Seria: GÓRNICTWO z. 148

Adam SWIDZINSKI

BADANIA NAD POROWATOŚCIĄ SKAŁ OTACZAJĄCYCH POKŁADY WĘGLA KOPALŃ DOLNOŚLĄSKICH

> Streszczenie. Obserwacje warunków występowania wyrzutów w kopalniach dolnośląskich, a także rozwiązania analityczne dotyczące mechanizmu wyrzutu gażowo-skalnego wskazują, że obok własności fizycz, nych węgla w pokładzie, znaczącą rolę w problematyce wyrzutów posia-dają własności fizyczne skał otaczających wyrzutowe pokłady węgla. Jedną z takich własności fizycznych jest porowatość. W artykule przedstawiono wyniki badań nad kształtowaniem się porowatości skał płonnych otaczających pokłady węgla kopalń dolnośląs-kich. Skałami tymi są głównie: piaskowce (drobno- i średnioziarni-, łupki piaszczyste oraz łupki ilaste. Spotyka się również zleste), pieńce i sporadycznie diabaz. Przedstawiono również badania nad porowatością łupku ogniotrwałego eksploatowanego w ławach pola "Piast" kop. "Nowa Ruda". Badania prowadzono na aparaturze Washburne-Buntinga oraz aparaturze konstrukcji Kleczkowskiego - Mularza. Czynnik porowatości skał otaczających jest istotny w problematyce wyrzutów gazów i skał poprzez wpływ na nierównomierny rozkład napreżenia, objętość gazu wolnego w górotworze i własności wytrzyma-łościowe skał płonnych. Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższymi wartościami porowatości charakteryzują się łupki piaszczyste: od średnio 7,4% w kop. "Thorez" do średnio 10,3% w polu "Piast" kop. "Nowa Ruda". Najniższe wartości porowatości posiadają łupki ilaste - średnio 3,5%.

Ogólnie średnie wartości porowartości wszystkich rodzajów skał stropowych w kopalniach dolnośląskich wynoszą ok. 5%.

1. Wstep

Niniejszy artykuł jest kontynuacją 2 poprzednich artykułów [10, 11], w których przedstawiono wyniki badań nad kształtowaniem się porowatości węgla koralń dolnośląskich oraz zmian porowatości w głębi calizny pokładu węgla. Badania tego typu prowadzono głównie pod kątem oceny skłonności skał kopalń dolnośląskich do wyrzutów gazów i skał. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań porowatości skał płonnych głównie z pracy [9], a także z pracy [4]. Badania te prowadzono w Laboratorium Zakładu Gazowości KD "Barbara" i w Laboratorium Geologii Inżynierskiej GIG-u w latach 1978-79.

Ogólnie przez porowatość skał rozumie się występowanie w nich otwartych lub zamkniętych przestrzeni nie wypełnionych daną substancją, czyli tzw. porów. Porowatość jest charakterystyczna przede wszystkim dle osadowych skał okruchowych. W skałach karbońskich pory oznaczają więc wolne przestrzenie występujące pomiędzy poszczególnymi ziarnami skalnymi. Pory z

Nr kol. 899

uwagi na ich powstawanie można podzielić na <u>pierwotne</u>, tworzące się przy powstawaniu skał i <u>pory wtórne</u>, pojawiające się wskutek procesów metamorficznych. Ogólnie pory dzieli się na <u>otwarte</u> (połączone) i <u>zamknięte</u>. Pory otwarte łączą się ze sobą i występują w skałach w formie szczelin lub kanalików. Pory zamknięte są to pory otoczone ze wszystkich stron substancją skalną. Tworzą one pustki w skale [6]. Ogólnie pory możemy podzielić na:

- a) mikropory (ultrapory) o średnicy < 100 Å (<10⁻⁶ cm),
- b) pory przejściowe o średnicy 100-1000 Å $(10^{-6}+10^{-5} \text{ cm})$,
- c) makropory o średnicy >1000 Å (>10⁻⁵ cm).

<u>Mikropory</u> są rozpoznawane metodami analizy rentgenostrukturalnej i mają one głównie wpływ na kinetykę sorpcji gazów. <u>Pory przejściowe</u> można rozpoznać metodami porometrycznymi,jak również przy użyciu mikroskopu elektronowego – tworzą one obszar kapilarnej kondensacji i dyfuzji gazu. <u>Makropory</u> natomiast można podzielić na: <u>submakropory</u> o średnicy 10^3 A $\pm 10^4$ A, dalej <u>makropory właściwe</u> o średnicy 10^4 A – 10^6 A ($10^{-4} \pm 10^{-2}$ cm) oraz na widoczne nieuzbrojonym okiem <u>pory i szczeliny</u> o wymiarach od 10^6 A (10^{-2} cm) wzwyż. Submakropory są rozpoznawane metodami porometrycznymi oraz przy użyciu mikroskopu elektronowego i tworzą one obszar powolnej laminarnej filtracji. Makropory właściwe z kolei są rozpoznawane metodami petrograficznymi i tworzą one obszar intensywnej filtracji laminarnej. Widoczne pory i szczeliny obserwowane nieuzbrojonym okiem tworzą obszar filtracji mieszanej, tzn. laminarnej i turbulentnej. Stanowią one miejsca rozpadu skał karbońskich wytrzymałych i o średniej wytrzymałości.

