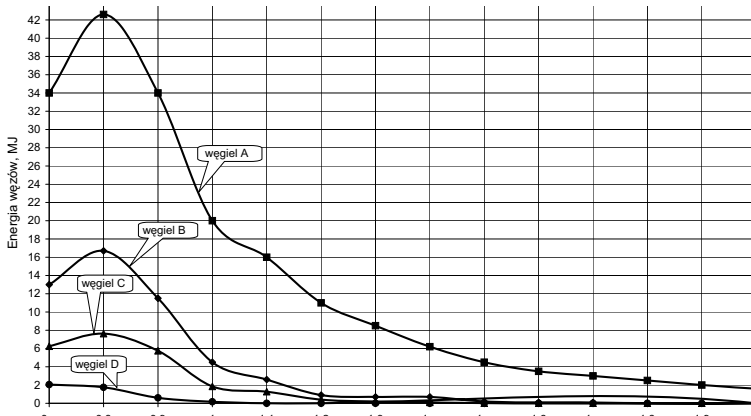
W trakcie cyklicznych przeliczeń modelu (co odpowiada upływowi czasu w wyrobisku rzeczywistym) możliwa jest ciągła rejestracja zarówno średnich wartości poszczególnych parametrów modelowanego górotworu w założonych strefach pomiarowych, jak i różnych cech (zwłaszcza energetycznych) całego modelu, w tym również energii więzów wewnętrznych (międzycząstkowych) rozpatrywanego segmentu pokładu węglowego.

Na rysunku 2 przedstawiono wykres wyników rejestracji maksymalnej oraz minimalnej energii więzów wewnętrznych — w zależności od początkowej wytrzymałości modelowanego węgla. Jak widać z rysunku, energia ta jest w przybliżeniu proporcjonalna do wytrzymałości węgla na ściskanie (R_c). Dodać jednak należy, że omawiany wykres dotyczy bardzo krótkiego przedziału czasu, w którym maksymalna energia więzów pojawia się w modelu, poczym ulega ona szybkiej dyssypacji wskutek zainicjowania procesu wyrzutowego.

Całkowity (praktycznie) okres zaniku energii wewnętrznych więzów węgla (czyli — jego wytrzymałości) wynosił w modelu nie więcej niż 1,5% całkowitego czasu wyrzutu (rys. 3). Waha się on mianowicie od ok. 30 cykli przeliczeniowych modelu (dla najsłabszego węgla *D*) do ok. 220 cykli (dla najbardziej wytrzymałego węgla *A*) — przy całkowitym zakresie przeliczeń modelu wynoszącym 13 000 cykli.



Rys. 2. Wpływ wytrzymałości węgla (R_c) na maksymalną i minimalną energię więzów calizny w początkowej fazie wyrzutu

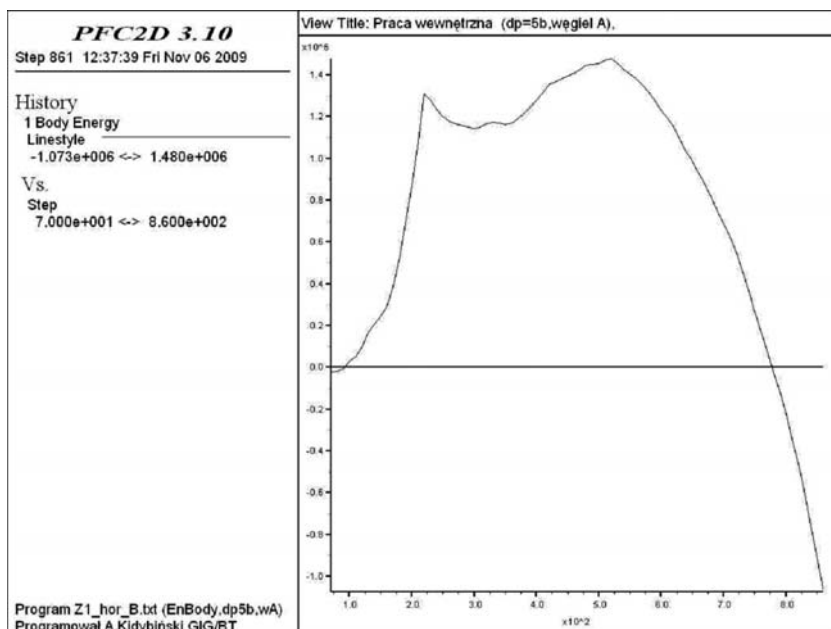


Rys. 3. Energia więzów mas węglowych — w początkowej (ok. 1,5% czasu) fazie wyrzutu

