ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: GÓRNICTWO z. 117

Nr kol. 725

Adam Tadeusz ŚWIDZIŃSKI

BADANIA NAD KSZTAŁTOWANIEM SIĘ ZMIAN POROWATOŚCI WĘGLA W POKŁADZIE SILNIE GAZONOŚNYM

- PRZEPUSZCZALNOŚĆ CALIZWY WĘGLOWEJ DLA GAZU

<u>Streszczenie</u>. Przedstawiono wyniki badań nad zmianą porowatości w caliźnie węgla w pokładzie 410/2 + 412 kopalni "Nowa Ruda". Badania porowatości prowadzono w laboratorium z wykorzystaniem aparatury Washburna-Buntinga. Próbki do badań pobierano w otworach o długości 12 m za pomocą specjalnie skonstruowanej koronki wiertniczej o średnicy 160 mm. Omówiono w zarysie zagadnienie przepuszczalności węgla dla gazu w pokładach silnie gazonośnych.

1. WSTEP

Porowatość odgrywa istotną rolę w problematyce zjawisk gazodynamicznych, mechanice skał i kinetyce sorpcji.

Czynnik ten wpływa na akumulację i migrację gazu w węglu. Ogólnie pory w węglu dzieli się na makropory $(10^{-5} - 10^{-4} \text{ cm})$ i mikropory $(< 10^{-5} \text{ cm})$. Z kolei mikropory wg I.L. Ettingera [4] można podzielić na 5 klas:

- Klasa I pory molekularne. Są to najdrobniejsze pory o średnicy otworu wejściowego ok. 5 Å. W porach tych możliwy jest jedynie pro- A ces dyfuzji.
- Klasa II pory Volmera o średnicy 10-100 Å. Przepływ gazu przez takie pory odbywa się przez dwuwymiarową dyfuzję powierzchniową.
- Klasa III pory Knudsena o średnicy 10²-10³ Å. Średnica tych porów jest taka, 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 między molekularnym a lepkim.
- Klasa V pory Poisseuille'a o rozmiarach 10⁴-10⁵ Å. Przepływ gazów w takich porach można rozpatrywać jako ośrodek ciągły, podobny do lepkiej cieczy.

Wyróżnia się też porowatość kapilarną, pory o średnicy < 1 mm (<10' Å) oraz szczeliny < 0,25 mm i porowatość niekapilarną (aktywną) o porach, których średnice są większe od 1 mm. Porowatość może być wyrażana w wy-

miarze objętościowym m³ porów/m³ skały wzgl. w % lub wagowym m³ porów/ 1 t skały .

> Ponadto wyróżnia się: porowatość porównywalną, porowatość wagową i porowatość efektywną, tj. objętość tej części porów, która jest dostępna dla gazu lub cieczy. W niniejszej pracy określano porowatość efektywną (m_{ef}) wg wzoru:

$$m_{ef} = \frac{V_1 - V_0}{V} 100 \, (\%), \qquad (1)$$

gazie:

- V₁ objętość powietrza wydzielonego z próbki węgla (cm³),
- V objętość powietrza określana przy zerowym odczycie (cm³),
- V objetość próbki węgla (cm³).

Badania prowadzono przyrządem konstrukcji Washburna-Buntinga, którego konstrukcję obrazuje rys. 1. Z kształtowaniem się porowatości w caliźnie węgla wiąże się pośrednio zagadnienie przepuszczalności calizny węgla dla gazu; zagadnienie to przedstawiono w punkcie 3 pracy.

2. BADANIA ZMIAN POROWATOŚCI W POKŁADZIE

W pracy [10] przedstawiono wyniki badań nad kształtowaniem się porowatości wegli pochodzących z pokładów zagrożonych wyrzutami kopalń dolnośląskich przeprowadzonych w laboratorium K.D. "Barbara". Czynnik porowatości odgrywa znaczącą rolę w opracowanych w Instytucie Techniki Eksploatacji Złóż (ITEZ) analitycznych metodach prognozowania zagrożenia wyrzutowego na etapie prognoz: regionalnym, lokalnym i bieżącym, opracowanych w oparciu o kryterium wyrzutu H. Gila [5], [8]. Próbki do badań pobierano z ociosów pokładów (a więc

ze strefy odprężonej). Oprócz tego typu badań przeprowadzono badania nad kształtowaniem się zmian porowatości w głębi calizny pokładu silnie nasyconym gazem (ściana pokł. 410/2 + 412 w polu "Piast" kopalni "Nowa Ruda"). Do badań niezbędne było skonstruowanie specjalnej koronki wielkośrednicowej (ϕ 160 mm), którą skonstruowano w warsztatach służby wyrzutowej kopalni "Nowa Ruda" (rys. 2, 3). Celem badań było pobranie również prób do badań parametrów mechanicznej wytrzymałości węgla w pokładzie. Miestety, okazało się niemożliwe otrzymanie większych kęsów węgla. Ze względu na

