

Adam SWIDZINSKI

CHARAKTERYSTYKA GŁÓWNYCH CZYNNIKÓW
WPŁYWAJĄCYCH NA MOŻLIWOŚĆ ZAISTNIENIA WYRZUTÓW WĘGLI, GAZÓW I SKAŁ

Streszczenie. W pracy podano charakterystykę podstawowych czynników współdziałających przy wyrzutach a mianowicie: naprężeń panujących w pokładzie, gazu zawartego w caliznie oraz fizykomechanicznych własności skał.

Mimo istniejących jeszcze dużych rozbieżności poglądów odnośnie warunków powstawania mechanizmu wyrzutów, wzajemne współdziałanie ww. czynników przy wyrzutach jest oczywiste a rozbieżność poglądów dotyczy jedynie dominacji jednego z głównych czynników współdziałających, co jest przyczyną stosowania różnych wskaźników prognozy i metod ich określania, nie zawsze odpowiednich dla innych rejonów wyrzutowych.

W niniejszej pracy oparto się na matematycznym kryterium prognozowania wyrzutów węgla, gazów i skał [12].

1. Wstęp

Wyrzuty węgla, gazów i skał stanowią podstawowy problem kopalń Dolnego Śląska. Do końca 1976 r. zdarzyło się w Zagłębiu Dolnośląskim 1506 wyrzutów, z czego w rejonie noworudzkim 1296 a w rejonie wałbrzyskim 210. Były to wyrzuty głównie CO₂ i węgla, przy czym zanotowano również 5 wyrzutów CH₄ i węgla w polu "Chrobry" KWK "Wałbrzych" i 2 wyrzuty piaskowca i CO₂ w polu "Piaś" KWK "Nowa Ruda".

Wyrzuty gazów i skał stanowią również główne zagrożenie północnych złóż solnych: kłodawskiego i inowrocławskiego. W złożach tych zarejestrowano dotychczas odpowiednio 190 oraz 4 wyrzuty gazowoskalne. Ogólnie w ww. złożach soli można wyróżnić 3 rodzaje wyrzutów, a mianowicie:

- wyrzuty soli z azotem,
- wyrzuty soli z węglowodorami,
- wyrzuty soli z węglowodorami i siarkowodorem.

Nie wyklucza się również możliwości występowania wyrzutów metanu i węgla w kopalniach okręgu rybnickiego.

Poglądy dotyczące procesów poprzedzających wyrzut są jeszcze wciąż kontrowersyjne. Aktualnie istnieje kilkadziesiąt teorii usiłujących wyjaśnić mechanizm powstawania tego zjawiska [18]. Ustosunkowanie się do nich i ich analiza przekracza ramy niniejszego artykułu.

Obecna teorie [7,12,21] uwzględniają fakt, że podstawowymi czynnikami, mającymi wpływ na możliwość zaistnienia wyrzutu, są:

- ciśnienie górotworu,
- gaz zawarty w pokładzie,
- własności fizykomechaniczne (wytrzymałościowe) skał.

Różnica poglądów istnieje jedynie odnośnie dominacji jednego z głównych czynników współdziałających przy wyrzucie. Opierając się na ogólnie uznanych stwierdzeniach można napisać symbolicznie, że wyrzut (W) jest funkcją złożoną postaci:

$$W = f(\sigma, G, F_m), \quad (1)$$

gdzie:

- σ - naprężenia panujące w pokładzie (kN/m^2 lub kg/cm^2),
- G - gazonośność pokładu (m^3/m^3 lub m^3/Mg),
- F_m - własności fizykomechaniczne skał.

Każdy z powyższych czynników jest uzależniony od szeregu innych parametrów, których krótką charakterystykę podano w dalszej części pracy, w której przyjęto, jako podstawowe założenie, że istnieje wpływ ciśnienia gazu jak również naprężeń pierwotnych wynikających z głębokości zalegania na wytrzymałość odkrytej calizny, a nie tylko naprężeń w jej sąsiedztwie.

2. Naprężenia panujące w pokładzie

Rola naprężeń w problematyce wyrzutów nie jest w chwili obecnej w sposób dostateczny rozeznana. W literaturze znane są prace W.W. Chodota [7] oraz H. Gila [12], ujmujące w sposób matematyczny zjawisko wyrzutu i traktujące stan naprężeń w porowatym szkielecie jako jeden z głównych czynników (obok gazonośności i fizykomechanicznych własności skał), mających wpływ na zaistnienie wyrzutu.

W niniejszej części pracy podano streszczenie matematycznego kryterium prognozowania wyrzutów wg H. Gila wraz z charakterystyką jednego z parametrów występującego w tym kryterium, tzn. składowej poziomej naprężenia pierwotnego, pozostałe parametry tego kryterium (ciśnienie gazu, porowatość, wytrzymałość mechaniczna skał przy jednoosiowym ściskaniu) omówiono w części 3 i 4 pracy.

Wyrobiska ścianowe lub chodnikowe, wobec ich niewielkich wymiarów, można traktować w górotworze jak szczelinę, a wyrzut jako propagację tej szczeliny w polu naprężeń rozciągających. Od wielkości naprężenia w pokładzie i ciśnienia gazu zależy na jaką głębokość sięgnie propagacja tej szczeliny, tzn. jak duży obszar w głąb pokładu (lub warstwy wyrzutowej) obejmie wyrzut. Przy pewnych założeniach podanych w pracach [12] i [13], można

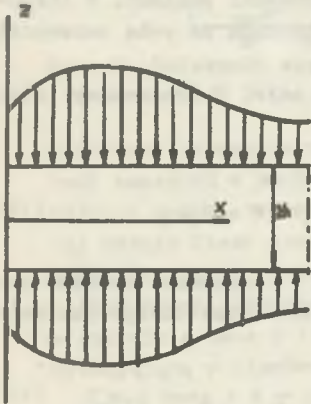
określić stan naprężeń w niewielkiej odległości od odcosu wyrobiska, które otrzymujemy z rozwiązania Prandla [22], a mianowicie:

$$\sigma_x^* = \bar{p} - k \frac{x}{h} + 2k \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2}} \quad (2)$$

$$\sigma_z^* = \bar{p} - k \frac{x}{h}; \quad \tau = k \frac{z}{h}, \quad (3)$$

gdzie:

- \bar{p} - stała dowolna,
- k - stała plastyczność węgla (kH/m^2),
- h - połowa grubości pokładu (m),
- τ - naprężenie styczne w płaszczyźnie OXY (kN/m^2),
- x, z - współrzędne kartezjańskie pokazane na rys. 1.



