

BADANIA GAZOWE WĘGLA

W otworze Wesoła PIG 1 przedmiotem badań gazowych były próbki węgla (rdzenia) pobrane z pokładów o minimalnej grubości 1,00 m. Przeprowadzono następujące rodzaje badań gazowych:

- badania zawartości gazu (gazonośności) i jakości gazu w pokładach węgla metodą swobodnej degazacji – testy desorpcji amerykańską metodą USBM;

- badania zawartości metanu (metanonośności) i jakości gazu w pokładach węgla metodą degazacji próżniowej, stosowaną w Polsce;
- badania pojemności sorpcyjnej węgla względem metanu – izotermy sorpcji Langmuira.

Ponadto, podczas wiercenia otworu Wesoła PIG 1 i otworu Wesoła PIG 2H prowadzono ciągły pomiar zawartości węglowodorów w płuczce wiertniczej.

METODY I ZAKRES BADAŃ

BADANIA ZAWARTOŚCI GAZU I JAKOŚCI GAZU W POKŁADACH WĘGLA METODĄ SWOBODNEJ DESORPCJI – TESTY DESORPCJI METODĄ USBM

Metodę USBM pomiaru zawartości (gazu) węglowodorów w węglu stosuje się podczas poszukiwania, rozpoznawania i dokumentowania złóż metanu, występującego w złożach węgla kamiennego jako kopaliny głównej. Metoda ta umożliwia określenie zawartości węglowodorów (gazu) w podziale na trzy składowe:

- Gaz tracony – część gazu sorbowanego (ewentualnie również gazu wolnego), wydzielająca się z pokładu węgla w sposób niekontrolowany, przed zamknięciem próbki węgla w pojemniku hermetycznym. Ilość gazu traconego określa się w sposób analityczny.
- Gaz desorbowalny – gaz wydzielający się z próbki węgla w pojemniku hermetycznym (test desorpcji). Tę ilość gazu mierzy się metodą objętościową. Test desorpcji prowadzi się pod ciśnieniem atmosferycznym, w temperaturze złożowej.

- Gaz resztkowy – gaz pozostający w próbce węgla po zakończeniu testu desorpcji. Zawartość gazu resztkowego oznacza się po zmieleniu próbki węgla.

Ten sposób pomiaru zawartości gazu umożliwia w sposób bezpośredni obliczenie zawartości gazu (węglowodorów) w pokładach węgla oraz zasobów gazu desorbowalnego (teoretycznie wydobywalnego). Na podstawie krzywej desorpcyjnej, wyrażającej zależność ilości gazu od czasu trwania degazacji prowadzonej w temperaturze złożowej, wyliczono także dyfuzyjność i czas sorpcji.

Próbki rdzenia do badań zawartości gazu pozyskiwano, posługując się zestawem do rdzeniowania wrzutowego, co skutkowało krótkim czasem wyciągania rdzenia na powierzchnię, gwarantując wysoką dokładność oszacowania zawartości gazu traconego, od którego – w głównej mierze – uzależniona jest dokładność oznaczania zawartości gazu całkowitego.

BADANIA METANONOŚNOŚCI POKŁADÓW WĘGLA METODĄ DEGAZACJI PRÓŻNIOWEJ

Badania metanonośności wykonano metodą jednofazowej, próżniowej degazacji. Metodę tę powszechnie stosuje się w górnictwie węgla kamiennego w Polsce do określania zagrożenia metanowego. Wynikiem pomiaru jest metanonośność, to znaczy zawartość węglowodorów podawana

w metrach sześciennych, przeliczona na czystą substancję węglową (csw). Opróbowanie do badań gazowych polegało na pobraniu na otworze próbki rdzenia węglowego (o masie ok. 100 g) do specjalnego, hermetycznie zamykanego pojemnika z kulami. Następnie pobraną próbkę odgazo-

wywano w próżni w jednej fazie (z mieleniem węgla), a otrzymany w ten sposób gaz analizowano w aparacie chromatograficznym na zawartość węglowodorów i innych gazowych składników towarzyszących (N_2 , CO , CO_2 , H_2 i He). Na podstawie analizy określono zawartość metanu w pokładzie węgla w m^3/t węgla, a po uwzględnieniu za-

wartości wilgoci i popiołu w badanym węglu oraz współczynnika zwiększającego 1,33 (z uwagi na nieuniknione straty gazu w procesie wiertniczym i podczas pobierania próbek), ostateczny wynik badania podano w m^3 metanu na tonę czystej (bezpopiołowej) i suchej (bez wilgoci) substancji węglowej ($m^3 CH_4/t$ csw).

BADANIA POJEMNOŚCI SORPCYJNEJ WĘGLA WZGLĘDEM METANU – IZOTERMY SORPCJI LANGMUIRA

Badania izoterm sorpcji przeprowadzono na rozdrobionych próbkach węgla frakcji 0,355–0,710 mm. Próbki węgla nawodniono do wilgotności równowagowej, zgodnie z normą ASTM 1412. Po osiągnięciu wilgotności równowagowej, próbki umieszczono w zbiorniku ciśnieniowym (10 MPa) w celu pomiaru izoterm sorpcji. Pomiary prowadzono w interwale ciśnień nasycenia 1–10 MPa (5–6 pomiarów). Próby nasycano czystym metanem.

Otrzymane punkty pomiarowe izoterm sorpcji skorelowano z równaniem izoterm sorpcji Langmuira:

$$V_s = \frac{(V_{sL} \cdot p)}{(p_L + p)} \quad [m^3/t]$$

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano parametry równania, tj. objętość Langmuira (V_{sL}) i ciśnienie Langmuira (p_L).

BADANIA ZAWARTOŚCI WĘGLOWODORÓW W PŁUCZCE WIERTNICZEJ

Do wykrywania węglowodorów podczas wiercenia stosowano serwis laboratorium kontrolno-pomiarowego (*mud-logging*). Próbki gazu z płuczki pobierano, używając linii gazowej podłączonej do trzech detektorów gazu, którymi były: chromatograf gazowy FID do ilościowej analizy koncentracji węglowodorów gazowych (C1 do nC5), chromato-

graf gazowy (FID-THC) do analizy całkowitej ilości gazu oraz detektor podczerwieni wykorzystywany jako dodatkowy przyrząd do analizy całkowitej ilości gazu. W wyniku pomiarów zawartości gazu w płuczce, tworzony był ciągły wykres zawartości węglowodorów (tzw. log gazowy) wraz ze składem procentowym gazów.