Rys. 1. Schemat przyrządu Washburna-Buntinga 1 - próbka wę-

gla, 2 - rtęć, 3 - wysokość barometryczna





Rys. 3. Zakończenie żerdzi wiertniczej spiralnej Φ 42 mm



Rys. 4. Kestałtowanie się porowatości węgla (m) jako funkcji odległości od czoła frontu (l). (Wykres sporządzono w oparciu o 21 wyników) o - otwór I, e - otwór II

niską mechaniczną wytrzymałość węgla w pokładzie w czasie wiercenia otworu wiertarką otrzymywano próbkę w postaci sproszkowanego węgla. W tej sytuacji po przewierceniu 1 m otworu stosowano ręczny obrót wiertła na odcinku 15-20 cm. Otrzymano w ten sposób próbki węgla o masie ok. 10 g, na tórych możliwe było jedynie przeprowadzenie badań porowatości. Stosowano

Badania nad kształtowaniem się zmian porowatości węgla...

Tablica 1

Ip.Nr próbyMiejsce pobrania próbyOdległość od ociosuPorowa- tość od ociosuOdległość czała ność d ociosuWartości średni mef (%)Wartości stedni mef (%)1A-1I otwór: l = 11.5 m § 160 mm; ściana 3 w pokł. 410/2 + 412; 40 m od ch. podścian.10 cm; próba z czoła frontu8,966,1302A-2""10 cm; próba z czoła frontu8,966,1310,332A-2""1,0 m; próba z czoła frontu8,966,1310,334A-5""1,0 m; próba z czoła frontu8,966,1310,334A-5""1,0 m; próba z czoła frontu8,966,1310,334A-5""1,0 m; próba z czoła frontu10,3410,344A-5""1,0 m; próba z czoła frontu10,344A-5""1,0 m; próba z soła10,035A-8"2,0 m; próba 3,00 m; 5,386,135,336A-9"3,0 m; próba 3,00 m; 5,55 m; 3,013,023,0010A-15""8,0 m; próba 2,00 m; próba 2,00 m; 5,55 m; 5,554,165,511A-16""10,0 m; próba 2,00 m; próba 2,00 m;10,255,1310,215B-2""1,50 m; próba 2,00 m; próba 2,00 m;10,0 m; pró								
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		Lp.	Nr próby	Miejsce pobrania próby	Odległość od ociosu l (m)	Porowa- tość efektyw- na m _{ef} (%)	Odsą- czal- ność µ(%)	Wartość średnia ^m ef (%) na danej odległo- ści od ociosu
2A-2******11,804,193A-4**** $50 \text{ cm od} \\ czoła \\ frontu$5,63$5,54$8,6$4A-5***1,0 m7,016,187,005A-8**2,0 m7,6410,036,846A-9**2,0 m6,136,947A-10**3,0 m5,386,135,338A-11**5,0 m3,044,653,009A-12***5,5 m3,013,023,0010A-15**8,0 m7,123,446,511A-16***8,0 m7,123,4412A-17**9,5 m5,834,935,8813A-18****11,5 m5,554,165,5514B-1\frac{11}{9} 160 m; ściana 3 wpokł. 410/2 + 412;55 m od ch. pod-ścian.10 cm,próba zociosu10,255,1310,215B-2**1,50 m5,264,125,216B-5**4,0 m3,932,903,018B-8**6,0 m4,723,154,719B-10**7,0 m5,814,705,820B-11**10,0 m7,114,815,6$		1	A-1	<u>I otwór</u> : 1 = 11.5 m $\oint 160 \text{ mm}$; ściana 3 w pokł. 410/2 + 412; 40 m od ch. podścian.	10 cm; próba z czoła frontu	8,96	6,13	10,38
3A-4****50 cm od czoła frontu5,635,548,64A-5***1,0 m7,016,187,005A-8**2,0 m7,6410,036,846A-9**2,0 m6,136,947A-10**3,0 m5,386,135,348A-11**5,0 m3,044,853,009A-12***5,5 m3,013,023,0010A-15**8,0 m5,943,806,511A-16***8,0 m7,123,4412A-17***9,5 m5,834,935,813A-18****11,5 m5,554,165,514B-1 $\frac{\emptyset}{160}$ m; ściama 3 w pokł. 410/2 + 412; 55 m od ch. pod- ścian.10,cs5,264,125,216B-5**4,0 m3,932,903,018B-8**6,0 m4,723,154,719B-10**7,0 m5,814,705,820B-11**10,0 m7,114,815,6	I	2	A-2	н н		11,80	4,19	1