<u>Makropory</u> są bardzo zróżnicowane pod względem formy i pochodzenia: zalicza się do nich pustki powstałe po pęcherzykach gazowych (po gazach wulkanicznych) - mają one kształt pęcherzyków, następnie przestrzenie pomiędzy skoagulowanymi strukturami - mają one kształt nieprawidłowych próżni, szczeliny tektoniczne powstałe na skutek kruszenia - mające kształt równomiernych i nierównomiernych kanalików rozgałęzionych lub siatkowych itd.

Mikropory natomiast wg I.L. Ettingera [2] można podzielić na 5 klas:

- Klasa I pory molekularne; sa to najdrobniejsze pory o średnicy otworu wejściowego ok. 5 A. W porach tych możliwy jest jedynie proces dyfuzji. Średnice molekuł niektórych gazów kopalnianych wynosza: CO₂ - 4,63 A, H₂ - 2,73 A, N₂ - 3,76 A, O₂ - 3,62 A i CH₄ - 4,16 A.
- Klasa II pory Volmera o średnicy od 5÷100 Å. Przepływ gazu przez tego typu pory jest możliwy jedynie poprzez dwuwymiarową dyfuzję powierzchniową.

- Klasa III pory Knutsena o średnicy 10² ÷ 10³ Å, czyli średnica tych porów jest taka sama jak droga swobodna molekuł. Przepływ gazów w tych warunkach jest molekularny i różni się znacznie od przepływu lepkiego i dyfuzyjnego.
- Klasa IV pory Browna o średnicy 10³ ÷ 10⁴ Å. Koloidalne cząstki o tych rozmiarach doznają ruchów Browna. Przepływ gazów w tych porach jest pośredni pomiędzy molekularnym a lepkim.
- Klasa V pory Poissele'a o rozmiarach 10⁴ ÷ 10⁵ Å. Przepływ gazu w takich porach można rozpatrywać jako ośrodek ciągły, podobny do lepkiej cieczy.

Powierzchnie makroporów dochodzą do kilku m²/g substancji węgla, natomiast powierzchnie mikroporów mogą dochodzić nawet do setek m²/g substancji węglowej [2].

W nowszych prácach niektórych badaczy [3, 7] wprowadzono pojęcie <u>porów</u> <u>przewodzacych</u> o średnicy otworów wlotowych od 0,15 do 2000 Å; powierzchnia właściwa takich porów wynosi 20480 m²/g skały, a ich pojemność sięga 0,0240,1 ml/g.

Wyróżnia się także:

- porowatość kapilarną o średnicy porów <1 mm (<10⁷ Å) i szczeliny <0,25 mm,
- porowatość niekapilarną (zwaną też aktywną), charakteryzującą się poremi o średnicy >1 mm (>10⁷ Å).
 - W praktyce wyróżnia się natomiast następujące rodzaje porowatości:

 Porowatość porównywalną, która jest stosunkiem ≵ącznej pojemności porów do szczelin skały.

 Porowatość wagowa, która jest stosunkiem masy wody pomierzonej przy wypełnianiu porów do masy substancji skały.

3. Porowatość całkowitą - m badanej próbki skalnej, która jest stosunkiem różnicy gęstości rzeczywistej (9) i pozornej (g_p) badanej skały, do gęstości rzeczywistej (9), czyli:

$$m_{ef} = \frac{9 - 9_p}{9} [\% \text{ lub cm}^3 \text{ por/cm}^3 \text{ skaly}]$$

Z punktu widzenia zagadnień inżynierskich związanych z wyrzutami gazów i skał ten rodzaj porowatości jest najważniejszy; w niniejszym artykule przedstawione wyniki badań dotyczą porowatości całkowitej. Porowatość całkowitą należy określać z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku. W przypadku gdy znana jest szczelność (S) badanej próbki, która jest ilorazem $\binom{q_p}{2}$, wtedy porowatość efektywna jest określana jako [6]:

m = 1 - S (%)

(1)

yróżnia się także wskaźnik porowatości (E), który wylicza się wzorem:

$$\varepsilon = \frac{\varphi - \varphi_D}{\varphi_D} \qquad [-], \qquad (3)$$

przy czym zależność pomiędzy m_{ef} a E jest następująca:

$$m_{ef} = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}$$
 (4)

Porowatość skał zawiera się w szerokich granicach; są skały praktycznie nie zawierające porów i skały gdzie porowatość dochodzi nawet do 80% [6].

Czynniki wpływające na porowatość skały oraz znaczenie znajomości porowatosci

Objętość porów w skałach okruchowych zależy od kształtu ziarn, ich wzajemnego położenia (ułożenia), od stopnia jednorodności, a także od ilościowego stosunku ziarn o różnej średnicy i stopnia scementowania ziarn. W zależności od ułożenia ziarn wyróżnia się ogólnie 2 schematy: sześcienny (rys. 1a) oraz romboedryczny (rys. 1b). W przypadku ułożenia ziarn o kształcie sześcianu linie łączące środki ośmiu przyległych kul tworzą krawędzie sześcianu. Wokół każdej kuli można opisać sześcian o krawędziach ścian równych: d = 2 R (gdzie R oznacza promień kuli).