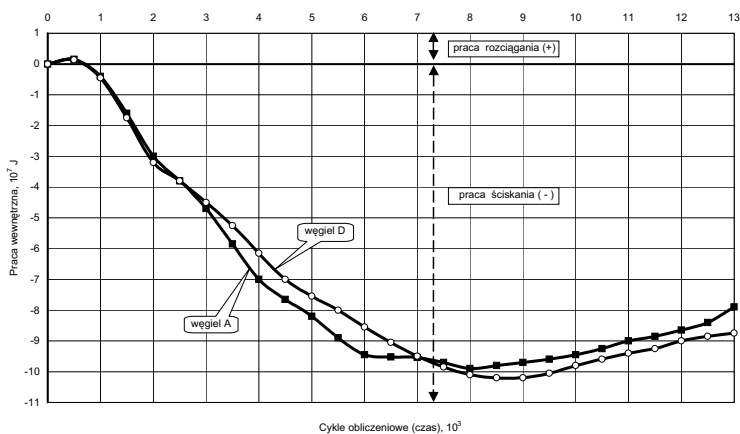
4. Praca wewnętrzna mas węglowych w trakcie wyrzutu

Energetyczna charakterystyka wyrzutu węgla i metanu w przodku wyrobiska korytarzowego związana jest ściśle z pracą wewnętrzną wykonywaną przez rozpatrywany w modelu fragment pokładu węglowego. Na rysunku 4 pokazano oryginalny wykres rejestracji wielkości tej pracy (dla węgla typu *A*), w istocie zaś niewielki jej wycinek dotyczący pracy wewnętrznej rozciągania. Praca ta realizuje się w początkowym (ok. 6,5% czasu) okresie wyrzutu i poprzedza znacznie większą i dłużej trwającą pracę ściskania (pchania).

Na rysunku 5 pokazano łącznie obie fazy pracy, gdzie widoczna jest znaczna dysproporcja ilościowa między pracą rozciągania a pracą ściskania (pchania), która wynika z dużej różnicy między wytrzymałością na rozciąganie (R_r) a wytrzymałością na ściskanie (R_c) skał — w tym również węgla.



Rys. 4. Oryginalny wykres rejestracji pracy wewnętrznej rozciągania (górna część wykresu) oraz początku parcia (ściskania) w pierwszej (ok. 6,5% czasu) fazie wyrzutu



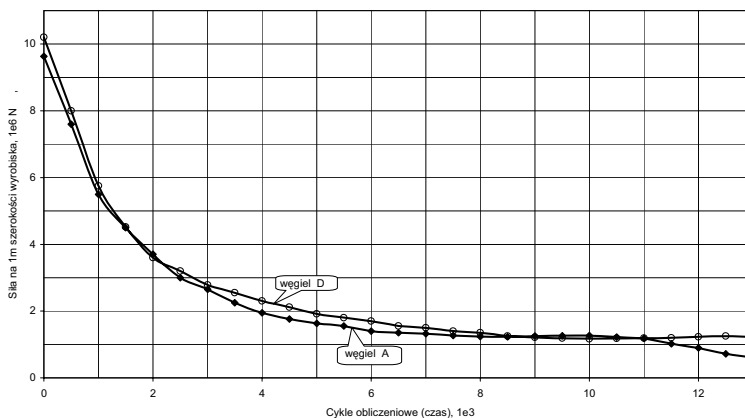
Rys. 5. Praca wewnętrzna mas węglowych podczas całego okresu wyrzutu węgla i metanu

Z rysunku widać ponadto, że wielkości pracy wewnętrznej dla węgla o największej wytrzymałości (A) oraz najmniejszej wytrzymałości (D) niewiele się od siebie różnią, zaś różnica ta dotyczy tylko fazy ściskania. W pierwszym okresie działania modelu węgiel o wysokiej wytrzymałości (A) wykonuje nieco (do ok. 10%) większą pracę ściskania aniżeli węgiel najłabszy (D), w drugim (końcowym) zaś okresie jest odwrotnie. Można to tłumaczyć energetyczną przewagą procesów miażdżenia — w pierwszym okresie (co wymaga większej pracy w przypadku

bardziej wytrzymałego węgla), nad transportem rozdrobnionej masy węglowej — w drugim okresie, co wymaga większej pracy w przypadku ośrodka bardziej rozdrobnionego.

5. Siły niezbilansowane mas węglowych w trakcie wyrzutu

Jednym z ważniejszych czynników charakteryzujących dynamikę przebiegu wyrzutu węgla i gazu jest średnia siła niezbilansowana biorących udział w wyrzucie mas węglowych. Wyniki rejestracji w modelu tej wielkości przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Średnia siła niezbilansowana mas węglowych w trakcie całego okresu wyrzutu

Z rysunku wynika, że początkowa wielkość tej siły wynosi około 10^7 N, zaś w miarę upływu czasu trwania wyrzutu spada ona w przybliżeniu hiperbolicznie do ok. 10^6 N — w końcowej fazie wyrzutu. Różnica położenia linii krzywych otrzymanych dla skrajnych wytrzymałościowo węgla (A, D) jest bardzo niewielka. Można stwierdzić, że siła ta po szybkim spadku w czasie wynoszącym ok. 40% całkowitego czasu trwania wyrzutu — stabilizuje się na poziomie około 10^6 N (w przeliczeniu na 1 metr szerokości wyrobiska).