WYNIKI BADAŃ

CHARAKTERYSTYKA GAZONOŚNOŚCI PRZEWIERCONYCH POKŁADÓW WĘGLA

Badania zawartości gazu metodą USBM przeprowadzono dla 31 próbek węgla z 14 pokładów węgla. Wyniki całkowitej zawartości gazu oraz jej poszczególnych składowych w przeliczeniu na stan roboczy przedstawiono w [tabeli 42](#).

Gazonośność badanych węgli obrazują wyniki zawartości gazu całkowitego, które wynoszą od 2,00 (pokład 404/5) do 9,54 m^3/t (pokład 510), średnio 6,43 m^3/t . Zawartość gazu całkowitego, podobnie jak jej poszczególne składowe, wykazuje wyraźną tendencję wzrostową z głębokością i osiąga maksimum w pokładach 501 i 510.

Poszczególne składowe gazu całkowitego stanowią:

- gaz desorbowlalny – od 22 do 72%, średnio 55% gazu całkowitego;
- gaz resztkowy – od 23 do 76%, średnio 41% gazu całkowitego;
- gaz tracony – od 2 do 6%, średnio 4% gazu całkowitego.

Zawartość gazu desorbowanego kształtuje się w granicach od 0,47 m^3/t (pokład 361) do 6,65 m^3/t (pokład 501), średnio 3,80 m^3/t . Zawartość gazu resztkowego waha się od 1,12 (pokład 404/5) do 3,91 m^3/t (pokład 510), średnio

2,36 m^3/t . Zawartość gazu traconego wynosi od 0,04 (pokład 361) do 0,53 m^3/t (pokład 510), średnio 0,26 m^3/t .

Charakterystykę gazonośności złoża przeprowadzono na podstawie wyników badań gazonośności próbek węgla, w podziale na poszczególne pokłady węgla. Dla 8 pokładów węgla wykonano po jednym teście desorpcji, dla pozostałych 6 pokładów, o relatywnie większej miąższości (>1,5 m), wykonano od 2 do 11 testów desorpcji, a ich wyniki uśredniono.

Należy podkreślić stosunkowo niewielką zmienność zawartości gazu całkowitego w obrębie pokładów węgla, jako miarę przyjmując odchylenie standardowe, które wynosi od 0,11 do 0,92 m^3/t . Dla pokładu 510 wynosi ono tylko 0,46 m^3/t przy 11 testach desorpcji. Wyniki zawartości gazu dla pokładów węgla (w przeliczeniu na stan roboczy) przedstawia [tabela 43](#).

Udział zawartości gazu resztkowego w gazie całkowitym wykazuje wyraźną zależność malejącą z głębokością, podczas gdy jego dopełnienie (gaz desorbowany + tracony), które oznacza gaz mobilny (teoretycznie wydobywalny), rośnie z głębokością, dochodząc do ponad 70% w pokładzie 501. Tendencję tę najlepiej ilustruje wykres przed-

Tabela 42

Wyniki badań zawartości gazu w próbach węgla oznaczonych metodą USBM

Results of coal gas content measurements determined using a USBM method

Interwał pobrania Sample interval [m]		Nr pokładu Seam ID	Temp. złożowa Reservoir temperature [°C]	Stan roboczy As received basis					
				gaz desorbowany desorbed gas [m³/t]	gaz resztkowy residual gas [m³/t]	gaz tracony lost gas [m³/t]	gaz całkowity total gas [m³/t]	wilgotność moisture [%]	popiół ash [%]
od / from	do / to								
660,90	661,30	361	27,8	0,47	1,63	0,04	2,14	5,04	1,71
672,76	673,16	364	28,2	1,07	2,04	0,19	3,30	5,59	3,05
681,36	681,76	401	28,0	1,68	2,07	0,18	3,93	5,87	4,67
682,40	682,80		28,5	1,92	1,61	0,18	3,71	5,86	19,28
701,76	702,16	404/1	29,1	1,62	1,99	0,14	3,75	5,18	3,52
704,32	704,72	nn1	29,1	1,45	1,46	0,08	2,99	5,47	9,53
753,01	753,41	404/5	30,6	1,31	1,43	0,10	2,84	8,87	2,41
753,92	754,32		30,6	0,82	1,12	0,06	2,00	3,52	2,29
755,33	755,73		30,7	1,22	1,74	0,11	3,08	4,77	5,84
773,17	773,58	nn2	31,2	2,27	2,49	0,17	4,93	4,61	1,86
786,38	786,78	405/2	31,6	2,87	3,43	0,21	6,51	4,53	2,84
787,60	788,00		31,6	3,00	1,43	0,24	4,66	4,86	5,14
801,95	802,35	407/1	32,1	4,01	2,87	0,36	7,24	6,24	4,09
874,07	874,48	414	34,2	3,37	2,46	0,24	6,07	2,65	56,18
890,18	890,58	416	34,7	4,14	2,39	0,26	6,79	4,51	4,41
892,42	892,82		34,7	4,60	2,50	0,45	7,54	4,44	4,68
948,01	948,41	nn3	37,6	4,20	2,60	0,29	7,09	3,15	23,55
962,35	962,73	501	38,0	6,25	2,35	0,36	8,96	3,11	2,05
963,97	964,35		38,1	5,40	2,50	0,30	8,19	2,52	2,94
965,10	965,53		38,1	6,65	2,09	0,46	9,19	2,59	7,32
966,41	966,81	510	38,2	6,05	2,19	0,53	8,77	4,01	3,05
967,27	967,67		38,2	4,39	3,91	0,27	8,57	2,46	1,41
968,22	968,63		38,2	5,04	3,29	0,31	8,64	3,08	0,87
968,87	969,27		38,2	5,30	2,92	0,28	8,50	2,19	15,25
969,84	970,24		38,3	5,70	3,52	0,32	9,54	2,97	1,74
970,97	971,38		38,3	5,82	3,12	0,32	9,26	2,43	2,66
971,84	972,24		38,3	5,41	2,30	0,35	8,06	3,54	2,85
972,86	973,26		38,4	5,38	2,21	0,27	7,86	2,21	1,58
974,19	974,58		38,4	5,83	2,25	0,37	8,45	2,25	4,18
975,05	975,47		38,4	5,46	2,47	0,33	8,26	2,47	1,35
975,77	976,17		38,5	5,15	2,88	0,37	8,40	1,90	1,74

Tabela 43

Gazoność pokładów węgla określona metodą USBM (w przeliczeniu na stan roboczy)