Rys. 1. Rozkład naprężeń pionowych $\sigma_x(x)$ wywołanych wyróbkami

Na rys. 1 przedstawiono pasmo powstałe przez wycięcie dwoma przekrojami prostopadłymi do odcosu wyrobiska odległymi od siebie o jednostkę długości. Strzałki obrazują wielkość naprężenia $\sigma_z(x)$ wywołane wyróbkami, Pokład węgla lub warstwa skały wyrzutowej posiadają naprężenia pierwotne postaci:

$$p_x = p_y = np_z = -n\gamma H. \quad (4)$$

W ośrodku porowatym nasyconym gazem naprężenia te przyjmują postać:

$$p_x = -(1-m)(n\gamma H - p_0), \quad (5)$$

$$p_y = -(1-m)(n\gamma H - p_0), \quad (6)$$

$$p_z = -(1-m)(\gamma H - p_0), \quad (7)$$

gdzie:

- m - porowatość ośrodka (%),
- n - współczynnik bocznego rozpierania skał (od 0 do 1),
- p_0 - ciśnienie gazu w porach (kPa),
- γ - ciężar właściwy skały (N/m^3),
- H - głębokość zalegania pokładu (warstwy wyrzutowej) w (m).

Z równań 2 i 3 wyznaczamy stałą \bar{p} w oparciu o warunek, że odłupywanie warstw wzdłuż płaszczyzn klifu jest równoznaczne ze spadkiem do zera si-

ły działającej prostopadle do płaszczyzny pęknięcia. Przy wyznaczaniu stałej "p" bierzemy pod uwagę składową poziomą naprężenia pierwotnego 5. Siła działająca w płaszczyźnie $x = x_0$ położonej w niewielkiej odległości od ośrodku ma postać:

$$Y = \int_{-h}^h (\sigma_x^* + \bar{p}_x) dz, \quad (8)$$

gdzie:

$$\bar{p}_x = -(1 - m)(n \gamma H + \text{grad } p \cdot x_0), \quad (9)$$

x_0 - w przybliżeniu równe miąższości pokładu.

W pracy [19] wykazano, że rozwiązanie Prandla jest skuteczne już dla wielkości $x \geq x_0$, gdzie x_0 jest równe w przybliżeniu grubości pokładu. W obszarze $(0, x_0)$ pokład przechodzi w stan spękań, co pociąga za sobą zerowanie się całki 8 w płaszczyźnie $x = x_0$.

Po uwzględnieniu równości 2 i 9 oraz rozwiązaniu całki 8 wyznaczamy stałą \bar{p} :

$$\bar{p} = k \left(\frac{x_0}{h} - \frac{\pi}{2} \right) + (1 - m)(n \gamma H + \text{grad } p \cdot x_0) \quad (10)$$

Po wstawieniu powyższej zależności do równań 2 i 3 otrzymamy rozkład naprężeń w pokładzie skłonnym do wyrzutu (lub warstwie wyrzutowej) postaci:

$$\sigma_x^* = -\frac{k}{h} (x - x_0) + 2k \sqrt{1 - \frac{x^2}{h^2} - \frac{\pi k}{2} + (1 - m)(n \gamma H + \text{grad } p \cdot x_0)} \quad (11)$$

$$\sigma_z^* = -\frac{k}{h} (x - x_0) - \frac{\pi k}{2} + (1 - m)(n \gamma H + \text{grad } p \cdot x_0) \quad (12)$$

$$\tau = k \cdot \frac{x}{h}.$$

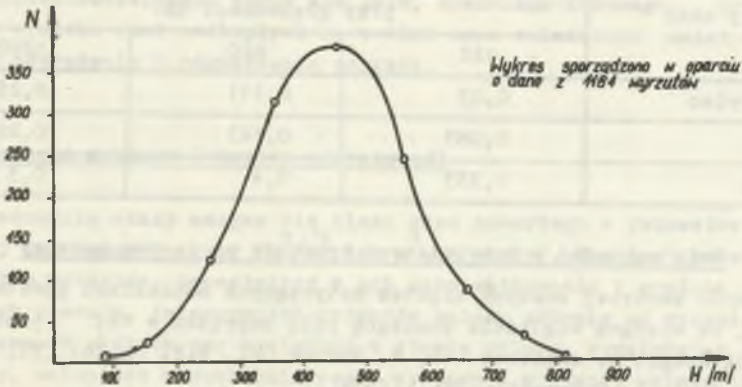
Powyższe równania wskazują na liniowy przebieg wytrzymałości pokładu. Równość (12) może być wykorzystana do prognozowania wyrzutów, o ile przed przystąpieniem do eksploatacji wyznaczmy zawarte w niej parametry, takie jak składową poziomą naprężenia pierwotnego ($n \gamma H$), wielkość ciśnienia w pokładzie (p), porowatość (m) i stałą plastyczności (k).

Pokład będzie zagrożony wyrzutami, jeżeli zajdzie następująca nierówność:

$$-\pi k + 2(1 - m)(n \gamma H + \text{grad } p \cdot x_0) \geq 0 \quad (13)$$

Składowa pozioma naprężenia pierwotnego ($n \gamma H$) w pokładzie (lub warstwie wyrzutowej) zależy od następujących czynników:

- głębokości zalegania (H),
- średniego ciężaru właściwego skał (γ_{sr}),
- współczynnika bocznego rozpierania skał (n).



Rys. 2. Zależność między ilością wyrzutów (N) a głębokością eksploatacji (H) dla kopalń DZPW

Głębokość zalegania pokładu jest istotnym czynnikiem wpływającym na wielkość naprężeń w pokładzie, a tym samym na możliwość zaistnienia wyrzutu. Ogólnie można stwierdzić [6,19,23], że ze wzrostem głębokości eksploatacji rośnie ilość wyrzutów, jak również rośnie ilość wyrzucanych mas skalnych. Na rys. 2 przedstawiona jest zależność między ilością wyrzutów (N) a głębokością eksploatacji (H), dla kopalń DZPW [23]. Wykres sporządzono w oparciu o dane z 1164 wyrzutów.