4 A-5 """"" 1,0 m 7,01 6,18 7,01 5 A-8 """ 2,0 m 7,64 10,03 6,84 6 A-9 """ 2,0 m 6,13 6,94 7 A-10 """ 3,0 m 5,38 6,13 5,37 8 A-11 """ 5,5 m 3,01 3,02 3,00 9 A-12 """ 5,5 m 3,01 3,02 3,00 10 A-15 """ 8,0 m 5,94 3,80 6,55 11 A-16 """ 8,0 m 7,12 3,44 6,55 11 A-16 """ 9,5 m 5,83 4,93 5,88 13 A-18 """ 10 cm, proba z ociosu 10,25 5,13 10,2 14 B-1 $\oint 160 m; ściana 3 w pok2. 410/2 + 412; proba z ociosu ociosu 10,25 5,13 10,2 15 B-2 """" 1,50 m 5,26 4,12 5,2 16 B-5 """ 4,0 m 3,93 $		3	A-4	91 91	50 cm od czoła frontu	8,63	5,54	8,63
5 A-8 ** * 2,0 m 7,64 10,03 6,84 6 A-9 ** * 2,0 m 6,13 6,94 6,84 7 A-10 ** * 3,0 m 5,38 6,13 5,34 8 A-11 ** * 5,0 m 3,04 4,85 3,00 9 A-12 ** * 5,5 m 3,01 3,02 3,00 10 A-15 ** * 8,0 m 5,94 3,80 6,51 11 A-16 ** * 8,0 m 7,12 3,44 6,51 11 A-16 ** * 8,0 m 7,12 3,44 6,55 11 A-18 ** * 11,5 m 5,55 4,16 5,55 13 A-18 ** * 11,5 m 5,55 4,16 5,55 14 B-1 # 160 m; ściana 3 w próba z ociosu 5,5 n 10,25 5,13 10,22 15 B-2 * * <t< td=""><td>ł</td><td>4</td><td>A-5</td><td>71 H</td><td>1,0 m</td><td>7,01</td><td>6,18</td><td>7,01</td></t<>	ł	4	A-5	71 H	1,0 m	7,01	6,18	7,01
6 A-9 """ 2,0 m 6,13 6,94 0,0.4 7 A-10 """ 3,0 m 5,38 6,13 5,30 8 A-11 """ 5,0 m 3,04 4,85 3,00 9 A-12 """ 5,5 m 3,01 3,02 3,00 10 A-15 """ 8,0 m 5,94 3,80 6,55 11 A-16 """" 8,0 m 7,12 3,44 6,13 6,51 12 A-17 """" 8,0 m 7,12 3,44 6,55 13 A-18 """" 9,5 m 5,83 4,93 5,8 13 A-18 """" 1,50 m 5,26 4,16 5,55 14 B-1 $\frac{10}{9}$ 160 m; ściana 3 w 10 cm, próba z ociosu 5,13 10,25 15 B-2 """""" 1,50 m 5,26 4,12 5,22 16 B-5 """"" 4,0 m 3,93 2,90 10 17 B-6 """""" 6,0 m	I	5	A-8		2,0 1	7,64	10,03	6 885
7A-10"" $3,0$ m $5,38$ $6,13$ $5,37$ 8A-11"" $5,0$ m $3,04$ $4,85$ $3,00$ 9A-12"" $5,5$ m $3,01$ $3,02$ $3,00$ 10A-15"" $8,0$ m $5,94$ $3,80$ $6,5$ 11A-16"" $8,0$ m $5,94$ $3,80$ $6,5$ 11A-16"" $8,0$ m $7,12$ $3,44$ 12A-17"" $9,5$ m $5,83$ $4,93$ $5,8$ 13A-18"" $11,5$ m $5,55$ $4,16$ $5,5$ 14B-1 $\oint 160$ m; ściana 3 w pokł. $410/2 + 412$; 55 m od ch. pod- ścian. $10,25$ $5,13$ $10,2$ 15B-2"" $1,50$ m $5,26$ $4,12$ $5,2$ 16B-5"" $4,0$ m $3,93$ $2,90$ 18B-8"" $6,0$ m $4,72$ $3,15$ $4,7$ 19B-10"" $7,0$ m $5,61$ $4,70$ $5,8$ 20B-11"" $10,0$ m $7,11$ $4,81$ $5,6$	I	6	A-9	н н	2,0 m	6,13	6,94	0,009
8 A-11 * * 5,0 m 3,04 4,85 3,00 9,02 3,00 9 A-12 * * 5,5 m 3,01 3,02 3,00 10 A-15 * * 8,0 m 5,94 3,80 6,5 11 A-16 * * 8,0 m 7,12 3,44 3,80 6,5 11 A-16 * * 8,0 m 7,12 3,44 3,80 6,5 11 A-16 * * 8,0 m 7,12 3,44 3,80 6,5 12 A-17 * * 9,5 m 5,83 4,93 5,8 13 A-18 * * 11,5 m 5,55 4,16 5,5 14 B-1 $\oint 160 m_i$ ściana 3 w 10 cm, próba z ociosu 10,25 5,13 10,2 15 B-2 * * 1,50 m 5,26 4,12 5,2 10,2 10,2 10,2 10,2 10,2 10,2 10,2 10,2 10,2	ł	7	A-10	н н	3.0 m	5,38	6,13	5,38