Gas content of coal seams determined using a USBM method (on as received basis)

Pokład Coal seam	Interwał pokładu Seam interval		Miąższość pokładu Seam thickness	Liczba testów desorpcji w pokładzie Desorption tests	Gaz desorbowany Desorbed gas	Gaz resztkowy Residual gas	Gaz tracony Lost gas	Gaz całkowity Total gas	Udział gazu resztkowego Residual gas percentage
	strop top	spąg base							
	[m]								
361	660,55	661,66	1,11	1	0,47	1,63	0,04	2,14	76%
364	672,30	673,26	0,96	1	1,07	2,04	0,19	3,30	62%
401	681,25	682,93	1,68	2	1,80	1,84	0,18	3,82	48%
404/1	701,40	702,52	1,12	1	1,62	1,99	0,14	3,75	53%
–	704,10	705,40	1,30	1	1,45	1,46	0,08	2,99	49%
404/5	752,55	756,60	4,05	3	1,12	1,43	0,09	2,64	54%
–	772,95	774,10	1,15	1	2,27	2,49	0,17	4,93	51%
405/2	786,22	788,00	1,78	2	2,94	2,43	0,23	5,59	43%
407/1	801,86	803,42	1,56	1	4,01	2,87	0,36	7,24	40%
414	873,55	874,95	1,40	1	3,37	2,46	0,24	6,07	40%
416	889,90	892,95	3,05	2	4,37	2,44	0,36	7,17	34%
–	947,47	948,50	1,03	1	4,20	2,60	0,29	7,09	37%
501	962,05	965,70	3,65	3	6,10	2,31	0,37	8,78	26%
510	966,05	977,10	11,05	11	5,41	2,82	0,34	8,57	33%

stawiający sumę gazu desorbowanego i traconego oraz ilość gazu resztkowego w relacji do głębokości dla poszczególnych pokładów węgla (fig. 34). Wykres ukazuje też raptowny wzrost gazonośności całkowitej w interwale głębokości ok. 750–780 m, głównie za sprawą dużego przyrostu gazu desorbowanego i traconego, gdy gazonośność całkowita osiąga poziom ok. 4,5 m³/t.

Dyfuzyjność i czas sorpcji – parametry pochodne krzywej desorpcji, świadczące o zdolności węgla do oddawania gazu – obliczono analitycznie dla każdego testu desorpcji. Dyfuzyjność wynosi od $1,72 \cdot 10^{-6}$ do $8,39 \cdot 10^{-6}$ min⁻¹, średnio $3,67 \cdot 10^{-6}$ min⁻¹, a czas sorpcji wahał się w granicach od 5,5 do 26,9 dni, średnio 14,3 dni.

Dyfuzyjność, podobnie jak zawartość gazu desorbowanego i udział gazu resztkowego, ma istotne znaczenie w ocenie produktywności metanu z pokładów węgla, w przypadku jego pozyskiwania otworami z powierzchni. W celu przedstawienia wyników badań tych parametrów złożowych w perspektywie porównawczej zestawiono wartości tych parametrów dla silnie gazonośnych pokładów węgla z wynikami takich samych badań w dwóch otworach archiwalnych (Gilowice-1 i WP-TXA), w których także wykonywano testy desorpcji w temperaturze złożowej (tab. 44).

Gazonośne pokłady węgla w otworze Wesola PIG 1 charakteryzują się niższą zawartością gazu desorbowanego, znacznie wyższą zawartością gazu resztkowego i trzykrotnie wyższym jego udziałem procentowym, a także wyraźnie niższą dyfuzyjnością, o niemal rząd wielkości niższą niż w otworze Gilowice-1, który ma podobną głębokość zalegania, dojrzałość termiczną i skład petrograficzny badanych pokładów węgla. Świadczy to o dużym stopniu odgazowania złoża metanu z pokładów węgla w rejonie Wesolej. Prawdopodobne jest, że po części jest ono pochodną rozległego leja depresji, wytworzonego w wyniku długotrwałej eksploatacji górniczej węgla.

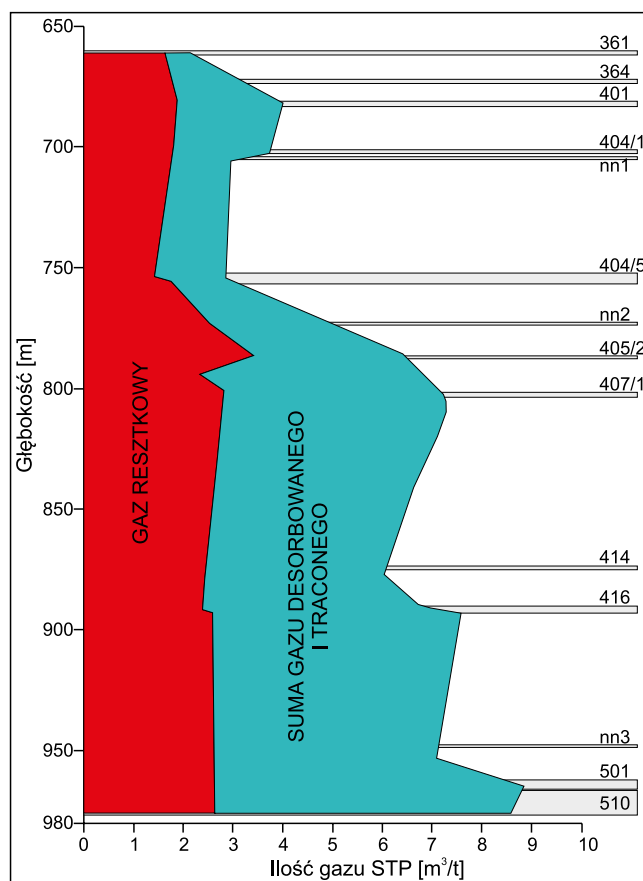


Fig. 34. Suma zawartości gazu desorbowanego i traconego oraz gazu resztkowego w relacji do głębokości

Lost + desorbed and residual gas contents versus depth

Tabela 44

Porównanie wybranych parametrów złożowych wynikających z badań gazonośności metodą USBM dla otworów Wesola PIG 1, Gilowice-1 i WP-TXA (zawartość gazu w stanie dostarczonym)

Comparison of selected reservoir parameters resulting from gas content determination using a USBM method for Wesola PIG 1, Gilowice-1 and WP-TXA wells (gas content values on as received basis)