Występującą w nierówności (13) wartość n można obliczyć ze wzoru:

$$n = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (14)$$

gdzie:

ν - wsp. Poissona (orientacyjne wartości ν w zależności od głębokości podane są w tabelicy 1).

W przybliżeniu wartość n można również określić [3] z następującej zależności:

$$n = 1,135 \div 0,556 \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (15)$$

gdzie:

φ - kąt tarcia wewnętrznej skały (np. dla węgla $\varphi = 40^\circ \div 47^\circ$, dla piaskowca $\varphi = 80^\circ$).

Tablica 1

Wartość liczby Poissons (ν)
w zależności od głębokości dla skał formacji węglowych

Rodzaj skał	Wartość liczby (ν)		
	przy głębokości (m)		
	122	620	1200
Piaskowiec	0,05	0,111	0,25
Łupek	0,083	0,143	0,286
Wągiel	0,333	0,4	0,5

Rola naprężeń w problematyce wyrzutów wg innych badaczy

Spśród bardziej znanych hipotez dotyczących mechanizmu powstawania wyrzutów, na wiodącą względnie znaczącą rolę naprężeń w tej problematyce zwracają uwagę: E. Audibert [1], W. Budryk [6], W.W. Chodot [7], A.A. Skoczyński [21], J. Tarnowski [24], [25].

W.W. Chodot podał matematyczny model zjawiska wyrzutu na gruncie teorii sprężystości [7]. Wg autora, wyrzut jest funkcją działania w pokładzie sił następujących czterech rodzajów:

- naprężeń panujących w pokładzie,
- ciśnienia gazu,
- siły ciężkości węgla,
- sił pochodzących od działania urządzeń urabiających i materiałów wybuchowych.

Wg autora zasadniczym warunkiem zainicjowania wyrzutu jest zwolnienie w pobliżu wyrobiska górniczego takiej energii potencjalnej węgla E_p oraz energii kinetycznej E_k , które wystarczyłyby do wykonania pracy przemieszczenia węgla w kierunku wyrobiska F i jego rozluźnienia U .
Czyli:

$$E_p + E_k > F + U. \quad (16)$$

Autor podaje wzory na wyznaczenie wartości naprężeń w pokładzie (σ_x , σ_y , σ_z). Praca ta jednak, ze względu na swoją złożoność, nie znalazła większego praktycznego zastosowania przy prognozowaniu wyrzutów. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że w górnictwie radzieckim przy ocenie warunków, w których mogą występować wyrzuty, określa się w przybliżeniu wartości naprężeń w pokładzie (warstwie wyrzutowej) [14], [17]. Przykładowo w kop. "Koczegarka" w uproszczonym modelu naprężeń postaci: $\sigma_z \neq \sigma_x = \sigma_y$ dla ławy piaskowca zalegającego na głębokości 360 m pomierzone składowe naprężenia wynoszą (14): $\sigma_z = 490 \text{ kG/cm}^2$, $\sigma_x = 245 \text{ kG/cm}^2$, przy naprę-

zeniach pierwotnych rzędu: $P_z = 215 \text{ kg/cm}^2$, $P_x = P_y = 54 \text{ kg/cm}^2$, ($\gamma_{sz} = 26 \text{ N/dm}^3$, $\nu = 0,16$, moduł sprężystości piaskowca: $E = 3,6 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$).

Z polskich badaczy znane są prace J. Tarnowskiego [24], [25] dotyczące kształtu przebiegu naprężeń w pokładzie na danej głębokości przy założonym ciśnieniu pierwotnym gazu w nim panującym, oddziaływaniu naprężeń na stopień przepuszczalności węgla dla gazu, średniego dobowego przebiegu rozkładu nacisku skał nadległych na pokład oraz zależności zwiercalności węgla od odprężenia i odgazowania pokładu.

3. Gazonośność pokładu (warstwy wyrzutowej)

Gazonośnością skały nazywa się ilość gazu zawartego w jednostce objętościowej lub wagowej skały (m^3/m^3 lub m^3/t skały). Gaz jest zasadniczym przedmiotem wyrzutów, uczestniczy w ich zapoczątkowaniu i spełnia główną rolę w ich rozwoju, intensywność wyrzutów zależy głównie od stopnia nasycenia gazem. W skałach gaz występuje w stanie wolnym, wypełniając pory i szczeliny, natomiast w pokładzie węgla występuje w stanie wolnym lub w postaci związanej z węglem jako gaz sorbowany (adsorbowany i absorbowany).

Całkowitą ilość gazu sorbowanego i wolnego, jaka może w określonych warunkach znajdować się w węglu, nazywamy gazową pojemnością węgla (Q_w), którą określają następujące czynniki: pojemność sorpcyjna, objętość gazu wolnego, ciśnienie gazu, temperatura, wilgotność, rodzaj gazu, filtracja, dyfuzja.

Pojemność sorpcyjna - to całkowita ilość gazu, jaka może być pochłonięta przez węgiel. Ilość sorbowanego gazu w węglu zależy od własności węgla i gazu (sorbenta i sorbatu), ciśnienia i temperatury gazu, stopnia metamorfizmu (uwęglenia), wilgotności a także ciśnienia górotworu.