Rys. 1. Schematy ułożenia ziarn w skale a) ułożenie sześcienne, b) ułożenie romboedryczne Fig. 1. Diagrams of the packing of grains in the rock a) cubic packing, b) rhomboidal packing



Rys. 2. Ziarno skały w kształcie kuli wpisane w sześcian ze ściankami o wymiarach: d = 2R (R - promień kuli)

Fig. 2. Rock grain in the shape of a sphere inscribed in a cube with walls of the dimensions: d = 2R (R - radius of the sphere)

a

Ь)

Objetość kuli wyraża się zależnością: $V = \frac{\pi d^2}{2}$, natomiast objętosć opisanego s∠escianu V = d³. Wobec powyzszego pusta przestrzeń w katach sześcianu jak na rys. 2 wynosić będzie: m = d³ _ fd \cong (1 - 0.5236).d³ \equiv 0.475 d³, czyli że niezależnie od tego, czy średnica kuli jest mała czy też duża, objętość porów w sześcianie będzie zawsze równa ok. 0.476 objętości sześcianu. Gdy przyjmiemy objętość sześcianu za 100. to porowatość (m) będzie wynosić ck. 47.6%. W przypadku rombowego ułożenia kul (rys. 1b), każdy górny rząd kul leży na rzędzie dolnym w taki sposób, że środki każdej kuli rzędu górnego znajdują się nad punktami styku dwóch





iys. 3. Przykłady rozkładu porów w skałach okruchowych w zależności od kształtu ziarn w skale

 a) ziarna o różnej średnicy, b) ziarna ostrokrawędziste
 Fig. 3. Examples of the distribution of pores in clastic rocks depending on the shape of the grains in the rock

a) grains of various grains, b) sharp-edged grains

(5)

(6)

kul dolnych. Linie łączące środki kul w takim przypadku tworzą w przekroju pionowym trójkąty równoramienne. Wykonane obliczenia, jak nietrudno zauważyć, wskazują, że porowatość w takim przypadku będzie wynosić około 39,5%. Wykonane badania laboratoryjne na ziarnach piasku wskazują, że przy jednakowej wielkości ziarn porowatość jest tym większa, im bardziej ziarna odbiegają od kształtu kul [8]. W naturze jest jednakże inaczej aniżeli przedstawiają to schematy. Przede wszystkim cząsteczki skały posiadają różne rozuiary i różne kształty (rys. 3a, b).

Przedstawione rozważania dotyczą przede wszystkim makroporów i mają głównie odniesienie do skał płonnych występujących w górotworze (piaskowce, łupki piaszczyste i ilaste). W przypadku węgla występuje zdecydowanie przewaga wikroporów, których powierzchnie właściwe wynoszą średnio ok. 100 razy więcej m²/g węgla. W takim przypadku w zagadnieniach mikrostruktury węgli znaczącą sprawą jest określenie maksymalnej średnicy molekul gazu (d) mogących się przemieszczać pomiędzy cząsteczkami węgla. Przy ułożeniu cząsteczek węgla (o promieniu R) w schemacie sześciennym (rys. 4a) średnice molekuł mogących przemieszczać się w mikroporach można określić zależnością d = R ($\sqrt{2}$ -1); natomiast przy ułożeniu romboedrycznym cząsteczek węgla (rys. 4b, c) średnice molekuł gazu mogących przemieszczać się w mikroporach wynoszą: $d = 2R \left(\frac{1}{\cos 30^{\circ}} - 1\right) i d = R(0,31 - 2,31 h)$. Znaczenie badań porowatości węgla i skaź uwidacznia się szczególnie w problematyce kroporach wynosza: $d = 2R \left(\frac{1}{2} \right)$ wyrzutów gazów i skał, kinetyce sorpcji, jak również w mechanice skał. Ogólnie stan naprężenia w ośrodku porowatym nasyconym gazem opisuje następujący tensor naprężenia ([ij) [5]:

$$\Gamma_{ij} = (1-m) \cdot \delta_{ij} - m \cdot p \cdot \delta_{ij},$$

p

. - tensor naprężenia fazy sprężystej w ośrodku nieporowatym,

- ciśnienie porowe gazu,

 δ_{ii} - symbol Kroneckera, określony następująco:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & dla & i=j \\ o & dla & i\neq j \end{cases}$$

Z powyższego wynika, że porowatość wpływa na rozkład naprężenia w ośrodku porowatym nasyconym gazem, czyli w pokładzie lub warstwie skały skłonnej do wyrzutu. Stan naprężenia jest jednym z 3 głównych czynników (obok gazonośności i parametrów fizycznych skał) wpływających na możliwość zaistnienia wyrzutu gazowo-skalnego.



Rys. 4. Schematy do określania maksymalnych średnic cząsteczek gazu mogących się przemieszczać pomiędzy cząsteczkami węgla

a) w ułożeniu sześciennym, b) w ułożeniu romboedrycznym, c) w ułożeniu romboedrycznym ze zdeformowanymi cząsteczkami węgla: h - oznacza wielkość "ściśnięcia" cząsteczki

Fig. 4. Diagrams for the determination of the maximum diameters of the gas molecules which may be displaced between the molecules of coal

a) in cubic packing, b) in rhomboedric packing, c) in rhomboedric packing with deformed molecules of coal: h - denotes the quantity of "squeezing" of the molecule

(7)

Wzrost porowatości powoduje także zwiększenie pojemności gazu wolnego w porach oraz wpływa również na pojemność sorpcyjnę węgla (także w niewielkim stopniu innych skał karbońskich, np. piaskowców posiadających wtrącenia organiczne). Objętość gazu wolnego (Q_w) w porach można wyliczyć wzorem [1]:

$$Q_{v} = n \cdot \frac{p}{d \cdot P_{a}} (n^{3} \text{ gazu/t})$$

gdzie:

- p cisnienie gazu w pokładzie,
- a współczynnik ściśliwości gazu (od 0 do 1),
 - P ciśnienie atmosferyczne.