Parametr złożowy Reservoir parameter	Wesola PIG 1		Gilowice-1		WP-TXA	
	min.–maks. min.–max.	średnia mean	min.–maks. min.–max.	średnia mean	min.–maks. min.–max.	średnia mean
Zawartość gazu desorbowanego Desorbable gas content [m ³ /t]	2,44–6,47	4,38	9,12–12,39	11,01	3,42–9,32	6,70
Zawartość gazu resztkowego Residual gas content [m ³ /t]	2,31–2,87	2,55	1,26–1,89	1,54	0,62–1,48	0,99
Udział gazu resztkowego w całkowitym Residual gas content in total gas [%]	26–51	38	10–15	13	8–20	13
Dyfuzyjność Diffusivity [min ⁻¹]	$2,11 \cdot 10^{-6}$ – $8,39 \cdot 10^{-6}$	$2,95 \cdot 10^{-6}$	$8,63 \cdot 10^{-6}$ – $4,50 \cdot 10^{-5}$	$1,65 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-6}$ – $1,39 \cdot 10^{-5}$	$4,32 \cdot 10^{-6}$

CHARAKTERYSTYKA METANONOŚNOŚCI PRZEWIERCONYCH POKŁADÓW WĘGLA

Do badań metanonośności metodą degazacji próżniowej pobrano 44 próbki rdzenia, aby umożliwić pełną porównywalność ich wyników z testami desorpcji metodą USBM. Probki pobrano z wszystkich pokładów, w których wykonano testy desorpcji. Spośród 44 próbek przeznaczonych do analizy, reprezentatywne wyniki uzyskano z 42 (pojemniki hermetyczne z dwoma próbkami uległy rozszczelnieniu). Przy obliczeniach metanonośności uwzględniono współczynnik wyrównania strat (ucieczek) gazu zachodzących przy pobieraniu próbki węgla, wynoszący 1,33 (gaz tracony).

Metanonośność próbek węgla w otworze Wesoła PIG 1 waha się od 0,29 do 7,98 m³ CH₄/Mg csw (tab. 45), średnio 4,63 m³ CH₄/Mg csw. Wyniki badań metanonośności wykonane na próbkach pobranych z tego samego pokładu węgla wskazują znaczne zróżnicowanie. Dla pokładu 416 różnica pomiędzy skrajnymi wartościami metanonośności próbek węgla jest prawie dwukrotna: (3,67 i 7,00 m³ CH₄/Mg csw). Uśrednioną metanonośność oraz wartości minimalne i maksymalne dla poszczególnych pokładów węgla przedstawiono w tabeli 45.

Dokonano porównania metanonośności oznaczonej metodą jednofazowej, próżniowej degazacji z zawartością gazu określoną metodą USBM (test desorpcji). Analizę przeprowadzono w odniesieniu do średnich wartości ww.

parametrów dla poszczególnych pokładów węgla. Porównywano metanonośność pokładów węgla (przeliczoną na czystą substancję węglową) z całkowitą zawartością gazu (fig. 35).

Na wykresie obserwujemy duże różnice pomiędzy gazonośnością całkowitą (określoną metodą USBM) a metanonośnością oznaczoną metodą degazacji próżniowej. Z reguły (poza jednym wyjątkiem) gazonośność jest zdecydowanie wyższa od metanonośności. Największe różnice względne występują w zakresie niższych metanonośności (poniżej 4,5 m³/t_{csw}), wynoszące 28–45%, natomiast znacznie mniejsza różnica widoczna jest dla pokładów silniej metanonośnych, która waha się w przedziale 14–23%. Obserwowane wielkości różnic pomiędzy gazonośnością a metanonośnością można w niewielkim stopniu (1–5%) wyjaśnić obecnością w gazie z desorpcji składników niewęglowodorowych. Domniemaną przyczyną może być niewystarczająca reprezentatywność próby w przypadku pomiarów metanonośności (kilkakrotnie mniejsza masa próby w porównaniu z testem desorpcji), jednak powinna mieć ona rozkład losowy, podczas gdy ma ona raczej charakter systematyczny, co mogłoby wskazywać na trudne do wytłumaczenia zaniżanie metanonośności oznaczanej metodą jednofazowej degazacji próżniowej w granicach ok. 10–20%.

CHEMIZM GAZU Z DESORPCJI POKŁADÓW WĘGLA

Skład gazu desorbowanego określono na podstawie analiz chromatograficznych dla 6 wybranych testów desorpcji, pobierając łącznie 30 próbek gazu (po 5 na każdą próbę desorpcyjną). Probki gazu pobrano w różnych fazach desorpcji, w celu uchwycenia ewentualnego zróżnicowania składu gazu z postępem desorpcji. Skład gazu nie wykazy-

wał jednak istotnych różnic wraz z postępem desorpcji, z wyjątkiem zawartości etanu, który ujawnił niewielki ale zauważalny wzrost z postępem desorpcji we wszystkich analizowanych testach desorpcji. Z uwagi na nieznaczne różnice składu gazu w próbkach dla poszczególnych testów desorpcji, wyniki badania składu chemicznego gazu

Tabela 45

Metanonośność pokładów węgla w otworze Wesoła PIG 1

Methane content of coal seams in the Wesoła PIG 1 borehole

Nr pokładu Coal seam ID	Liczba pobranych próbek w pokładzie Samples per seam	Średnia metanonośność pokładu Average methane content of seam [m ³ CH ₄ /Mg _{csw}]	Minimalna metanonośność pokładu Minimum methane content [m ³ CH ₄ /Mg _{csw}]	Maksymalna metanonośność pokładu Maximum methane content [m ³ CH ₄ /Mg _{csw}]
361	1	0,291	0,291	0,291
364	2	2,176	1,876	2,475
401	2	2,107	2,081	2,133
404/1	2	2,085	1,839	2,330
nn1	2	2,715	2,070	3,359
404/5	3	3,020	2,015	4,163
nn2	2	3,573	3,532	3,613
405/2	2	4,805	4,259	5,350
407/1	2	4,281	3,256	5,306
414	2	4,682	3,892	5,572
416	4	5,535	3,669	7,008
nn3	2	5,802	5,288	6,316
501	4	6,718	5,366	7,981
510	12	6,170	5,110	7,285