9A-12""5,5 m3,013,023,010A-15""8,0 m5,943,806,511A-16""8,0 m7,123,4412A-17""9,5 m5,834,935,813A-18""11,5 m5,554,165,514B-1 $\oint 160 \text{ m}_{1} \text{ sciana 3 w} \\ pok2. 410/2 + 412; \\ 55 m od ch. pod- \\ scian.10 cm, proba z \\ ociosu10,255,1310,215B-2""1,50 m5,264,125,216B-5""4,0 m2,162,773,017B-6""6,0 m4,723,154,719B-10""7,0 m5,814,705,820B-11""10,0 m4,173,535,621B-12""10,0 m7,114,81$	ł	8	A-11	н н	5,0 m	3,04	4,85	3,04
10A=15***8,0 m $5,94$ $3,80$ $6,5$ 11A=16***8,0 m $7,12$ $3,44$ $6,5$ 12A=17**9,5 m $5,83$ $4,93$ $5,8$ 13A=18***11,5 m $5,55$ $4,16$ $5,5$ 14B=1 $\oint 160 \text{ m}; $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$	I	9	A-12	er 11	5.5 m	3,01	3,02	3,01
11A-16""8,0 m7,123,4412A-17""9,5 m5,834,935,813A-18""11,5 m5,554,165,514B-1 \oint 160 m; ściana 3 w pokł. $410/2 + 412$; 55 m od ch. pod- ścian.10 cm, próba z ociosu10,255,1310,215B-2""1,50 m5,264,125,216B-5""4,0 m2,162,773,017B-6""6,0 m4,723,154,719B-10""7,0 m5,814,705,820B-11""10,0 m4,173,535,6	ł	10	A-15	н н	8,0 m	5,94	3,80	6.53
12A-17""9,5 m5,834,935,813A-18""11,5 m5,554,165,514B-1 $\oint 160 \text{ m}; \text{ sciana 3 w} \\ pok \& 410/2 + 412; \\ 55 m od ch. pod-scian.10 cm, próba z \\ ociosu10,255,1310,215B-2""1,50 m5,264,125,216B-5""4,0 m2,162,773,017B-6""6,0 m4,723,154,718B-8""6,0 m4,723,154,719B-10""7,0 m5,814,705,820B-11""10,0 m4,173,535,621B-12""10,0 m7,114,815,6$	l	11	A-16	90 99	8,0 m	7,12	3,44	0,55
13A-18"""11,5 m5,554,165,514B-1 $\oint 160 \text{ m}; $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$		12	A-17	81 H	9,5 m	5,83	4,93	5,83
14B-1 $II \text{ otwór: } 1 = 10 \text{ m.}$ $\oint 160 \text{ m: } $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $	l	13	A-18	60 W	11,5 m	5,55	4,16	5,55
14B-1	ł			II otwór: 1 = 10 m.				
15B-2"1,50 m5,264,125,216B-5""4,0 m2,162,773,017B-6""4,0 m3,932,9018B-8""6,0 m4,723,154,719B-10""7,0 m5,814,705,820B-11""10,0 m4,173,535,621B-12""10,0 m7,114,81		14	B-1		10 cm, próba z ociosu	10 ,25	5,13	10,25
16 $B-5$ "" $4,0 \text{ m}$ $2,16$ $2,77$ $3,0$ 17 $B-6$ "" $4,0 \text{ m}$ $3,93$ $2,90$ 18 $B-8$ "" $6,0 \text{ m}$ $4,72$ $3,15$ $4,7$ 19 $B-10$ "" $7,0 \text{ m}$ $5,81$ $4,70$ $5,8$ 20 $B-11$ "" $10,0 \text{ m}$ $4,17$ $3,53$ $5,6$ 21 $B-12$ "" $10,0 \text{ m}$ $7,11$ $4,81$		15	B-2	N N	1,50 m	5,26	4,12	5,26
17 B-6 """ 4,0 m 3,93 2,90 18 B-8 """ 6,0 m 4,72 3,15 4,7 19 B-10 """ 7,0 m 5,81 4,70 5,8 20 B-11 """ 10,0 m 4,17 3,53 5,6 21 B-12 """ 10,0 m 7,11 4,81		16	B-5	н н	4.0 m	2,16	2,77	2.045
18 B-8 """ 6,0 m 4,72 3,15 4,7 19 B-10 """ 7,0 m 5,81 4,70 5,8 20 B-11 """" 10,0 m 4,17 3,53 5,6 21 B-12 """" 10,0 m 7,11 4,81		17	B-6	W H	4.0 m	3,93	2,90	3,045
19 B-10 " 7,0 m 5,81 4,70 5,8 20 B-11 " 10,0 m 4,17 3,53 5,6 21 B-12 " " 10,0 m 7,11 4,81		18	B-8	91 19	6,0 m	4,72	3,15	4,72
20 B-11 " 10,0 m 4,17 3,53 5,6 21 B-12 " " 10,0 m 7,11 4,81		19	B-10	H H	7,0 m	5,81	4,70	5,81
21 B-12 " " 10,0 m 7,11 4,81 ,00		20	B-11	и п	10,0 =	4,17	3,53	5.64
		21	B-12	н	10,0 🖪	7,11	4,81	,,,,,,