Objętość gazu wolnego - główna masa gazu w pokładzie znajduje się w postaci sorbowanej, gaz wolny który wypełnia pory i szczeliny w stosunku do sorbowanego stanowi niewielki procent (ok. 10% objętości gazu sorbowanego). Gaz wolny podlega prawom stanu gazowego, głównie Boyle'a-Mariotta:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{const} \quad (17)$$

Ilość gazu wolnego można obliczyć wzorem (9):

$$V_w = m_o \cdot \frac{p \cdot T_o}{k \cdot p_a \cdot T} [\text{cm}^3], \quad (18)$$

gdzie:

m_o - porowatość węgla lub skały (objętość porów pomniejszona o objętość wody w porach) $[\text{cm}^3]$

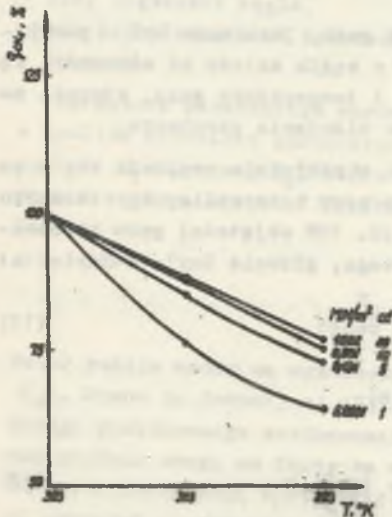
- p - ciśnienie gazu [kPa],
 p_a - ciśnienie atmosferyczne [kPa],
 T_0 - temperatura, $T_0 = 273$ K,
 T - temperatura w pokładzie [K],
 K - współczynnik ściśliwości gazu przy danej temperaturze i ciśnieniu w pokładzie.

Temperatura - występujący we wzorach 20 i 21 czynnik temperatury wpływa nie tylko na wielkość pojemności gazowej gazu wolnego ale również na pojemność sorpcyjną. Wg R. Vandeloise [26], jak również innych badaczy (Lidin, Ettinger) ilość gazu sorbowanego zmniejsza się ze wzrostem temperatury (rys. 3) J.L. Ettinger [11] podał wzór na określenie ilości gazu sorbowanego przez węgiel przy temperaturze złożonej q_t postaci:

$$q_t = q_1 \cdot \frac{Kt}{K_1} \text{ [ml/g]}, \quad (19)$$

gdzie:

- q_1 - ilość gazu sorbowanego przez węgiel przy temperaturze wyznaczania izotermy w laboratorium [ml/g],
 K_t, K_1 - stałe współczynniki określone przez G.P. Lidina [16].



Rys. 3. Zmiana pojemności sorpcyjnej węgla q_s w zależności od temperatury T i ciśnienia p (wg R. Vandeloise)

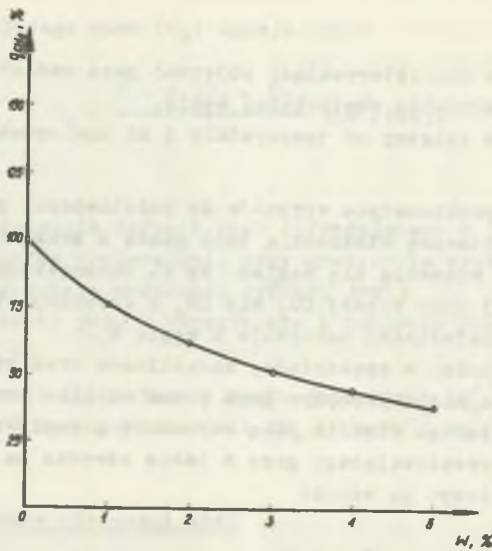
Wilgotność - jest czynnikiem wpływającym na sorpcję węgla, powodującym zmniejszenie pojemności sorpcyjnej węgla. Wg W.W. Chodota [8] pojemność sorpcyjna w węgla wilgotnym może być do trzech razy mniejsza niż w węgla suchym. Zależność między pojemnością sorpcyjną węgla wilgotnego (q_w), suchego (q_s) a wilgotnością (w) ujemuje wzór [8]:

$$q_w = \frac{q_s}{1 + k \cdot w \cdot n} \text{ [ml/g]}, \quad (20)$$

gdzie:

- q_s - pojemność sorpcyjna węgla suchego [ml/g],
 w - wilgotność [%],
 k, n - współczynniki zmienne dla różnych węgli od 0 do 1.

Wpływ wilgoci węgla na pojemność sorpcyjną wg J. Belina [2] obrazuje rys.4.



Rys. 4. Wpływ wilgotności W na pojemność sorpcyjną węgla q_s (wg J. Belina)

Ciśnienie gazu - jest podstawowym parametrem określającym gazoność skały. Dotychczas brak jest metod wyznaczających w sposób jednoznaczny rzeczywiste ciśnienie gazu w złożu.

Ogólnie metody określania ciśnienia gazu można podzielić na:

- a) metody bezpośrednie - polegające na pomiarze ciśnienia gazu w otworach,
- b) metody pośrednie - polegające na ustalaniu zależności między pojemnością gazową węgla a ciśnieniem, tzn. że znając zawartość gazu w pokładzie można wyznaczyć jego ciśnienie.

W wyrzutowych pokładach kopalń ZSRR ciśnienie gazu w pokładzie służy jako kryterium pomocnicze przy ocenie wyrzutowości pokładu, np. pokłady Zagłębia Donieckiego uważa się za wyrzutowe przy ciśnieniach $CH_4 > 10 \text{ atm}$, ($9,81 \cdot 10^2 \text{ kPa}$).

Ciśnienie gazu wpływa również na kształtowanie się pojemności sorpcyjnej (decyduje o przenikaniu cząstek gazu do mikroporów). Wśród wielu sprzecznych opinii na temat wpływu ciśnienia na pojemność sorpcyjną przeważa pogląd, że maleje ona ze wzrostem ciśnienia. Np. wg Lidina [16] pojemność sorpcyjna maleje od 1 do 2% przy zwiększeniu nacisku mechanicznego na węgiel do 100 atm ($9,81 \text{ MPa}$). Zależność analityczną ciśnieniem gazu (p) a objętością gazu zasorbowanego (q_s) ujmuje wzór J. Langmuira [15]:

$$p = q_m \cdot \left(\frac{1}{a \cdot b} + \frac{p}{b} \right) \text{ [MPa]}, \quad (21)$$

gdzie:

- a - współczynnik charakteryzujący objętość gazu zasorbowanego przy całkowitym zapełnieniu powierzchni węgla,
- b - współczynnik zależny od temperatury i od powierzchni właściwej węgla.

Rodzaj gazu. W problematyce wyrzutów do podstawowych gazów zaliczamy: CO_2 , CH_4 i N_2 . Podstawową własnością tych gazów z uwagi na ww. problematykę jest zdolność wiązania się węglem. Wg J. Borowskiego [5] węgiel sorbuje średnio 2 do 3 razy więcej CO_2 niż CH_4 , a desorbuje 3 do 4 razy szybciej CO_2 niż CH_4 , najwolniej desorbuje z węgla N_2 .