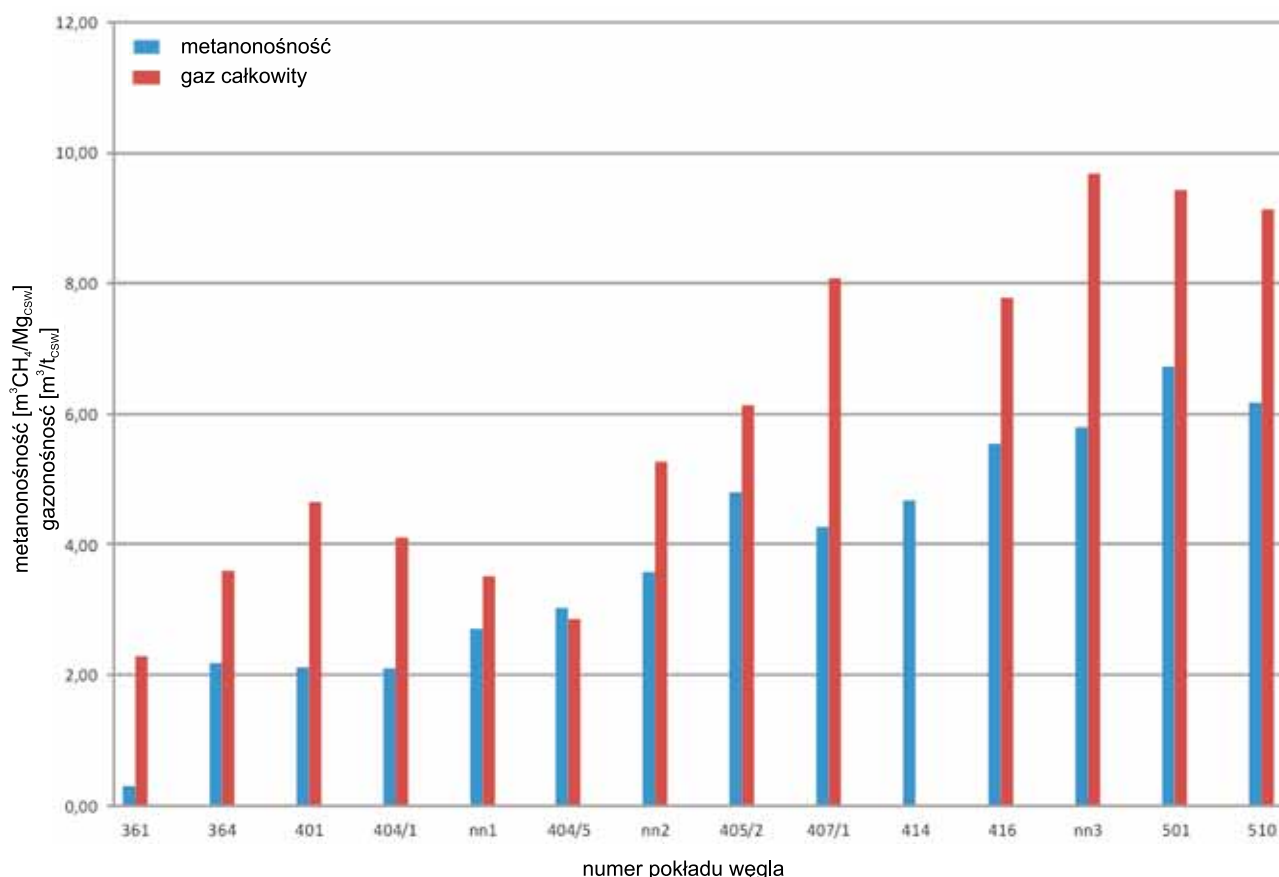


Fig. 35. Porównanie metanonośności oznaczonej metodą jednofazowej degazacji próżniowej z zawartością gazu całkowitego określonego metodą USBM

Comparison of methane content determined using a one-phase, quick crushing method with gas content determined using a USBM method

z desorpcji przedstawiono uśredniając je dla poszczególnych pokładów węgla (tab. 46).

Dominującym składnikiem gazu desorbowanego jest metan stanowiący od 95,5 do 99,2%, etan stanowi od 0,03 do 0,15%. Zawartość dwutlenku węgla waha się od 0,7 do 2,5%, natomiast azotu od 0,1 do 2,2%. Skład gazu złożowego wyraźnie się różnicuje z głębokością pomiędzy pokładami płytszymi (poniżej 760 m) i słabiej meta-

nowymi (poniżej 4,5 m³/t_{csw}) oraz głębiej zalegającymi, silnie metanowymi. Pokłady płytsze mają bardzo wysoki udział metanu (>99%), przy znikomym udziale węglowodorów cięższych oraz nieznacznej zawartości dwutlenku węgla i azotu. Pokłady głębsze, silnie metanowe, mają mniejszy udział metanu (95,5–96,4%), przy znacznie (dwu-, trzykrotnie) wyższej, chociaż wciąż nieznacznej, zawartości etanu, a także znacznie wyższej

Tabela 46

Skład gazu desorbowanego dla pokładów węgla z otworu Wesola PIG 1

Desorbed gas composition of coal seams from the Wesola PIG 1 borehole

Nr pokładu Coal seam ID	Interwał próby desorpcyjnej Desorption sample interval		Liczba próbek gazu Number of gas samples	N ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [%]	C ₂ H ₆ [%]	C ₃ H ₈ [%]
	od from [m]	do to [m]						
401	681,36	681,76	5	0,1	0,7	99,1	0,04	0,0007
404/5	753,01	753,41	5	0,1	0,7	99,2	0,03	0,0006
416	890,18	890,58	5	2,2	1,3	96,4	0,10	0,0011
501	963,97	964,35	5	2,0	2,3	95,6	0,14	0,0012
510	966,41	966,81	5	1,8	2,5	95,5	0,14	0,0012
	971,84	972,24	5	1,7	2,5	95,6	0,15	0,0013

zawartości dwutlenku węgla i azotu. Wysoka zawartość metanu i bardzo wysoki stosunek metanu do cięższych węglowodorów (suchość gazu) płytszych pokładów wę-

gla (poniżej 760 m) mogą oznaczać stosunkowo duży udział gazu pochodzenia bakteryjnego w tych pokładach.

CHARAKTERYSTYKA POJEMNOŚCI SORPCYJNEJ POKŁADÓW WĘGLA

W wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych pojemności sorpcyjnych próbek węgla, stosując model Langmuira, otrzymano parametry równania tj. objętość Langmuira (V_sL) i ciśnienie Langmuira (p_L) (tab. 47). Przeprowadzona analiza parametrów Langmuira (V_sL i p_L) w zestawieniu z wynikami oznaczenia zawartości

gazu całkowitego z testów desorpcji (przyjmując gradient ciśnienia (p) równy 0,0098 MPa/m) umożliwiła wyznaczenie pojemności sorpcyjnej (V_s) badanych próbek węgla oraz nasycenie metanem (tab. 47). Wyniki przedstawiono także w postaci wykresu przebiegu izoterm oraz zawartości gazu całkowitego dla poszczególnych próbek (fig. 36).