Obok stanu naprężenia i gazonośności znaczną rolę w problematyce wyrzutów gazów i skał posiadają parametry fizyczne węgla i skał otaczających. Cgólnie można stwierdzić, że prawdopodobieństwo wystąpienia wyrzutu wzrasta tym bardziej, im niższe są parametry mechanicznej wytrzymałości węgla w pokładzie oraz w przypadku gdy w stropie zalegają mocne skały (ze względu na możliwość zaistnienia tąpnięcia stropowego, które może być inicjatorem wyrzutu w pokładzie). Ogólnie można powiedzieć, że ze wzrostem porowatości (szczególnie wakroporów i szczelin) maleje wytrzywałość wegla i skał płonnych, a więc także wzrasta prawdopodobieństwo zaistnienia wyrzutu (węgla i gazu czy też piaskowca i gazu). Według badań radzieckich [3] ze wzrostem porowatości węgla od 3 do 10% wytrzynałość węgla w stanie jednoosiowym spada o ok. 50%, natomiast piaskowca przy wzroście porowatości od 1 do 7% Przy czym znacznie większy wpływ uwidacznia się przy wystęo ok. 40%. powaniu w węglu mikroszczelin. Wykonane badania [7] na węglach skłonnych do wyrzutów kopalń donieckich wykazały obniżenie wytrzymałości węgla na ścinanie (τ) o 400% przy wzroście długości szczelin (L) z 1 do 4 m π^{-1} . następnie spadek mechanicznej wytrzymałości węgla na ściskanie w stanie jednoosiowym (Rc) o 100%, a w stanie trójosiowym (6c) o ok. 150% przy takim samym wzroście L, tzn. z 1 do 4 mm⁻¹. W badaniach tych ustalono zależnosci analityczne pomiędzy 7, Rc, 5c a L, które mają postać:

$$\mathcal{T} = 1,85 L^2 - 11,04 \cdot L + 18,66 ; r = 0,876$$
 (8)

$$Rc = -10,6 \cdot L + 48,8$$
; $r = 0,707$ (9)

$$\mathbf{b}_{0} = -15, \mathbf{6} \cdot \mathbf{L} + 117, \mathbf{7}$$
; $\mathbf{r} = 0,621$ (10)

Przy czym w związkach 8-10, τ, Rc i 5c wyrażone są w KG/cm²; wykresy powyższych funkcji przedstawiono na rys. 5 [7]. Z przedstawionych powyżej danych wynika, że wzrost porowatości węgla w pokładzie (warstwie skały) powoduje wzrost zagrożenia wyrzutowego poprzez nierównomierny rozkład na-



Rys. 5. Zależność pomiędzy parametrami mechanicznej wytrzymałości (Υ, Rc, 6c) a szczelinowatością próbek wegla L
a) zależność τ = f(L), b) zależność Rc = f(L), c) zależność 6c = f(L)
Fig. 5. Dependence between the parameters of the mechanical strength (Υ, Rc, 6c) and the slitting of coal samples L
a) dependence τ = f(L), b) dependence Rc = f(L), c) dependence 6c = f(L)

prężenia, wzrost gazonośności (w szczególności ciśnienia gazu) oraz obniżenie parametrów mechanicznej wytrzymałości. Ogólnie można stwierdzić, że porowatość węgli skłonnych do wyrzutów jest o ok. 50% wyższa aniżeli węgli niewyrzutowych [9]. Odnośnie do wyrzutów piaskowca i gazu rola porowatości jest jeszcze bardziej uwidoczniona; piaskowce skłonne do wyrzutów kopalń donieckich posiadają porowatość rzędu 7-12%, tj. ok. dwa razy większą od porowatości piaskowców niewyrzutowych [7]. Wzrost porowatości powoduje obniżenie parametrów wytrzymałościowych piaskowca i wzrost ciśnienia gazu. Odnośnie do roli porowatości skał stropowych w problematyce wyrzutów gazów i skał to uwidacznia się ona głównie poprzez akumulację gazu wolnego w porach; wzrost porowatości skał powoduje wzrost ciśnienia gazu,

a więc i wzrost składowej pionowej neprężenia obciążającej strop pokładu [5, 9].

3. Badania porowatości łupku ogniotrwałego i skał płonnych

Badaniami objęto próby pobrane z następujących rejonów:

- Kopalnia "Nowa Ruda", pole "Pisst", próby łupków ogniotrwałych z ław 2 i 3 oraz próby piaskowca, łupku piaszczystego, łupku ilastego i diabazu ze skał otaczających ścian 3, 3a i 9 w pokładach 410/2+412 i 415/2.
- Kopalnia "Nowa Ruda", pole "Słupiec" próby piaskowca, łupku piaszczystego i ilastego pobranych ze skał otaczających ściany w pokładzie 409.
- Kopalnia "Thorez", próby piaskowca, łupku piaszczystego i łupku ilastego ze skał stropowych ściany 16 pokładu 672.
- Kopalnia "Wałbrzych", pole "Chrobry", próby piaskowca, łupku piaszczystego, łupku ilastego oraz diabazu ze skał stropowych ściany 313 pokładu 309.

Do próbek używano próbek skalnych o masie ok. 20 g.

Makroskopowy opis probek ze skał stropowych

Piaskowieć średnioziarnisty - arkozowy o barwie jasnoszarej, zwięzły bez wyraźnego uwarstwienia. Spoiwo tej skały jest najczęściej węglanowe (syderyt lub dolemit). Główny składnik stanowi kwarc. Sporadycznie spotyka się muskowit w postaci drobnych płytek. Tego typu skały stropowe występują głównie w kopalni "Nowa Ruda" i "Thorez".