Filtracja - zachodzi w spękaniach, szczelinach oraz otwartych porach. Przez filtrację rozumiemy przepływ gazu przez ośrodek porowaty. W przypadku górotworu mającego właśnie taką strukturę przepływy mają charakter laminarny. Ilość przepływającego gazu w takim ośrodku na skutek filtracji (Q_f) można obliczyć ze wzoru:

$$Q_f = \frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot k \cdot S}{2 \cdot \mu \cdot L} \quad [\text{m}^3/\text{sek}], \quad (22)$$

gdzie:

- k - współczynnik przepuszczalności calizny węglowej (d^x),
- S - powierzchnia (przekrój) filtracji m^2 ,
- p_1, p_2 - ciśnienie gazu w początkowym i końcowym punkcie drogi filtracji [kPa],
- μ - lepkość dynamiczna gazu ($\text{kG} \cdot \text{sek}/\text{cm}^2$),
- L - długość drogi (grubość warstwy) migracji [cm].

W pobliżu wyrobisk filtracja powoduje obniżenie się ciśnienia gazu wolnego, co powoduje z kolei desorbację gazu z powierzchni porów.

Jak wynika ze wzoru 22 intensywność filtracji zależy głównie od ciśnienia gazu oraz przepuszczalności calizny, CO_2 ze względu na większą gęstość i lepkość ma niższy współczynnik filtracji niż CH_4 . Wg G.D. Lidina [16] węgle silniej zmetamorfizowane mają mniejszą przepuszczalność; jeżeli przepuszczalność antracytów przyjmiemy za 1 to dla węgla koksowych wynosi ona odpowiednio 5 a dla długopłomiennych 80.

Dyfuzja - prowadzi do wyrównywania się składników gazowych w ośrodku porowatym nasyconym gazem, jak również jest czynnikiem określającym szybkość degazacji tego ośrodka. Przez dyfuzję rozumiemy ruch molekularny gazu w najdrobniejszych porach (pory molekularne i volmerowskie).

^{x)} 1 darcy = 1 d = $\frac{1}{9.80665} \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ (przepuszczalność porowatej calizny węglowej w przypadku przepływu laminarnego równa jest w przybliżeniu 1 d).

Ilość dyfundującego gazu (Q_d) ujemuje wzór:

$$Q_d = \frac{D \cdot S (C_1 - C_2)}{L} \text{ [cm}^3\text{/sek]}, \quad (23)$$

gdzie:

- D - współczynnik dyfuzji gazu dyfundującego w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni, przy gradiencie stężenia = 1 [cm²/sek]
 S - powierzchnia przekroju dyfuzji [cm²],
 C₁, C₂ - stężenie gazu w początkowym i końcowym punkcie drogi migracji [%].

Współczynnik dyfuzji (D) metanu w węglu jest rzędu 10⁻¹⁰ [cm²/sek], CO₂ dyfunduje około 10 razy szybciej niż CH₄ (D = 10⁻⁹ cm²/sek).

4. Fizykomechaniczne własności skał

Powszechnie wiadomo, że wyrzuty występują przeważnie w miejscach, gdzie pokład ulega zaburzeniu, bądź to wskutek ścienienia, bądź też zgnięcia pokładu przez gwałtowne sfałdowanie i uskoki.

Wymienione czynniki związane są ze zmianami struktury węgla, powstałe nowe szczeliny i spękania powodują zmniejszenie się jego zwięzłości. Poza tym szczeliny stanowią drogi dla gazu, zwiększając wydatnie szybkość jego wydzielania. Węgiel czy skała stają się mniej wytrzymałe mechanicznie, a to z kolei ułatwia wyrzuty gazów i skał.

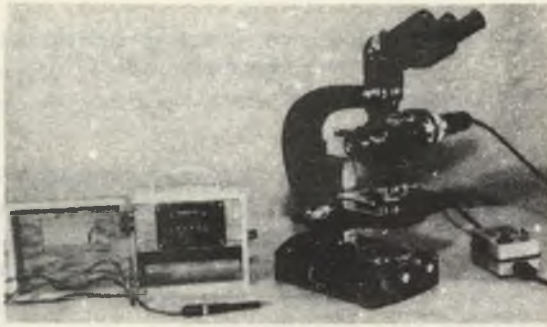
Do zasadniczych parametrów fizykomechanicznych własności węgla i skał zaliczamy: szczelinowość (S), porowatość (m), wytrzymałość mechaniczną skał (R_{r,c}), zawartość części lotnych (V^b) i zwięzłość (f).

Szczelinowość - określa się metodą optyczną, obserwując powierzchnię szlif u wypolerowanej próbki węgla o wymiarach 10 x 10 x 3 cm pod mikroskopem. Liczba makro i mikroszczelin, przypadająca na 1 cm długości preparatu, stanowi kryterium do zaliczenia węgla pokładów do odpowiednich klas naruszenia węgla (tablica 2) [20].

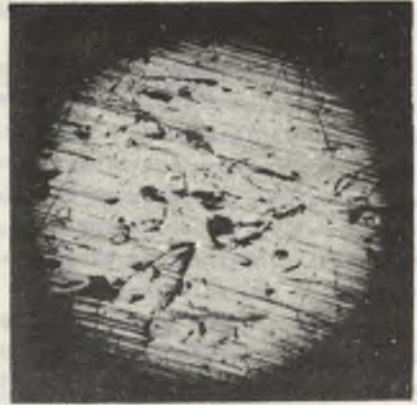
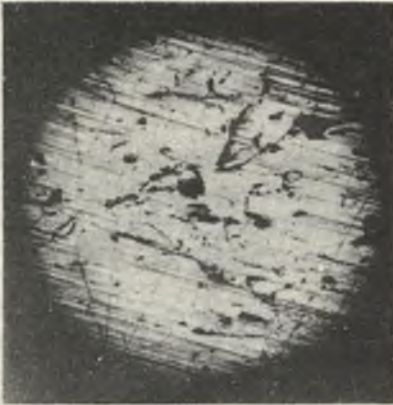
Tablica 2

Klasy naruszenia węgla

Klasa	Oczko sieci - odległość między szczelinami [mm]	Liczba mikro- i makroszczelin na 1 cm długości preparatu
I	1,6	<6,25
II	0,5	6,25 ÷ 20
III	0,14	20 ÷ 71,4
IV	0,05	71,4 ÷ 200
V	0,008	>200



Rys. 5. Zestaw aparatury do liczenia makro- i mikroszczelin



Rys. 6. Zdjęcia powierzchni preparatów węglowych z KWK "Nowa Ruda" (mikroskop firmy Zeiss, powiększenie 400 x)

W przypadku wystąpienia III, IV lub V kategorii naruszenia węgla w pokładzie ($20 \div 71,4$, $71,4 - 200$ i > 200 makro- i mikroszczelin na 1 cm preparatu) uważa się pokład za skłonny do wyrzutów.