Tabela 47

Wyniki oznaczania izoterm sorpcji Langmuira

Results of Langmuir gas sorption determination

Pokład węgla Coal seam	Nr próbki Sample ID	Głębokość próbki Sample depth [m]		Objętość Langmuira Langmuir volume V_sL [m ³ /t(daf)]	Ciśnienie Langmuira Langmuir pressure p_L [MPa]	Ciśnienie złożowe Reservoir pressure [MPa]	Pojemność sorpcyjna Sorption capacity V_s [m ³ /t(daf)]	Nasycenie węgla metanem Sorption saturation [%]
		od from	do to					
404/5	WES-1/07/D/IS	753,01	753,41	18,61	3,4	7,4	12,77	24
416	WES-1/15/D/IS	890,18	890,58	19,67	3,2	8,7	14,36	51
501	WES-1/19/D/IS	963,97	964,35	20,89	2,9	9,4	15,93	54
510	WES-1/21/D/IS	966,41	966,81	20,19	2,8	9,5	15,61	60
	WES-1/27/D/IS	971,84	972,24	19,79	3,2	9,5	14,85	58

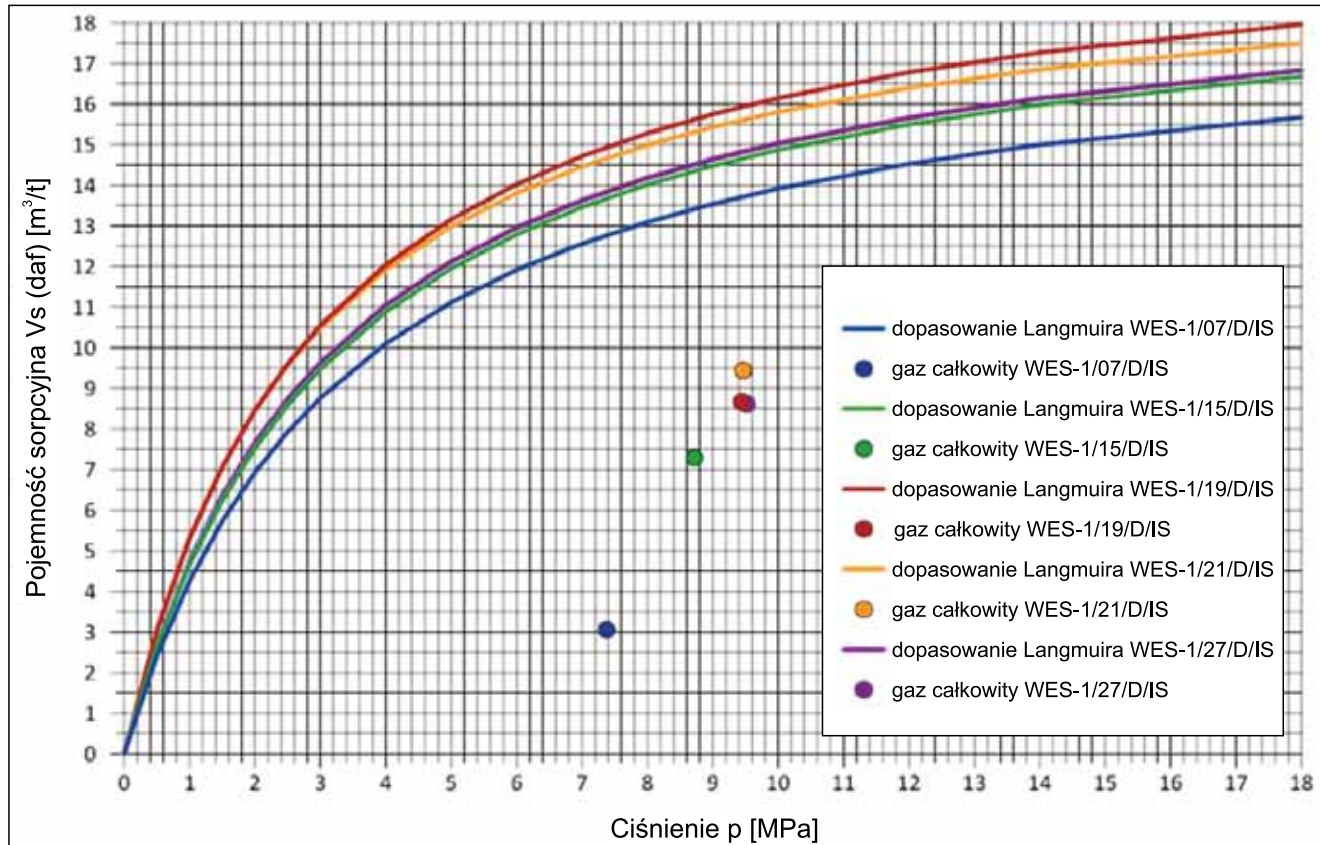


Fig. 36. Przebieg izoterm sorpcji Langmuira i zawartość gazu całkowitego dla wybranych próbek węgla z otworu Wesola PIG 1

Langmuir sorption isotherms and total gas contents of selected coal samples from the Wesola PIG 1 borehole

Z przeprowadzonych pomiarów i analizy otrzymanych danych wynika, że objętość Langmuira jest słabo zróżnicowana i wynosi od 18,61 do 20,89 m³/t(daf), natomiast pojemność sorpcyjna dla metanu waha się w szerszych granicach od 12,77 do 15,93 m³/t(daf). Porównując pojemność sorpcyjną z zawartością gazu całkowitego z testów desorpcji, można stwierdzić, że wszystkie badane próbki węgla są nienasycone, to znaczy zawartość gazu jest mniejsza dla danego ciśnienia od pojemności sorpcyjnej (fig. 36), a wielkość nasycenia wynosi od 24 do 60% (tab. 47).

Pełna analiza danych ze wszystkich czterech pokładów węgla opróbowanych pod kątem pojemności sorpcyjnej, w przeliczeniu na warunki *in situ* (popiół i wilgoć równowagowa), pozwoliła na obliczenie najbardziej istotnych parametrów złożowych, które są wskaźnikami produktywności metanu pokładów węgla w otworze Wesoła PIG 1 (tab. 48).