<u>Piaskowiec drobnoziarnisty</u> o barwie jasnopopielatej. Występują wtrącenia skał metamorficznych (kwarcyty). Tekstura jest najczęściej lekko równoległa. Spoiwo także zbudowane z węglanów z domieszkami kalcytu i minerałów ilastych (kaolinitu). Główny składnik stanowi także kwarc. Ten rodzaj skały występuje w stropie pokładów wszystkich pól kopalń dolnośląskich.

<u>Lupek piaszczysty</u> barwy ciemnoszarej do czernej o teksturze równoległej i strukturze aleurytowej. Spoiwo węglanowe (najczęsciej dolomit). Główny minerał stanowi kwarc. Występują też wtrącenie substancji ilastych i żelazistych (syderytu). W tej grupie występują tak iłowce jak i mułkowce. Skały te występują głównie w polu "Piast".

Lupek ilasty - o berwie jasnoszarej lub szarej. Struktura pelitowa, tekstura bezładna. Skała miękka, krucha o dużej zawertości zwęglonych ezczątków roślin (szczególnie z pola "Piast"). Główne tworzywo skały to kaolinit i w niewielkim stopniu skalenie i kwarc. Skały te występują często w spągu pokładów kopalń DZPV.

<u>Diabaz</u>, skaža bardzo mocna o zbitej strukturze, zwięzża. Barwa brunatna z odcieniem zielonkawym, występuje sporadycznie w formie wtrąceń w kopalniach dolnośląskich.

Oprócz ww. głównych rodzajów skał w stropach pokładów spotyka się tzw. "zlepieńce" o barwie jasnoszarej, arkozowe, struktury bezładnej i widocznych gołym okiem wtrąceniem ziarn kwarcu. W skałach tych najczęściej spotyka się tzw. "bule syderytowe". Ponieważ w skale tej występuje przewaga kwarcu i podobne do piaskowców budowa, nie rozgraniczano jej osobno.

Sposób pomiaru porowatosci skał

Badanie porowatości łupku ogniotrwałego przeprowadzono w aparaturze Washburna-Buntinge, której konstrukcję obrazuje rys. 6a, natomiast badania pozostałych próbek skalnych w aparaturze konstrukcji Kleczkowskiego--Mularze (rys. 6b); zdjęcie stanowiska do badań obrazuje rys. 7.



Rys. 6. Konstrukcja aparatury do pomiaru porowatości próbek skalnych a) aparatura Washburna - Buntinga, b) aparatura Kleczkowskiego - Mularza Fig. 6. Construction of the apparatus for measuring the porosity of rock samples

a) Washburn - Bunting apparatus, b) Kleczkowski - Kularz apparatus



Rys. 7. Zajęcie stanowiska do badań porowatości efektywnej Fig. 7. Photo of the stand for the testing of effective porosity

Przy badaniach aparatura Washburna-Buntinga istotną sprawę stanowi pomiar objętości powietrza wydzielającego się z przestrzeni porowej pod wpływem ssania, które wywołuje się przez zwianę położenia zbiornika rtęciowego. Porowatość całkowitą wylicza się ze wzoru (jest to tzw. porowatość bezwzględna):

$$m = \frac{V_1 - V_0}{V} \cdot 100 (\%)$$

gdzie:

V1 - objętość powietrza wydzielonego z próbki (cm³),

V - objętość próbki skały (cm³),

V_c - objętość próbki określana przy zerowym odczycie (cm³),

Wyniki badań podano w tablicy 1 [4].

W badaniach aparaturą Kleczkowskiego – Mularza najistotniejszą sprawą jest określenie masy próbki: w powietrzu (g_p), w zanurzonym medium (ϵ_m) i próbki po wysuszeniu w temperaturze 378,15 K – 383,15 K (105-110°C) (g).

(11)

Tablica 1

T.D.	Nr próby	Miejsce pobrania próby	Porowatość	Odsączal- ność	_
The.	Prowj	Freed	m (%)	μ(-)	51
		Lawa 2	11 17.58	And and a	
1	Ł = 8	40 m od ch. nadścian.	6,65	4,76	
2	Ł – 12	1/2 długości ławy	4,50	2,54	
3	Ł - 8		4,97	2,98	
4	玉 - 9	11 11	1,39	1,14	
5	£ - 13		4,86	3,14	4,98
6	Ł - 16	11 11	4,77	3,43	
7	Ł - 15	10 m od ch. podścian.	7,55	4,84	1
8	Ł - 19	н. <mark>9</mark> св. ⁹ -	5,12	3,06	
		Lawa 3		Total and	
9	Ł - 2	20 m od ch. nadścian.	4,18	3,01	
10	Ł - 4	1/2 długości ławy	6,16	4,16	1 78
11	王 - 5	н	4,77	3,15	4,10
12	Ł - 7	10 m od ch. podscian.	3,99	2,96	

Wyniki	badań	porc	watoś	i łupł	cu ognio	trwałego
	KWK "N	Iowa	Ruda"	pole	"Piast"	

Wartość średnie porowatosci (m) dla łupku ogniotrwałego wynosi: 4,91%. Wartość m wyliczeno wzorem:

$$\overline{m} = \frac{1}{n} \sum_{1}^{n} m_{i}$$

(12)

(13)

gdzie:

n - ilość badań.

Porowstość skały w przypadku gdy medium stanowi woda, zwaną porowstością efektywną (m_{ef}), wyznacza się ze wzoru:

$$m_{ef} = \frac{g_p - g}{g_p - g} \cdot 100 (\%)$$

Wyniki tych badań przedstawiono w tablicach 2-4 [9].