Przykładowe kształtowanie się szczelinowości węgla pokładów kop. "Nowa Ruda" przedstawia tablica 3.

Na rys. 5, 6 przedstawiono zestaw aparatury do liczenia makro- i mikroszczelin oraz obraz próbki skały pod mikroskopem.

Porowatość - jest własnością substancji stałych, polegającą na istnieniu w nich porów, tj. otwartych lub zamkniętych przestrzeni niewypełnionych daną substancją. Najogólniej pory możemy podzielić na: makropory (10^{-5} do 10^{-4} cm) i mikropory (10^{-6} do 10^{-7} cm). Makropory są bardzo zróżnicowane pod względem formy i pochodzenia. Do makropor zaliczamy przestrzenie między skoagulowanymi strukturami, pustki powstałe po pęcherzykach gazowych, szczeliny tektoniczne powstałe na skutek kruszenia się itp. Mikropory wg I.L. Ettingera [1] można podzielić na 5 klas:

Klasa I - pory molekularne, są to najdrobniejsze pory o średnicy otworu wejściowego około 5 Å. W porach tych możliwy jest jedynie proces dyfuzji. Dla przykładu średnice molekuł (Å) niektórych gazów wynoszą: $N_2 - 3,76$, $H_2 - 2,73$, $O_2 - 3,62$, $CH_4 - 4,16$, $CO_2 - 4,63$ m.

Klasa II - pory Volmera o średnicy 10 - 100 Å. Przechodzenie gazu w takich porach zachodzi przez dwuwymiarową dyfuzję powierzchniową.

Klasa III - pory Knudsen'a o średnicy $10^2 - 10^3$ Å. Szerokość tych por jest taka sama co droga swobodna molekuł. Przepływ gazów w tych warunkach jest molekularny i znacznie różni się od przepływu lepkiego i dyfuzyjnego.

Klasa IV - pory Browna o średnicy $10^3 \text{ Å} \div 10^4 \text{ Å}$. Koloidalne cząstki o tych rozmiarach doznają ruchów Browna. Przepływ gazu w tych porach jest pośredni między molekularnym a lepkiem.

Klasa V - pory Poiseuille'a o rozmiarach $10^4 - 10^5$ Å. Przepływ gazu w tych porach można rozpatrywać jako ośrodek ciągły, podobny do lepkiej cieczy.

Porowatość węgla waha się w szerokich granicach (od kilku do kilkudziesięciu procent). Przykładowo, średnie i maksymalne zawartości porowatości węgla kopalni "Nowa Ruda" przedstawiono w tablicy 3.

Wykazano zwiększanie się porowatości ze wzrostem metamorfizmu oraz zmniejszanie się porowatości ze wzrostem części lotnych oraz ciśnienia [8], [1]. Porowatość można mierzyć praktycznie dwiema metodami:

- a) metodą helowo-rtęciową [10],
- b) na podstawie różnicy między gęstością rzeczywistą ρ i pozorną ρ_p węgla, wg wzoru:

$$m_o = \frac{\rho - \rho_o}{\rho} [\text{cm}^3 \text{ por/cm}^3 \text{ lub w \%}]. \quad (24)$$

Tabela 3

Niektóre własności fizyczne węgla KWK "Nowa Ruda"

Ip.	Pokład	Porowatość cm ³ /cm ³ x 100 (%)		Szczelino- wość liczba ma- kro- i mikro- szczelin na 1 cm prepara- tu		Części lotne %		Wilgotność całkowita %		Zawartość popiołu %		Ciężar właściwy rzeczywisty g/cm ³	
		średnia	maksy- malna	średnia	maksy- malna	średnia	maksy- malna	średnia	maksy- malna	średnia	maksy- malna	średnia	maksy- malna
1	405	6,0	6,9	90,2	90,2	22,4	27,3					1,4	1,4
2	409	9,4	16,2			9,2	14,1	3,1	9,61	11,85	34,57		
3	410	9,2	13,1			10,1	16,2	3,15	5,81	8,71	18,60		
4	upadłowa badawcza rejon Pniaki	6,86	11,8	22,69	36,5	9,7	15,5					1,43	1,55
5	412	5,6	7,0	32,83	74,9	25,6	29,1					1,39	1,42
6	Ogółem	7,41	16,2	48,57	90,2	25,6	29,1	3,125	9,61	10,28	34,57	1,41	1,55

Uwaga: Wartości podane w tabelicy obliczono na podstawie ok. 5 ÷ 20 pomiarów w każdym z pokładów; w punktach 2 i 3 wg badań J. Borowskiego [5], natomiast w punktach: 1, 4 i 5 wg Z. Piskorskiej - Kallis [10].

Zastosowano nowe nazwy pokładów (dotychczas używane podano w nawiasie) i tak: pokł. 409 (dawna nazwa: Wilhelm 4) pokł. 410 (Wilhelm 5), pokł. 412 (Roman), pokł. 405 (Ferdynand).

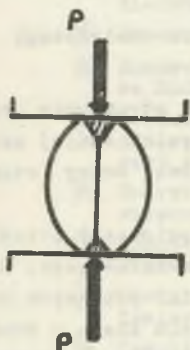
Porowatość ma istotny wpływ w problematyce wyrzutów. Decyduje o pojemności gazowej pokładu (wzór 18), jak również razem ze szczelinami wpływa na zmniejszenie się wytrzymałości mechanicznej węgla lub skały.