Do najważniejszych parametrów złożowych należy krytyczne ciśnienie desorpcji, czyli ciśnienie do którego należy obniżyć ciśnienie złożowe, by uruchomić proces odgazowania pokładu węgla. Krytyczne ciśnienie desorpcji wynosi od 0,6 MPa dla pokładu 404/5 (co stanowi 8% ciśnienia złożowego) do 2,5 MPa dla pokładów 501 i 510 (26% ciśnienia złożowego). W efekcie, dla każdego z czterech

badanych pokładów, aby uzyskać dopływ gazu należy obniżyć pierwotne ciśnienie złożowe aż o ok. 7 MPa.

Kolejnym istotnym parametrem złożowym jest resztkowa zawartość gazu w pokładzie węgla, przy minimalnym ciśnieniu eksploatacyjnym (przyjmuje się ciśnienie 0,7 MPa). Wartość tego parametru jest wskaźnikiem możliwości szczypania zasobów gazu, czyli decyduje o wielkości (udziale procentowym) zasobów wydobywalnych dla pojedynczego pokładu węgla. Obliczona resztkowa zawartość gazu dla pokładów 501 i 510 stanowi odpowiednio 58 i 59% zawartości gazu całkowitego, dla pokładu 416 jest to 49%, natomiast w przypadku pokładu 404/5 zawartość gazu resztkowego jest wyższa od gazu całkowitego, co wskazuje na brak możliwości przemysłowej eksploatacji gazu z tego pokładu. Całkowita zawartość gazu w pokładzie na poziomie ok. 3 m³/t jest zatem wartością graniczną, która definiuje zasoby wydobywalne dla złoża metanu w rejonie otworu Wesoła PIG 1. Należy zwrócić uwagę, że obliczona resztkowa zawartość gazu znacznie przewyższa gazoność resztkową z desorpcji (dla pokładu 404/5 gaz resztkowy z desorpcji wynosi 1,43 m³/t), która stosowana jest powszechnie w dokumentowaniu złóż metanu z pokładów węgla jako kryterium w definiowaniu zasobów wydobywalnych.

WYNIKI PROFILOWANIA GAZOWEGO W CZASIE WIERCENIA

Przeprowadzony w czasie wiercenia ciągły pomiar zawartości gazu w płucze pozwalał w sposób przybliżony scharakteryzować pionowy profil gazoności przewiercanych pokładów węgla. Wygenerowany z tych pomiarów ciągły wykres całkowitej zawartości węglowodorów (z udziałem homologów od C1 do nC5) przedstawiono w zbiorczym profilu otworu, przy czym możliwe do zarejestrowania były tylko koncentracje C1 (metan) i C2 (etan). Silne wychylenia (maksima) w przebiegu krzywej gazowej świadczą o przewierceniu gazonośnego pokładu węgla, jako że w tym przypadku gaz sorbowany w węglu lub łupku węglowym jest zasadniczo jedynym źródłem występo-

wania węglowodorów gazowych w profilu. Zauważalne ilości gazu (metanu) pojawiają się w płucze dopiero na głębokości ok. 580 m, a pierwsze niewielkie maksimum (0,012% CH₄) związane z pokładem węgla występuje na głębokości 588 m. Najwyższe maksima wyznaczają najbardziej gazonośne i miąższe pokłady węgla – pokład 510 i 501 (2,98% CH₄) oraz pokład 416 (1,5% CH₄). Porównując przebieg krzywej metanowej i gazoność na podstawie testów desorpcji rdzenia, obserwujemy dobrą korelację pomiędzy maksimami CH₄ w płucze a zawartością gazu desorbowanego (desorbowany + tracony) dla gazonośnych pokładów węgla (fig. 37).

Tabela 48

Istotne parametry złożowe obliczone na podstawie izotermy sorpcji dla wybranych pokładów węgla z otworu Wesoła PIG 1

Critical reservoir parameters calculated based on sorption isotherms for selected coal seams in the Wesoła PIG 1 borehole

Pokład węgla Coal seam	Głębokość Depth [m]		Pojemność sorpcyjna Sorption capacity (Vs) [m ³ /t (<i>in situ</i>)]	Ciśnienie złożowe Reservoir pressure [MPa]	Zawartość gazu Gas content [m ³ /t (<i>in situ</i>)]	Krytyczne ciśnienie desorpcji Critical desorption pressure [MPa]	Nasycenie metanem Methane saturation [%]	Resztkowa zawartość gazu (przy ciśnieniu 0,7 MPa) Residual gas content (at 0,7 MPa) [m ³ /t]
	od from	do to						
404/5	752,55	756,60	10,96	7,4	2,62	0,6	24	2,8
416	889,9	892,95	14,27	8,7	7,10	1,7	50	3,6
501	962,05	965,70	14,37	9,5	8,77	2,5	61	3,7
510	966,05	977,10	14,14	9,6	8,52	2,5	60	3,5

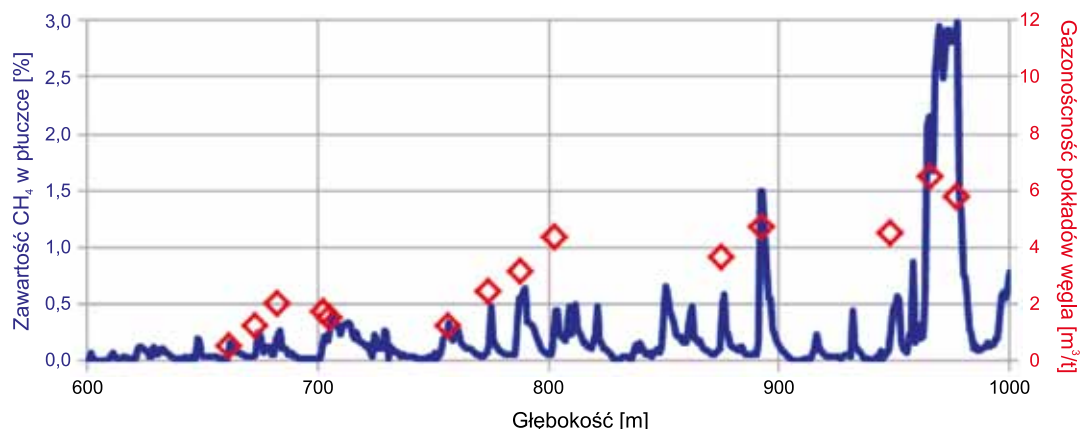


Fig. 37. Wykres zawartości metanu w płuczce (krzywa niebieska) i desorbowalnej zawartości gazu w pokładach węgla z testów desorpcji rdzeni (punkty czerwone) w zależności od głębokości