A. Świdziński

Tablics 2

Wyniki badań porowatości skał otaczejących pokłady węgle KWK "Nowa Ruda", pole "Finst"

Lp.	Nr próby	Miejace pobrania próby	Rodzaj skažy	Porema tość #1 (%)	0dsscsalność /* ," (~)	Średnia wartość H ₁ (\$) dla rodzaju skaž:
	2		4	5.	6	
1	P - 6	Strop sciany 3 w po- kładzie 410/2 + 412 20 m od ch. madéc.	plaskowiec barwy jasno- popielatej	5,36	2,70	
2	P - 17	Fróba ze spagu, 20 m od ch. naděc. šciany Ja		6,95	3,11	1 - 4
3	P - 8	Ch. nadšcianowy šcia- ny 3, próba se stro- pu	*	4,64	2,95	
4	P = 4	Ściana 3a, 80 m od ch. nadśc. próba ze stropu		5,84	4,01	4,46
5	P - 38	Ch. podścianowy ściany 3a, próba we stropu		7,14	4,93	7 2 1
6	P - 24	Ściana 3a. 50 m od ch. nadżcian., próba me stropu		3,83	1,14	
7 ^x	6	Ch. nadscienowy, ściany 9 w pokł. 415/2, próba se stropu		5,31	0,879	
8.	28	Male Inches in Marks	and a the	3,23	0,806	and a
9 [#]	80	Ch. podácianowy áciany 9, w pok≷. 415/2, próba se stropu	he entre	3,67	0,934	
10 ^x	81			2,92	1,767	
11#	100	Próba ze spągu		0,17	0,691	
12	2 - 3	Ściane 3, 10 m od ch. nedścianowego, strop	kupek piasz- ozysty barwy czernej	12,81	2,54	,
13	P - 9	Ch. nadácian., ácia- ny Ja, strop		4,05	2,61	100
14	P = 11	Ściane 3a, 53 m od ch. nadścian. strop		7,15	4,20	10,30
15	P - 19	Ściana 3a, 10 m od oh. nadścian. strop		3,87	2,53	411 - M
16	P = 40	Ch. podácian. áciany Ja, spag		6,95	4,01	Constant.
17	- 14	Ściana 9 w pokł. 415/2, 20 m od ch. podścian. strop		3,80	2,15	

Tablica 3

∢yniki badań porowatosci skał otaczujących pokłady węgla KWK "Nowa Ruda", pole "Słupiec"

Lp.	Nr próty	Miejsce робтация próby	ilu 126j skožy	Porcwa- tosć, ™1 (≰)	0dsnczal - noić, ,µ (-)	Średnia wartość ₩ ₁ (%), dle rodzaju skały
1	2	3	4	5	6.	7
1	S - 6	Ściana w pokładzie 409, strop	piaskowiec, barwy jasno- szarej	2,66	1,57	12/2
2	S - 3	1 10	в	2,78	2,35	2,88
3	S = 7	- 1 01.1	10	4,64	2,91	
4	3 - 11	" , spag	61	1,45	0,89	
5	S = 1	Ściana w pokładzie 469, strop	łupek piaazczy- sty, barwy czarnej	3,87	2,53	2.0. 1
6	S - 8		34,2 4 4	2,90	1,76	0-2 8
7	S - 9			3,16	1,92	4,35
8	5 = 13			2,63	1,68	
9	S - 14		60.0	9,98	2,94	
10	S - 15	H		3,51	2,18	
11	S = 2	Šciana w pokładzie 409 strop	lupek ilasty barwy szarej	3,54	2,70	3 29
12	S - 10	" B)B(K	120 - 21	3,01	1,11	,,,,,,
13	S - 5	• strop		3,32	2,16	
14	S = 14	Ch. podecianowy scieny strop	diabaz barwy zielonkawo- brumatnaj	3,50	1,60	3,36
15	S - 4	= sp6g	-	3,23	1,53	39-2 23

A. Świdziński

Tablica 4

Lp	Nr próby	Miejsce pobrania próby	Rodzaj skažy	Porowa- tość, ^D 1	Odsaczel- nożć	Wartość średnia m ₁ (\$), dla rodzaju skaży
	a Carry	1 - 1-1 - 1		(%)	(-)	PT TOTAL
- 1	2	1	4	5	6	7
-					-	
1	T-1	KWK "Thores" poklad 672, strop sciany 16	Piaskowiec drobnoziar-	2,58	1,02	STALL STALL
	T-2			3.57	1,12	3,83
5	7-5	P. Print M. Alexand		2,89	1,01	
1	7-8	The second second		4,86	2,12	
5	T-9			4,92	2,10	
6	T-10		•	4,16	2,00	- H
7	T-3	278.3. 2.2	Piaskowiec srednio-	4,21	1,86	
			giarniaty	10.60	2.18	when a
	T-4 m c	1 (the stated array 1		2.40	1.11	6.40
10	7-7	in the state of the state		10,21	2,93	
11	T-11	1.7		6,38	2,04	
12	T-12	and the second second second		7,49	2,06	
13-	T-13	1	121-1	9,24	2,34	érednio dle pieskowcei
14	T-14			3,96	1,57	m ₁ = 5,40
15	T-15	De Willehamp,	1. T	4,13	1,21	
16	T-16	The sea		5,28	1,25	
17	T-20		Lupek	10,00	2,74	
40		The Contractor of	Bigging Children	10.05	2.03	10 12 - 4 7 17
10	E 23	Contractor in a president		3 00	1.01	erelda i i i
20	T=25			3.22	1.14	srednio dla župku
21	1-26			6.56	1.57	piassosystego
22	1-27			8,46	1,24	m ² = 1940
23	1-29			8,98	1,33	and [4 - 4] (0] -
24	T-30			17,40	2,77	
25	T-31			3,13	1,16	
26	T-32	2.0		3,10	- Consecution in	AP AP
27	T-17	17 A. C. C. C.	župek ilasty	1,58	0,63	érednio dla župku ilastego
28	T-18		н	7,60	1,44	1 = J,44
29	T-19	and the second second		0,90	0,38	
30	T-21	1		3,40	1,12	
31	T-22	the second se		2,86	0,89	
32	T-28			3,48	1,12	
53	T-33	Próba se spagu		4,28	1,14	