Wyniki badań porowatości na próbach pobranych z głębi calizny węglowej (KWK "Nowa Ruda", pole "Piast")

pobieranie próbek co 1 m w otworach o długości 12 m. Uśrednione wyniki badań dla odcinków jednometrowych przedstawiono jako funkcję o postaci m = f(1), której wykres obrazuje rys. 4. Jest to funkcja wielomianu stopnia 3 postaci [8]:

$$\mathbf{m} = 10.68 - 3.74 \, 1 + 0.63 \, 1^2 - 0.03 \, 1^3, \tag{2}$$

71

٩.

gdzie:

m - porowatość wegla (%),

1 - odległość od odciosu (m).

Wyniki tego typu badań zestawiono w tablicy 1.

W pokładzie węgla nasyconym gazem porowatość wpływa przede wszystkim na akumulację gazu w węglu a w pewnym stopniu również na migrację gazu w węglu (głównie poprzez dyfuzję). Przez akumulację gazu w węglu rozumie się całkowitą objętość gazu (gazowa pojemność węgla), na którą składają się: gaz sorbowany i gaz wolny. Objętość gazu wolnego (G_w)w porach, który podlega prawu Boyle'a-Mariotta, postaci

$$\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{V}_1 = \mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{V}_2 = \text{const} \tag{3}$$

można wyrazić wzorem [2] :

$$G_{w} = m \frac{p}{m^{2}P_{m}} (m^{3}g/1 t lub m^{3}g/m^{3})$$
 (4)

gdzie:

p - ciśnienie gazu w pokładzie (Pa),

Pa - ciśnienie atmosferyczne (Pa),

or - stopień ściśliwości gazu (-).

m - porowatość węgla (%).

Z zależności 4 wynika, że ze wzrostem porowatości wzrasta objętość gazu wolnego w pokładzie, a więc w tym miejscu w pokładzie, gdzie m jest najmniejsze, tzn. w strefie Gz_{max} zawartość gazu jest mniejsza. Maksimum występowania ciśnienia gazu w pokładzie stwierdza się bezpośrednio przed strefą Gz_{max} . Co prawda, jak wynika z wykresu na rys. 4, największa wartość porowatości występuje na ociosie wyrobiska, lecz w wyniku filtracji odprężony węgiel w tej strefie ulega daleko posuniętemu odgazowaniu poprzez sieć szczelin i spękań.

Badania nad kaztałtowaniem się zmian porowatości węgla...

3. PRZEPUSZCZALNOŚC WĘGLA DLA GAZU W POKŁADZIE

Porowatość węgla w pokładzie nasyconym gazem ma istotny wpływ na przepuszczalność calizny węglowej. Przepływ gazu w węglu (migracja gazu) odbywa się na wskutek dwóch zjawisk: filtracji (gdzie siłą motoryczną jest ciśnienie gazu) oraz dyfuzji (gdzie siłą motoryczną jest różnica ciśnienia parcjalnego gazu). Przez filtrację rozumie się przepływ gazu (cieczy) przez ośrodek porowaty. Filtracja zachodzi w spękaniach i otwartych porach.