Można przeto pod względem dynamicznym podzielić okres trwania wyrzutu na dwa etapy, a mianowicie stosunkowo krótki okres niszczenia calizny węglowej oraz dłuższy okres transportu mas wyrzutowych. Ten ostatni odbywa się przy niskiej (ok. 10% wartości maksymalnej) wielkości średniej siły niezbilansowanej przemieszczających się mas wyrzutowych.

Można to tłumaczyć rolą metanu wolnego zmieszanego z dużą ilością metanu świeżo zdesorbowanego — w procesie transportu mas, który przeto odbywa się przy niskim udziale sił masowych.

6. Gęstościowe aspekty inicjacji wyrzutu

W trakcie uprzednio zrealizowanych przez autora badań na omawianym modelu [9] stwierdzono, że bezpośrednio przed oraz w początkowym etapie wyrzutu (do 36% całe-

go czasu trwania wyrzutu) we wglębnych partiach calizny węglowej (ok. 7–17 m od czoła przodka) występuje w pokładzie znaczny wzrost gęstości węgla, wyrażający się spadkiem jego makroporowatości od wielkości pierwotnej (ok. 7,5%) do poziomu minimalnie ok. 0,5%. Rejestrację tego zjawiska przeprowadzono w pięciu strefach pomiarowych o średnicy 3,5 m (na całą wysokość modelowanego pokładu węglowego — równą wysokości wyrobiska), bezpośrednio stycznych do siebie w kierunku poziomym.

W miarę przechodzenia z rejestracją do coraz dalej od przodka położonych partii pokładu — długość okresu czasowego, w którym utrzymywał się stan zwiększonej gęstości — była coraz większa. Zjawisko to w rzeczywistości górniczej można byłoby tłumaczyć dwojako, a mianowicie jako rezultat:

- 1) ciśnienia wolnego gazu wywieranego na ścianki miniszczelin, przez które gaz ten zmuszony jest płynąć wskutek zadanego gradientu ciśnienia (d_p),
- 2) spontanicznym i masowym uwalnianiem się z węgla gazu zasorbowanego.

Mając na uwadze fakt, że zmiana gradientu ciśnienia gazu wolnego w modelu wykazała bardzo ograniczony wpływ na omawiany przyrost gęstości, a także — wspomniany wyżej — nikły udział objętościowy gazu wolnego w stosunku do gazu desorbowanego — można przypuszczać, że istotnym powodem zmian gęstościowych w węglu jest spontanicznie powstający w strefie przodkowej wysoki gradient ciśnienia gazu świeżo zdesorbowanego w węglu — czego modelowym odpowiednikiem jest niezbędne dla zaistnienia wyrzutu minimalne skuteczne wymuszenie mechaniczne na cząstkach modelu.

Omawiane zmiany gęstości węgla w modelu (oraz hipotetycznie — w rzeczywistości podziemnego górnictwa węgla kamiennego) mogły by stworzyć szansę wykrywania i śledzenia ich metodami geofizyki inżynierskiej — jako prekursora wyrzutu węgla i metanu w przodku wyrobiska korytarzowego. Istotna jest przeto potrzeba wyjaśnienia w możliwie niedalekiej przyszłości dwóch zagadnień, a mianowicie:

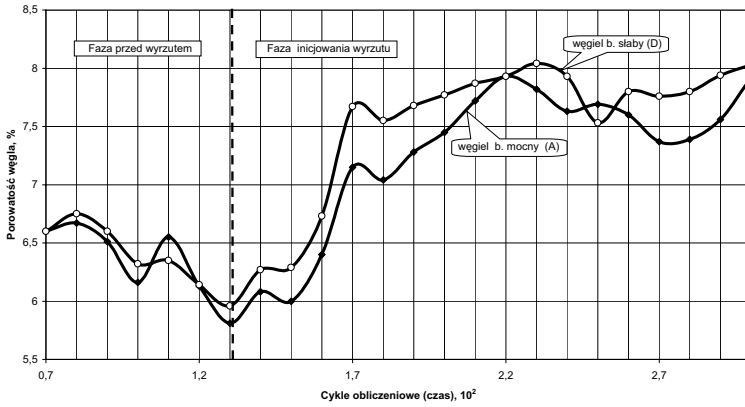
- 1) jak daleko wglęb calizny węglowej (mierząc od czoła przodka) zachodzą omawiane zmiany gęstości węgla,
- 2) czy znajdują one odzwierciedlenie w bezpośrednim czole przodka wyrobiska (od powierzchni czoła przodka do ok. 1,0 m w głąb urabianej calizny).