Teblica 4 Wyniki badań porowatości skał otaczających pokłady wygla kopalń "Thores" i "Wałbrsych"

1	7	- 2	4	2	6	1
-		Short Service .			and start	toot Librar and a
14	¥-11	Kak "Walbrzych"				
		pole "Chrobry" pokł.	Piaskowiec	9,00	2,39	
		309, strop Sciany	srednio-			
		515	araritro ()	12 26	2.46	3,18
5	W-14	and press they are the		6 AL	1 18	5,10
56	₩-15	A Party about the		2,40	2.04	
57	₩-19	a manager bare said and		1,14	2,04	
88	₩-20	a 1,000		6,00	1,51	
10	W-16		Pinskowiec	5,13	1,14	
2			drobno-			
	41110	By I MATARIA TIL	siarnisty		0.00	4 45
0	₩-17			2,80	0,98	4,,,,,,
1	₩-18	Alley Fait Labor		3,11	1,03	
2	₩-21	second in the shear		3,46	1,21	
3	₩-22			3,96	1,22	
4	W-23			4,08	1,.26	
5	₩-24		"	3,06	1,02	
6	W-25			4,00	1,43	średnio dla piaskowca
7	₩-28			5,06	1,86	m ₁ = 5,60
8	₩-29			8,80	2,06	
			Lunek	3.86	1 58	
12			piaszczysty	2,00	.,,,,,	
50	₩-2			3,50	1,00	
1	W-3			13.40	2,17	srednio dla łupku
2	W-8	and the second s		20.70	3,12	piaszczystego:
53	W-9		próba ze apagu	8,16	2,86	m ₁ = 0,20
4	W-10	and hard the first		4.22	2.02	Parameter Terrore
55	W-12	paratetapan 247	als follows	3,56	1,40	test effective probabilities
			The set	7.00	2.40	
0	m -4	pole "Chrobry", pokł. 309, strop	ilasty	1,20	2,10	nd "come" along
57	W-5			3.55	1.18	średnio dla łupku
	W-6	н		0.57	0.66	ilastego:
0	W 7	H H H H H H		4 22	1 01	$M_1 = 3,45$
0	W-00	A DATE AND A DATE	177 200 1 1	9,26	1.05	CALCULATE A DESCRIPTION
SU .	W-26			2,84	1,05	and a share while
1	₩-27			2,16	1,08	
52	W-31	LTB LLCBUTLEY AND	próba ze spagu	3,60	1,44	A ATTACA DATA ATTA
			1989 Jah			
3	W-13		diabag	13,85	1,02	Srednio dla disbazu:
54	#-30			2,99	0,54	m1 - m1.0
65	#-32			3.85	0.87	and an and the second second

Przy określaniu porowatości można również określać odsączalność (μ) , przez którą rozumie się zdolność skał nasyconych wodą do oddania wody wolnej, ściekającej pod działaniem siły ciężkości. Przy czym ilość wody odsączalnej jest uzależniona od wielkości porów i jest tym większa, im większe są pory (odsączalność dla węgla jest średnio 2 do 3 razy większa aniżeli dla skał płonnych).

Współczynnik odsączalności wyznaczano ze wzoru:

$$\mu = \frac{v_{\rm w}}{v_{\rm p}} (-) \tag{14}$$

gdzie:

 V_w - objętość wody odsączanej grawitacyjnie (m⁵), V_p - objętość porowatej substancji (m³).

Sposób wyliczania porowatości wraz z instrukcjami pomiaru autor artykułu przedstawił w pracy [5].

4. Podsumowanie

Z przedstawionych wyników badań wynika, że stosunkowo największą wartością porowatości charakteryzują się łupki piaszczyste: od $m_{\rm śr} = 7,4\%$ (z kopalni "Thorez") do $m_{\rm śr} = 10,3\%$ (z pola "Piast" kopalni "Nowa Ruda"). Stosunkowo wysoką wartością charakteryzuje się też najbardziej zwięzła ze skał karbońskich, tj. diabaz, $m_{\rm śr} = 6,89\%$. Srednia wartość porowatości piaskowców wynosi od 4,4% (z pola "Słupiec" kopalni "Nowa Ruda") do 5,6% (z pola "Chrobry" kopalni "Wałbrzych"). Najniższą wartość porowatości posiada łupek ilasty; $m_{\rm śr} = 3,5\%$. Ogólnie można przyjąć, że średnia wartość porowatości skał stropowych kopalń dolnośląskich wynesi 5%. Parametr porowatości skał stropowych występuje w analitycznej metodzie prognozy wyrzutów gazów i skał [5]. Z przeprowadzonych obliczeń na EMC wynika, że ze wzrostem porowatości tych skał rośnie niezbędna szerokość strefy odprężonej w pokładzie ($x_{\rm c}+l_{\rm o}$) zdolnej do przeciwdziałania zaistnienia wyrzutu. Stąd wniosek, że ze wzrostem porowatości skał stropowych może wzrastać zagrożenie wyrzutowe w pokładzie.