Methane content of drilling mud (blue curve) and desorbable gas content of coal seams from core desorption tests (red points) against depth

PODSUMOWANIE

W otworze wiertniczym Wesoła PIG 1 przeprowadzono następujące badania gazowe:

- zawartości i jakości gazu w próbkach węgla metodą swobodnej degazacji (desorpcja metodą USBM) – 31 oznaczeń z 14 pokładów węgla;
- badania zawartości metanu w pokładach węgla metodą degazacji próżniowej w próbkach węgla – 42 oznaczenia z 14 pokładów węgla;
- badania pojemności sorpcyjnej węgla względem metanu (izotermy Langmuira) – 5 oznaczeń z 4 pokładów węgla;
- ciągły pomiar zawartości węglowodorów w płuczce wiertniczej w czasie wiercenia.

Zawartość metanu w pokładach węgla, stopień zagrożenia metanowego, a także możliwości odmetanowania otworami z powierzchni wiążą się z głębokością zalegania pokładów węgla. Badania gazowe rdzeni oraz ciągła rejestracja zawartości węglowodorów w płuczce umożliwiają wyróżnienie 3 stref: do głębokości ok. 580 m występują pokłady niemetanowe, w interwale 580–760 m – pokłady nisko- i średniometanowe, a poniżej 760 m – pokłady wysokometanowe. W pionowym profilu gazonośności zaznacza się gwałtowny (niemal dwukrotny) wzrost gazonośności w przedziale głębokości od 770 do 780 m, który manifestuje przejście do pokładów silnie metanowych. W strefie pokładów wysokometanowych znajduje się 8 pokładów węgla (o grubości powyżej 1 m), a zawartość gazu całkowitego osiąga maksymalne wartości w najgłębiej zalegających pokładach 501 i 510 (odpowiednio 8,6 i 8,8 m³/t).

Przeprowadzona analiza porównawcza z otworami archiwalnymi Gilowice-1 i WP-TXA wskazuje, że gazonośne pokłady węgla w otworze Wesoła PIG 1 charakteryzują się względnie niską zawartością gazu desorbowalnego, bardzo wysoką zawartością i udziałem gazu resztkowego oraz niską dyfuzyjnością. Świadczy to o dużym stopniu odgazo-

wania złoża metanu z pokładów węgla w rejonie Wesołej. Prawdopodobne jest, że po części jest ono wynikiem oddziaływania rozległego leja depresji wytworzonego w wyniku długotrwałej eksploatacji górniczej węgla przez kopalnię „Mysłowice–Wesoła”.

Jednym z zadań przeprowadzonych badań gazowych była także weryfikacja metody degazacji próżniowej, stosowanej w profilaktyce zagrożeń metanowych i dokumentowaniu złóż metanu z pokładów węgla, zwłaszcza jako kopaliny towarzyszącej złożom węgla. Porównanie wyników pomiarów metanonośności metodą jednofazowej degazacji próżniowej z pomiarami zawartości gazu metodą USBM, wskazuje na znaczne różnice, które mają charakter systematyczny i mogłoby wskazywać na trudne do wytłumaczenia zaniżanie metanonośności oznaczanej metodą jednofazowej degazacji próżniowej w granicach ok. 10–20% dla pokładów silnie metanowych.

Charakterystykę chemizmu gazu przeprowadzono wyłącznie na podstawie badań składu chemicznego gazu z desorpcji, który jest na ogół bardzo zbliżony do składu gazu podczas jego eksploatacji otworowej. Według przeprowadzonych badań, gaz z pokładów węgla otworu Wesoła PIG 1 jest gazem wysokometanowym, o zawartości 95,5–99,2% metanu i 0,03–0,15% etanu, w bardzo nieznacznym stopniu zanieczyszczonym innymi składnikami (0,7–2,5% dwutlenku węgla i 0,1–2,2% azotu).

Skład chemiczny gazu ujawnia związek z głębokością. Bardzo wysoka zawartość metanu (powyżej 99%) oraz wysoki współczynnik suchości gazu płytszych (poniżej 760 m) i jednocześnie słabiej metanowych pokładów węgla (poniżej 4,5 m³/t_{csw}), może oznaczać stosunkowo duży udział gazu pochodzenia bakteryjnego w tych pokładach.

Należy także zaznaczyć, że ekstremalnie wysoka zawartość metanu i śladowe ilości azotu w stosunkowo płyt-

ko zalegających pokładach węgla zaprzeczają rzekomemu istnieniu zwiększonych zawartości azotu, określanych na podstawie badań metodą degazacji próżniowej, co prowadziło do wyróżniania strefy azotowo-metanowej w dokumentacjach złóż węgla.

Badania wskazują jednoznacznie, że gaz z otworu Wesoła PIG 1 pod względem składu chemicznego jest bardzo wysokiej jakości i możliwy jest dla niego w zasadzie dowolny kierunek zagospodarowania.

Ważną rolę w badaniach gazowych odegrało oznaczenie pojemności sorpcyjnej węgla dla metanu, które umożliwia obliczenie istotnych wskaźników produktywności złoża metanu z pokładów węgla. Nasycenie węgla metanem wynosi od 24 do 60%, a krytyczne ciśnienie desorpcji od 0,6 do 2,5 MPa, co przekłada się na obniżenie pierwotnego

ciśnienia złożowego o ok. 7 MPa, aby uzyskać produkcję gazu otworami wiertniczymi. Obliczona na podstawie izotermy sorpcji resztkowa zawartość gazu (przy końcowym ciśnieniu eksploatacji 0,7 MPa) wskazuje na uzyskanie współczynnika szczypania pierwotnych całkowitych zasobów metanu w granicach od 49 do 59% dla pokładów silnie gazonośnych. Natomiast w pokładach płytszych, słabiej metanowych (zalegających poniżej 760 m), zawartość gazu resztkowego jest na tyle niska, że uniemożliwia prowadzenie przemysłowej eksploatacji metanu z tych pokładów.

W świetle powyższych rozważań, odnosząc się do wyników zawartości gazu w pokładach węgla otworu Wesoła PIG 1, można stwierdzić, że tylko pokłady silnie gazonośne w interwale od 760 do 1000 m są perspektywiczne pod kątem odmetanowania otworami z powierzchni.