Wytrzymałość mechaniczna skał - posiada w problematyce wyrzutów, obok stanu naprężeń, zasadniczy wpływ na wytrzymałość odkrytej calizny. Zasadniczymi parametrami są tutaj głównie:

- wytrzymałość skały na ściskanie (R_c),
- wytrzymałość skały na rozciąganie (R_r).

Ad a). W praktyce R_c wyznaczamy ściskając próbkę skały o przekroju F w prasie hydraulicznej do momentu jej zniszczenia na skutek działania siły P_{max} (rys. 7), a następnie R_c wyznaczamy z zależności:

$$R_c = \frac{P_{max}}{F} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (25)$$



Ad b). Wartość R_r można wyznaczyć stosując tzw. "metodę brazylijską" polegającą na tym, że na cylindryczną próbkę skały w kształcie walca o średnicy D i długości L działamy siłą P wzdłuż jego poboczniczy do momentu zniszczenia próbki (rys. 8), a następnie wyznaczamy R_r ze wzoru:

$$R_r = \frac{2 P}{\pi \cdot D \cdot L} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (26)$$

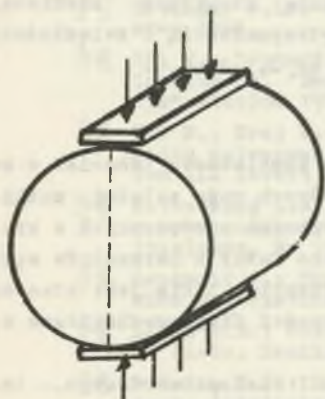
Rys. 7. Schemat jednoosiowej próby ściskania nieformalnych próbek skalnych

Części lotne - to część bezwodnej masy węgla, która podczas prażenia bez dostępu powietrza przechodzi w stan lotny. Zawartość części lotnych w węglu ma wpływ na jego gazoność, szczególnie na pojemność sorpcyjną. Analityczną zależność między pojemnością metanu (q_{CH_4}) a częściami lotnymi (v^b) ujmuje wzór J.L. Ettintera [11]

$$q_{CH_4} = a \cdot (v^b)^n, \quad (27)$$

gdzie:

- q_{CH_4} - pojemność sorpcyjna metanu [ml/g]
- a, n - współczynniki ustalone wg Ettintera [11],
- v^b - części lotne [%].



Rys. 8. Próba rozciągania metodą poprzecznego ściskania

Ogólnie procent części lotnych waha się w granicach od 4% (dla antracytów) do 60% (dla węgla brunatnych), a więc ze wzrostem stopnia

uwęglenia. Kształtowanie się zawartości części lotnych w niektórych pokładach KWK "Nowa Ruda" podano w tablicy 3.

Zawartość części lotnych w pokładzie węgla w kopalniach Donbasu służy jako kryterium pomocnicze przy ocenie stopnia wyrzutowości. W pracy [17] za górną granicę wyrzutowości pokładów w Zagłębiu Donieckim przyjęto: $V^b = 35\%$ (dla wyrzutów węgla i CH_4) oraz $12\% < V^b < 44\%$ dla wyrzutów piaskowca i CH_4 zalegających w bezpośredniej bliskości pokładów węgla o wyżej podanej zawartości części lotnych. Maksimum występowania wyrzutów w kopalniach Zagłębia Donieckiego stwierdza się przy $V^b = 19\%$.

Zwięźłość węgla - określamy na podstawie próbek węgla o masie ok. 300 g pobranych z:

- czoła przodku, z najmniej zwięźłej warstwy pokładu w miejscu wykonania otworu badawczego,
- z rdzenia węglowego uzyskanego w czasie wiercenia otworu badawczego z rdzeniem przy pomocy wiertnicy.

Pierwszy sposób nie oddaje w pełni faktycznych zmian w strukturze węgla, które zachodzą w wyniku działania ciśnienia górotworu. Niemniej uzyskane wartości wskaźnika zwięźłości wystarczają dla ruchowej oceny stanu zagrożenia wyrzutami.

Drugi sposób pozwala (w przypadku uzyskania rdzenia węglowego) prześledzić zmiany zwięźłości węgla w całym wzdłuż osi otworu badawczego. Metoda wyznaczania wskaźnika zwięźłości f polega na "tłuczeniu" pobranych próbek węgla i pomiarze objętości pozostałych po rozdrobnieniu ziarn o średnicy $< 0,5$ mm. Rozdrabniania dokonuje się w zbiorniku przy pomocy 5-krotnego zrzucania ciężarka z określonej wysokości, a następnie tak rozdrobniony węgiel przesiewa się przez sito o średnicy oczka $d = 0,5$ mm. Suma objętości ziarn $< 0,5$ mm, pomierzona w objętościomierzu, wyznacza wartość wskaźnika.

Węgłe z pokładów zagrożonych wyrzutami wykazują strukturę ziemistą, charakteryzującą się dużą kruchością oraz małą wytrzymałością i zwięźłością. Wartości f tych węgli są bardzo małe i wynoszą od 0,3 do 0,9.

5. Zakończenie

Przedstawiona w artykule problematyka ujmuje kompleksowo (choć z konieczności pobieżnie) wszystkie czynniki, od których może zależeć możliwość zaistnienia zjawiska wyrzutu. Na podstawie badań prowadzonych w kraju oraz literatury zagranicznej scharakteryzowano każdy z parametrów wpływających na podstawowe czynniki decydujące o wyrzucie, takie jak: stan naprężeń w górotworze, gazoność pokładu i własności fizykomechaniczne węgla i skał.

Wyrzut jest zjawiskiem bardzo skomplikowanym i wieloparametrowym, toteż zagrożenia tego nie można wyznaczyć przy pomocy jednego tylko parametru. Jest to możliwe w przypadkach raczej wyjątkowych, w polach o stałych warunkach górniczo-geologicznych. W praktyce spotykamy się prawie zawsze

z różnorodnymi zaburzeniami tektonicznymi, jak również z różnymi pokładami pod względem geologicznym i w tym przypadku należy przede wszystkim ujmować kompleksowo pomiar wszystkich parametrów decydujących o wyrzucie, uzupełniając je o nowe, szczególnie takie jak: wielkości naprężeń w górotworze mierzone w warunkach in situ oraz własności wytrzymałościowe węgla i skał.