Objętość filtrującej masy gazu (Q_p) można w przybliżeniu określić z zależności [1]:

$$P_{\rm f} = \frac{k(p_1^2 - P_2^2)P}{2\mu L} \ge \frac{k_* P_* grad p}{\mu \cdot L} (cm^3/s)$$
(5)

Dla przypadku występowania w caliźnie CH₄, ilość filtrującego gazu określa się wzorem:

$$Q_{f} = \frac{\kappa P}{P} \frac{dp}{dL} \quad (cm^{3}/s) \tag{6}$$

Zgodnie z prawem Darcego proces filtracji gazu w pokładzie można określić z zależności:

$$\bar{q} = -\frac{k}{L} \operatorname{grad} p$$
 (7)

W zależnościach 5-7 poszczególne symbole oznaczają:

- k współczynnik przepuszczalności calizny węglowej (darcy 2)-
- µ lepkość kinetyczna gazu (N.s/cm²),
- F powierzchnia przekroju poprzecznego filtrującego warstwy (cm²),
- L długość drogi filtracji (cm),
- p ciśnienie gazu (kPa),
- q wektor filtracji.

W najdrobniejsz**ych porach (klasy I-III) zachodzi dyfuzja i uwarunkow**ana jest ona ruchem molekularnym, który prowadzi do wyrównywania się składników gazowych. Ilość dyfundującego gazu (Q_d) można wyznaczyć ze wzoru:

$$Q_{d} = \frac{D_{o}F(C_{1} - C_{1})}{L} \quad (cm^{3}/s),$$
 (8)

gdzie:

F - powierzchnia przekroju dyfundującej warstwy (cm²),

L - długość drogi (grubość warstwy) dyfuzji (cm²),

- C₁, C₂ stężenie gazu w początkowym i końcowym punkcie drogi migracji (%),
- D

 współczynnik dyfuzji gazu dyfundującego w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni przy gradiencie stężenia równym 1 (cm³/s).

Proces dyfuzji gazu w węglu można ująć równaniem różniczkowym dyfuzji (w zależności od czasu t), postaci:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c} \frac{\partial p}{\partial t}, \qquad (9)$$

gdzie:

- x współrzędna kartezjańska, wzdłuż której określany jest proces dyfuzji,
- c koncentracja gazu w węglu określana równaniem kinetyki sorpcji o postaci [7]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = f(c,p)$$
 (10)

Równanie kinetyki sorpcji ujmuje związek pomiędzy prędkością zmian koncentracji $\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)$ a aktualną koncentracją (c) i ciśnieniem gazu (p). Kinetyka sorpcji determinuje z kolei wytwarzanie stanu równowagi sorpcyjnej, przy czym ilość gazu sorbowanego można wyrazić równaniem izotermy sorpcji Langmuira, postaci:

$$C = \frac{A \cdot p}{a + p}, \qquad (11)$$

gdzie:

A, a - współczynniki sorpcji.

Poza tym dyfuzja wpływa też na desorpcję gazu z węgla. Z urobianiem węgla związane jest nagłe naruszenie równowagi między gazem zasorbowanym a wolnym. Ten ostatni wydziela się z węgla z intensywnością zależną głównie od gradientu ciśnienia. Przebieg desorpcji w początkowym momencie można ująć równaniem początkowej dyfuzji J. Gunthera [6]:

$$d(t) = \frac{V(t)}{V(\infty)} = \frac{2S}{V} \sqrt{\frac{D_{\star}t}{\Re t}}, \qquad (12)$$

gdzie:

- d(t) stopień odgazowania węgla w czasie,
- V(t) ogólna ilość gazu zdesorbowanego w momencie t,
- V(∞) ogólna ilość gazu zdesorbowanego w czasie nieskończenie długim,

S - powierzchnia wewnętrzna ziarn węgla,

V - objętość ogólna ziarn węgla,

D - współczynnik dyfuzji.

Powyższa zależność obowiązuje dla ziarn kulistych w tym czasie, gdy d(t) jest mniejsze od 0,2. Gdy ziarna węgla są większe od 1 mm, prędkość desorpcji jest praktycznie niezależna od uziarnienia, natomiast gdy średnica ziarn jest < 1 mm, prędkość desorpcji jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ich średnicy. Czas potrzebny do oddania 50% gazu zawartego w węglu, przy średniej wartości D = 10^{-10} cm²/s, wynosi dla poszczególnych średnic cząsteczek węgla [6]:

0,001 mm - 1,6 s, 0,1 mm - 13 h, 10 mm - 15 lat, 1 m - 150.000 lat.