Odpowiedź na pierwsze z wymienionych pytań może być udzielona dopiero po zbudowaniu i przebadaniu długiego modelu numerycznego (ok. 50 m).

Szukając natomiast odpowiedzi na drugie pytanie, autor zrealizował na przedstawionym w niniejszym artykule modelu rejestrację zmian makroporowatości w strefie pomiarowej o średnicy 1,0 m stycznie położonej (od strony calizny) do pierwotnego czoła wyrobiska, w połowie jego wysokości.

Wyniki wymienionej rejestracji przedstawiono na rysunku 7. Jak widać z rysunku, bezpośrednio przed wyrzutem stwierdzono niewielki (ok. 0,7–0,8%) spadek porowatości węgla w przodku, zaś początek fazy inicjacji wyrzutu zaznaczył się 2% — owym wzrostem porowatości węgla. Można dodać, że wpływ początkowej wytrzymałości węgla (A , B , C , D) na zmiany porowatości przed wyrzutem jest znikomy, zaś w fazie inicjowania wyrzutu węgiel bardzo mocny (A) wykazuje nieco mniejszą średnią poro-

watość niż węgiel słaby — co może wskazywać na jego wielko-bryłowy rozpad w początkowej fazie wyrzutu.



Rys. 7. Porowatość węgla w czole przodka (0–1 m) przed wyrzutem oraz w jego początkowej fazie

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań na modelu można sformułować następujące, ogólne wnioski i spostrzeżenia:

- 1) badania wyrzutów węgla i gazu przeprowadzone na numerycznym spoiwym modelu cząstkowym pozwoliły na opracowanie przesłanek nowej metody kopalnianych pomiarów geofizycznych (zmian gęstości węgla), mogących zaowocować systemem wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem wyrzutu węgla i gazu w danym przodku,
- 2) mając na uwadze stały wzrost metanonośności pokładów węgla w GZW przy eksploatacji coraz głębiej położonych pokładów — konieczne jest podjęcie prac badawczych nad dwufazową eksploatacją głęboko zalegających pokładów węgla kamiennego w GZW, obejmującą wstępny, systematyczny drenaż metanu — jako czystego surowca energetycznego, a następnie — eksploatacji odgazowanych pokładów tradycyjną techniką ścianową,
- 3) metan wydalany przez kopalnie eksploatujące metanowe pokłady węgla — do atmosfery ma 21-krotnie bardziej szkodliwy wpływ na efekt cieplarniany niż dwutlenek węgla, przeto wyprzedzając eksploatację górniczą drenaż z pokładów węgla ma również poważne znaczenie ekologiczne.

LITERATURA

- [1] *Jakubów A., Tor A., Wierzbicki M.*: Własności strukturalne węgla w rejonie wyrzutu węgla i gazu w chodniku transportowym D-6 w pokładzie 409/4 KWK Zofiówka, XIII Międz. Konf. Górnicze Zagrożenia Naturalne, Wyd. GIG, Katowice 2006

- [2] *Krause E.*: Wpływ uwarunkowań geologicznych i gazowych na kształtowanie się zagrożenia wyrzutami gazów i skał w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Prace Nauk. GIG. Kwart. Górnictwo i Środowisko, nr 2, 2007
- [3] *Cundall P.A.*: Computer Model for Simulating Progressive Large Scale Movements in Blocky Rock Systems, Proc. Symp. ISRM, vol 1, Nancy, Francja, 1971
- [4] ITASCA: PFC2D Particle Flow Code in 2 Dimensions, Theory and Background, Minneapolis, USA, 2004
- [5] *Potyondy D.O., Cundall P.A.*: A Bonded-particle Model for Rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci, vol. 41, 2004
- [6] *Kidybiński A.*: Pole dynamicznego wyężenia skał stropowych wyrobiska korytarzowego po wstrząsie górotworu, Prace Nauk. GIG, Kwart. Górnictwo i Środowisko, nr 2, 2007
- [7] *Patyńska R., Kidybiński A.*: Modelowanie zjawisk gazogeodynamicznych w pokładach jednorodnych i z uskokiem. Kwart. Górnictwo i Geoinżynieria, rok 32, zesz. 1, AGH, Kraków 2008
- [8] *Ceglarska-Stefańska G. i inni*: Porowatość polskich węgla kamiennych. Archives of Mining Sciences, vol. 40, issue 3, 1995
- [9] *Kidybiński A.*: Zmiany gęstości węgla przyprzodkowej strefy pokładu — przed oraz podczas wyrzutu gazu i skał. Kwart. Górnictwo i Środowisko, nr 2, GIG, Katowice 2009