W polu "Piast" kopalni "Nowa Ruda" eksploatuje się też łupek ogniotrwały w ławach 2 i 3 (ława 1 jest pozabilansowa). W ławach tych występują także wyrzuty, które są inicjowane we wkładkach węgla. Porowatość łupków ogniotrwałych jest zbliżona do skał karbońskich i wynosi średnio 4,91%.

LITERATURA

- Borowski J.: Badania gazowości pokładów z zastosowaniem nowych metod. Komunikat GIG. Nr 645. 1976.
- [2] Ettinger I.L.: Wniezapnyje wybrcsy uglia i gaza i struktura ugliej. Izd. "Niedra", Moskwa 1969.
- [3] Feit G.N.: Procznostnije swojstwa i ustojcziwost wybrosoopasnych ugolnych płastow. M. "Nauka", 1976.
- [4] Gach M.: Wpływ własności fizyko-mechanicznych węgli i skał otaczających na wyrzutowość pokładów węgla. Praca magisterska wykonana w ITEZ. Gliwice 1980.
- [5] Gil H., Świdziński A.: Wyrzuty gazowo-skalne w kopalniach podziemnych. Skrypt Politechniki Sląskiej Nr 1035. 1981.
- [6] Hobler M.: Badania fizykomechanicznych własności skał. PWN, Warszawa 1977.
- [7] Iwanow B.M., Feit G.N., Janowskaja H.F.: Mechaniczeskije i fiziskochimiczeskije swojstwa ugliej wybrosoopasnych płastow. Izd. "Nauka", Moskwa 1979.
- [8] Sztelak J.: Hydrogeologia górnicza, zagrożenia wodne w kopalniach podziemnych i sposoby ich zwalczania. Skrypt Politechniki Sląskiej Nr 556/11. Gliwice 1975.
- [9] Świdziński A.: Weryfikacja analitycznego kryterium prognozowania wyrzutów węgla, gazów i skał w oparciu o pomiary in situ. Praca doktorska. Eiblioteka Główna Politechniki Sl., Gliwice 1980.
- [10] Świdziński A.: Badania nad kształtowaniem się zmian porowatości w pokładzie silnie gazonośnym - przepuszczalność calizny węglowej dle gazu. Zeszyty Naukowe Politechniki Sl. s. Górnictwo, Nr 117.
- [11] Świdziński A., Chwalisz J., Ignacy P., Pachla B.: Badania nad ksztattowaniem się porowatości węgli kopalń dolnośląskich. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, Nr 104. 1980.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk Gil

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1984 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРИСТССТИ СКАЛ ОКРУЖАЮЩИХ ПЛАСТН УГЛЯ ИНЖНЕСИЛЕЗСКИХ НАХТ

Резюме

В статье представлены результаты исследований над формированием пористости безрудных скал окружающих пласты угля нижнесилезских шахт. Скалами этими являются прежде всего песчанники мелко- и крупнозернистые, несчанистые и глинистые сланцы. Встречаются также конгломераты и иногда диабаз. Представлены также исследования пористости огнеупорного сланца, добываемого в лавах поля "ПЬЯСТ" шахты "Нова Руда". Исследования велись при помощи аппаратуры Вашбурна-Бунтинга и аппаратуры конструкции Клкчковского-Муляжа,

Фактор пористости окружающих скал существенен в проблематике выбросов газов и скал через влияние на неравномерность распределения напряжения, ёмкость свободного газа в горообразовании и свойства сопротивления безрудинх скал. Из приведённых исследований следует, что наибольшими величинами пористости характеризуются песчанисиме сланцы, в среднем от 7,4% в шахте "Topes" до 10,3% на поле "Пьяст" шахты "Нова Руда". Найменьшие величины пористости имеют глинистые сланцы - в среднем 3,5%. Общая средняя величина пористости всех видсв кровельных скал в шахтах Нижней Силезии равна приблизительно 5%.

INVESTIGATIONS ON THE POROSITY OF THE ROCKS SURROUNDING THE COAL BEDS OF THE LOWER SILESIA COLLIERIES

Summary

Observations of the conditions of the occurrence of breakouts in the collieries of Lower Silesia, as well as the analytical solutions of the gas-rock breakout have shown that apart from the physical properties of the coal in the bed a significant role in the problem of breakouts is played by the physical properties of the rocks surrounding the outbursting coal beds. One of such physical properties is porosity.

In the paper are presented the results of investigations on the shaping of porosity in the gangue surrounding coal deposits of the collieries of Lower Silesia. These are mainly: sandstones (fine- and medium-grained), mudstones and aranaceous shale. Also conglomerates and sporadically diabase are found. Also, some studies on the porosity of the refractory shale mined in in the benches of the field "Piast" of "Nowa Ruda" colliery have been presented. The tests were made in Washburn-Bunting apparatus and the one constructed by Kleczkowski-Mularz.

The porosity factor the surrounding rocks is important in the problem of breakouts of gases and rocks through its effect on the nonuniform stress distribution, volume of the free gas in the rock mass, and the strength properties of gangue.

It results from the investigations that aranaceous shale is characterizes by the highest values of porosity: on the average 7,4% in "Thorez" colliery to 10,3% in the field "Piast" of "Nowa Ruda" colliery. Mudstones have the lowest values of porosity - on the average 3,5%. In general, the mean values of porosity of all the kinds of roof rocks in the Lower Silesia mines amount to about 5%.

basto actas argantatta vegenaras seas reportantes a replanatare anipates reset a cost angle terms in reporting activity properties and states.