Drugim ważnym (oprócz średnicy ziarn węgla) czynnikiem w procesie desorpcji jest czas (t). Ilość desorbującego gazu (V) w początkowym okresie procesu jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego czasu (t).



Rys. 5. Zależność przepuszczalności węgla (K_p) od nacisku mechanicznego p [3]

ce; stosunkowo najwyższą przepuszczalność posiada węgiel. W praktyce stosuje się również współczynnik filtracji (K_f), który ma wymiar (m/s). Zależność między współczynnikiem przepuszczalności (K_p) a współczynnikiem filtracji (K_r) wyraża się następująco:

$$K_f = K_p \frac{\tilde{a}}{\mu},$$

(14)

Proces filtracji i dyfuzji wpływa na migrację gazu w węglu. Z procesami tymi łączy się ściśle zagadnienie przepuszczalności skał karbońskich, której jednostką jest darcy (2), zdefiniowany jako:

$$1\partial = \frac{1 \text{ m}^2}{1.02 \cdot 10^{12}} \tag{13}$$

Przepuszczalność 10 ma taki ośrodek, przez którego 1 cm² przekroju poprzecznego filtruje 1 cm³ gazu (płynu) o lepkości 1 centipusza w ciągu 1 s, przy różnicy ciśnień 9,807.10⁴ Pa (1 at) na długości 1 cm. Spośród skał karbońskich najniższymi wartościami przepuszczalności charakteryzują się piaskowce i iłow-

Przepuszczalności K_p = 10 odpowiada współczynnik filtracji K_f = 10^{-5} m/s. Badania współczynnika przepuszczalności węgla dla gazu (K_p) in situ w caliźnie jest bardzo trudne do wykonania. Badania takie prowadzi się w laboratorium na obrobionych bryłach węgla pobranych z calizny. Istotną sprawą w tych badaniach jest określenie zależności K_p od nacisku mechanicznego wywieranego na węgieł. Przepuszczalność węgla pod wpływem obciążenia maleje (rys. 5) [3]. Badania modelowe imitujące nacisk górotworu na węglach wyrzutowych pokładów kopalń donieckich wykazały, że przepuszczal-





Rys. 7. Kształtowanie się K w przyprzodkowej strefie pokładu

fcm]

. 25

1 - węgiel z pokł. "Mazurka", 2 - węgiel z pokł, "Liwieński" (1, 2 - obliczone wzorem $K_{p(x)} = \frac{1}{k_{ox}}$) 3, 4 - analogiczne krzywe otrzymane z badań laboratoryjnych

Rys. 6. Zależność K_p od nacisku mechanicznego imitującego ciśnienie górotworu

1 - węgiel z pokł. "Rudnyj", 2 - węgiel z pokł. "Smolianinowskij", 3 - węgiel z pokładu "Diewiatka", 4 - węgiel z pokładu "Dwojnyj"

ność węgli odprężonych wynosi od 6 do 22 m², by przy nacisku rzędu 6,0--7,5 MPa spadać do wartości rzędu 0,1 m² (rys. 6). Na podstawie badań modelowych określono wartości współczynnika k_o, który jest zależny od wielkości obciążenia oraz rodzaju węgla i posiada wymiar $[\rm cm^{-3}]$. Na podstawie jego znajomości można określać w przybliżeniu kształtowanie się współczynnika K_n jako funkcji odległości od ociosu (x) wg zależności:

$$\mathbf{p} = \frac{1}{\mathbf{k}_{\mathbf{p}^*} \mathbf{x}} \ (\mathrm{m}\partial) \tag{15}$$



Przykłady wykresów K_p = f(x) obrazują wykresy na rys. 7 [3]. Skłonne do wyrzutów węgle, piaskowce i sole charakteryzują się większymi wartościami K_p (średnio ok. 2 razy). Przykładowo K_p wyrzutowych piaskowców kopalń donieckich wynosi 0,1-654,2 m∂, natomiast niewyrzutowych 0,1-481,5 m∂ [9].