LITERATURA

- [1] Audibert E.: Sur le gisement et la degagement des gaz de la bouille. Annales des Mines, 1941.
- [2] Belin J.: Bestimmung des Gasinhalts in steinkohlenflüzen. Informationstagung. Luxemburg 1971.
- [3] Borecki M., Chudek M.: Mechanika Górotworu. Gliwice 1973.
- [4] Borowski J.: Gazowe tło wyrzutów w antracytowych pokładach kopalni "Nowa Ruda" i kierunki prognozowania zagrożenia, komunikat GIG. Nr 583.
- [5] Borowski J.: Gazowa pojemność silnie uwęglonych, zagrożonych wyrzutami pokładów Zagłębia Dolnośląskiego. Materiały z Prac Komisji. Zeszyt 4. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa 1976.
- [6] Budryk W.: Sposób zwalczania nagłych wyrzutów węgla i gazów. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa 1965.
- [7] Chodot W.W.: Mechanizm wyrzutów węgla i gazów. Państwowa Rada Górnictwa. Materiały z Prac Rady, Zeszyt 28. Warszawa 1961.
- [8] Chodot W.W.: Wlijanije włożnosti na metanosnost iskopajemych uglijej. Izwiestia AN. SSSR. OTN. Nr 12. 1952.
- [9] Czaplinski A.: Sorpcja dwultenku węgla przy wysokich ciśnieniach na kilku węglach Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego. Archiwum Górnictwa T. X. Zeszyt 2. 1965.
- [10] Cybulski W., Piskorska-Kalisz Z.: Określenie mikroszczelinowości węgla z pokładów zagrożonych wyrzutami gazów i skał metodą optyczną oraz badanie wpływu strzelania na naturalną szczelinowość węgla w pokładach. Komunikat GIG. Nr 456. 1969.
- [11] Etinger J.L.: Gazojemkost iskopajemych uglijej. Izd. "Niedra" Moskwa 1966.
- [12] Gil H.: Kryterium wyrzutu gazów węgla i skał. IX Międzynarodowe Kollokwium nt. "Zwalczanie wyrzutów gazów i skał w górnictwie podziemnym". Mikołów 1977.
- [13] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w górotworze w przypadku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji. Archiwum Górnictwa. Tom XIX Zeszyt 1, 1974.
- [14] Kulbacznij A.N., Wołoszin N.J. i inni: Issliedowanije napriazhieniej w wybrosoopasnych porożach głubokich szacht Donbassa. Szachtnoje stroitelstwo. Nr 10. 1967.
- [15] Langmuir J.: The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass. Mica and Platinum. J. Amer. Chem. Soc. 40/1918.
- [16] Lidin G.D.: Gazowyj bałans szacht, prognoz ich gazoobilnosti. Gornojie Dieło. Encikłopediczeskij. Sprawoznik. Uglietiechizdat 1959.
- [17] Nikolin W.J.: Razrabotka wybrosoopasnych płastow na głubokich szachtach. Izdatielstwo "Donbass" 1976.
- [18] Pieczuk A.J.: Kriticeskij obzor teoreticzeskich rabot po wniezapnym wybrosam ugla i gaza, "Niedra" 1969.

- [19] Pietuchow J.M.: Gornyje udary na ugolnych szachtach. Izd. "Niedra" 1972.
- [20] Piskorska-Kalisz Z., Kalisz J.: Badanie mikroszczelinowatrci węgla. Przegląd Górniczy Nr 4. 1976.
- [21] Skoczyński A.A.: Sowriemiennyje predstavlienija o priorodie wniezapnyh wybrosov uгля i gaza w szachtach i miery borby s nimi. Ugol Nr 7. 1954.
- [22] Sokołowski W.W.: Teoria plastycznosci. PWN, Warszawa 1957.
- [23] Sz wajger W., Fornicki K., Szewczyk K.: Zagadnienie wyrzutów gazów i skał w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym. Zbiór referatów na kolokwium "Zwalczanie nagłych wyrzutów gazów i skał w Górnictwie. Komunikat Górnictwa PAN, 1971.
- [24] Tarnowski J.: Badanie zagrozenia wyrzutami na kopalniach Thorez, Wałbrzych i Nowa Ruda w swietle mechaniki górotworu i zachowania się gazu w przyciosowej caliznie węglowej. Materiały z Prac Komisji d/s wyrzutów. Zeszyt 4. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1976.
- [25] Tarnowski J.: Mechanizm wyrzutu węgla i gazu w swietle wyników pomiarowych - IX Międzynarodowe Kolokwium, nt. "Zwalczanie wyrzutów gazu i skał w górnictwie podziemnym. Mikołów 1977.
- [26] Vandeloise R.: Le gisement et le degagement du grison. Commission des Communautés Européennes. Recueils des Recherches Charbon, nr 34. Luxembourg 1971.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЫХ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ВОЗМОЖНОСТЬ
ВЫСТУПЛЕНИЯ ВЫБРОСА УГЛЯ, ГАЗОВ И ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Резюме

В статье дана характеристика главных факторов взаимодействующих при выбросах а именно: напряжений выступающих в пласте, газа находящегося в массе, а также физико-механические свойства горных пород. Кроме существующих ещё разногласий относительно условий возникновения механизма выбросов, взаимодействие выше указанных факторов при выбросах является очевидным а разногласие мнений касается только преобладания одного из главных факторов взаимодействующих, и это является причиной применения разных показателей прогноза и методов их определения, не всегда соответствующих для других участков с выбросами. В настоящей работе взято за основу математический критерий прогнозирования выброса угля, газа и горной породы.

CHARACTERISTICS OF MAIN FACTORS INFLUENCING POTENTIAL ROCK
AND COAL DISRUPTIONS AND SQUEALERS

S u m m a r y

Basic factors have been characterised as: bed stress states, gaseous contents of the body as well as the physical and mechanical rock properties. Despite numerous discrepancies concerning disruption and squealer mechanisms the combination of above is obvious and differing views pertain dominant parts that some factors may play and hence alternating prediction methods and ways of their determination unsuitable for the various disruption areas. The paper has been based on a mathematical forecasting criterion as stated in [11].