4. PODSUMOWANIE

Rozpatrując kształtowanie się porowatości przed czołem frontu (rys. 4) można wnioskować, że największa jej wartość występuje na ociosie ($m_{\rm śr} \cong$ 9-11%). Najniższą porowatością charakteryzuje się strefa plastyczna pokładu, w której występuje maksimum Gz_{max}. Z porowatością wiąże się częściowo również przepuszczalność calizny węgla dla gazu, którą największą wartość esiąga również na ociosie (rzędu > 6 m∂ - patrz rys. 7). W strefie Gz pod wyływem oddziaływania eksploatacji K_p przyjmuje minimum. W pracy [8] określano rozkład parametrów mechanicznej wytrzymałości węgla (zwięzłość f. wytrzymałość na ściskanie R_c i rozciąganie R_r) oraz porowatości (m) wzdłuż frontu ściany (1). Badania takie prowadzono między innymi w ścianie 3, w której określano wgłębny rozkład zmian porowatości oraz





Badania nad kształtowaniem się zmian porowatości węgla...

w ścianie 3a. Uśrednione wykresy kształtowania się zmian R_c , R_r , f i m wzdłuż frontu ściany 3a i 3 obrazują wykresy (rys. 8 i 9). Odnośnie do zmian porowatości można stwierdzić, że najwyższe wartości porowatości (rzędu 10-12%) występują na skrzyżowaniu ścian z chodnikami przyścianowymi. Najniższą wartość porowatości stwierdzono w ścianie 3 w odległości ok. 35 m od chodnika nadścianowego a w ścianie 3a w odległości 15 m od chodnika nadścianowego. Nie stwierdzono większych zmian porowatości w strefach uskokowych tych ścian, w których zanotowano wyraźne obniżenie się parametrów mechanicznej wytrzymałości węgli (R_c , f, R_r).

Przedstawione badania wykonane zostały na stosunkowo małej liczbie próbek, toteż powinny być kontynuowane w celu ich zweryfikowania i pełniejszego uwiarygodnienia spostrzeżeń.

LITERATURA

- [1] BOROWSKI J.: Badania gazonośności pokładów węglowych z zastosowaniem nowych metod. Komunikat GIG, nr 645. 1976.
- [2] CZAPLIŃSKI A.: Sorpcja CO. przy wysokich ciśnieniach na kilku węglach DźZPW. Archiwum Górńictwa. Z. 2. 1965.
- [3] CHODOT W.W.: Wniezapnyje wybrosy uglia i gaza. Wyd. GWTJ. Moskwa 1971.
- [4] BTTINGER J.L.: Wniezapnyje wybrosy uglia i gaza i struktura ugla. Izd. "Wiedra", Moskwa 1966.
- [5] GIL H.: Kryterium wyrzutu gazów, węgla i skał. Przegląd Górniczy, nr 5, 1977.
- [6] GUNTHER J.: Etude de la laison gaz-charbon. Revue de l'Industrie Minerale, nr 10, 1965.
- [7] KRAJ W.: Rozkład ciśnienia gazu w pokładzie węgla przed czynnym frontem eksploatacji z uwzględnieniem filtracji i desorpcji gazu. Archiwum Górnictwa. Z. 3, 1977.
- [8] ŚWIDZIŃSKI A.: Weryfikacja analitycznego kryterium prognozowania wyrzutów gazów, węgla i skał w oparciu o pomiary in situ. Praca doktorska. Biblioteka Politechniki Sl., Gliwice - 6.V.1980.
- [9] SWIDZINSKI A.: Zagadnienie wyrzutów piaskowca i gazu w kopalniach węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze, nr 6/7, 1981.
- [10] ŚWIDZIŃSKI A., CHWALISZ J., IGNACY P., PACHLA B.: Badania nad kształtowaniem się porowatości węgli kopalń dolnośląskich. ZN Pol.Sl., s. Górnictwo, nr 104, 1979.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Jan Borowski

Wpłynęło do Redakcji 11.01.1982 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЛ ИЗМЕНЕНИИ ПОРИСТОСТИ УГЛИ В ВЕСЪМА ГАЗОНОСНОМ ПЛАСТЕ

- ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ УГОЛЬНОГО МАССИВА

Резюме

В работе даны результаты исследований изменения пористости в угольном массиве на горизонте 410/2 + 412 в каменноугольной шахте "Нова Руда". Испытания пористости проводились в лаборатории с использованием аппаратуры Вашбурна-Бунтинга. Образцы для исследований были взяти из отверстий длиной 12 м при помощи специально спроектированной буровой кольцевой коронки диаметром 160 мм. В общих чертах была рассмотрена проблема газопроницаемости угля в весьма газоносных пластах.

RESEARCH ON FORMATION OF CHANGES IN COAL POROSITY IN BEDS WITH HIGH CONTENTS OF METHANE - BODY OF COAL PERMEABILITY FOR GAS

Summary

The paper presents the results of tests on changes of porosity in the body of coal in the bed 420/2 + 412 in the coal mine "Nowa Ruda". The tests were carried out in a laboratory using the Washbun-Bunting's apparatus. Samples for the tests were collected in a 12 meter hole with the help of a specially constructed drill bit. The problem of coal permeability for gas in beds with high contents of methane is outlined.