

Pomiary ciśnienia metanu w pokładach węgla kamiennego w GZW mierzone metodą bezpośrednią

Methane pressure in coal seams of the USCZB measured by direct method



Dr hab. inż. Mirosław Wierzbicki *)



Dr inż. Norbert Skoczylas*)



Dr inż. Mateusz Kudasik *)

Treść: Ciśnienie złożowe metanu w porach i szczelinach pokładów węgla kamiennego jest podstawowym czynnikiem determinującym stan zagrożeń zjawiskami gazodynamicznymi. Ze względu na problemy metrologiczne, jego pomiary wykonywane są stosunkowo rzadko. Autorzy opracowania skonstruowali sondy ciśnieniowe oraz wykonali liczną serię pomiarów ciśnienia złożowego w kopalniach GZW. Zmierzone ciśnienia złożowe mieściły się w przedziale 1,2÷12,3 bar. Także na krótkich otworach badawczych o długości 2 metry zarejestrowano ciśnienia zbliżone do 10 bar. Wyniki pomiarów ciśnienia złożowego potwierdziły, że pomiędzy poszczególnymi kopalniami występują istotne różnice średnich wartości mierzonych ciśnień.

Abstract: The coal seam methane pressure in pores and cracks of coal beds is a basic factor determining the level of risk of gaso-geodynamic phenomena. Due to some metrological problems, this parameter is not measured frequently. The authors of the paper constructed their own pressure probes and performed a series of multiple measurements of the coal seam methane pressure in the mines of the Upper Silesian Coal Basin. The measured values fell within the range of 1.2-12.3 bar. The values of ca. 10 bar were also registered in the shortest (2 m) test boreholes. At this point, it needs to be stated that there are considerable differences between mean pressure values measured in particular mining facilities.

Słowa kluczowe:

ciśnienie złożowe metanu, sonda ciśnieniowa, metan, wyrzuty metanu i skał

Key words:

coal seam methane pressure, pressure probe, methane, methane and rock outburst

1. Wprowadzenie

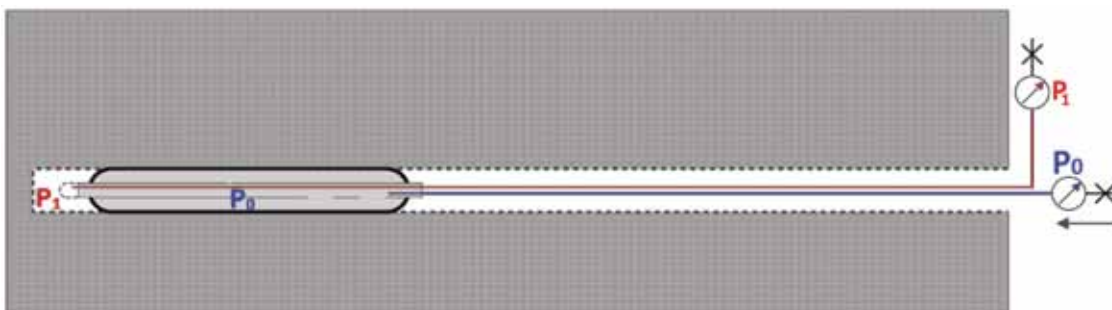
Obok metanonośności i intensywności desorpcji metanu, ciśnienie złożowe metanu jest jednym z najważniejszych parametrów dla oceny zagrożenia metanowego oraz wyrzutowego w kopalniach węgla kamiennego [11, 4, 6, 2]. Jego znajomość jest „brakującym ogniwiem” w opisie układu węgiel-gaz [12, 8, 10]. Mierzalna jest całkowita zawartość metanu pochodzenia naturalnego w węglu, temperatura pierwotna w pokładzie, porowatość węgla, ponadto wyznaczane są izotermy sorpcji. Znajomość tych parametrów może posłużyć do wzajemnej weryfikacji ich wartości [1]. Bezpośrednie pomiary ciśnienia złożowego gazu są niezwykle trudne do wykonania, jednakże możliwe. Ciśnienie metanu w górotworze, w otoczeniu wyrobiska zależne jest od wielu czynników takich jak metanonośność, przepuszczalność złoża, sposób urabiania węgla oraz

postęp wyrobiska. Ważnym parametrem w ocenie zagrożenia wyrzutami metanu i skał jest określenie miejsca występowania strefy odgazowania względem przodka chodnika oraz wartości ciśnienia w tym miejscu [9]. Doświadczenia praktyczne pokazują, że strefa odgazowania może występować w odległości około 2÷3 m od czoła chodnika. Opracowanie sondy do wykonywania pomiarów ciśnienia metanu w górotworze jest bardzo istotne w kontekście prawidłowej oceny występującego zagrożenia wyrzutami metanu i skał.

2. Sonda pomiarowa

W przeszłości autorzy artykułu podejmowali próby pomiarów ciśnienia złożowego za pomocą własnych rozwiązań technicznych. Doświadczenia zdobyte w tym czasie pomogły opracować unikatową sondę pomiarową, pozwalającą na szybki i dokładny pomiar wartości ciśnienia gazu w górotworze, w szczególności przed czołem drażnionych wyrobisk

*) Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk



Rys. 1. Schemat ideowy pomiaru ciśnienia złożowego sondą „IMG-CZ”

Fig. 1. Schematic diagram of methane pressure measurement using „IMG-CZ” probe

chodnikowych. Zaproponowana przez autorów koncepcja budowy sondy do pomiaru ciśnienia złożowego zakłada zastosowanie długiego płaszczu gumowego rozprężającego się pod wpływem wtłaczania gazu do jego wnętrza pod ciśnieniem P_0 (rys.1). Zapewnia to równomierny docisk płaszczu do ścianek otworu na całej długości gumowego płaszczu sondy. Cecha ta jest bardzo ważna, gdyż ścianki na obrysie otworów wiertniczych, w których osadzana jest sonda, mają zwykle nieregularną powierzchnię, z licznymi szczelinami i pęknięciami w sąsiedztwie otworu.

Mierzone jest ciśnienie P_1 gazu wypełniającego odcinek otworu pomiędzy dnem otworu a uszczelnieniem gumowym płaszczem. Ciśnienie to przekazywane jest poprzez osiową rurę konstrukcyjną sondy do przewodu pneumatycznego zakończonego przetwornikiem ciśnienia. Ciśnienie uszczelniania P_0 musi być wyższe od wartości ciśnienia mierzonego. Założenia konstrukcyjne sondy, wyróżniające ją w stosunku do wcześniejszych rozwiązań to przede wszystkim:

- duża długość (1 m) i elastyczność użytego gumowego odcinka uszczelniającego sondy, zapewniające większą skuteczność uszczelnienia sondy względem otworu,
- możliwość mierzenia ciśnienia P_0 pod płaszczem uszczelniającym sondy (pewność, iż ciśnienie uszczelniania jest znacznie wyższe od ciśnienia aktualnie mierzonego),
- możliwość pomiaru w otworach o głębokości do kilkudziesięciu metrów,
- możliwość pomiaru ciśnień złożowych gazu do około 20 bar.

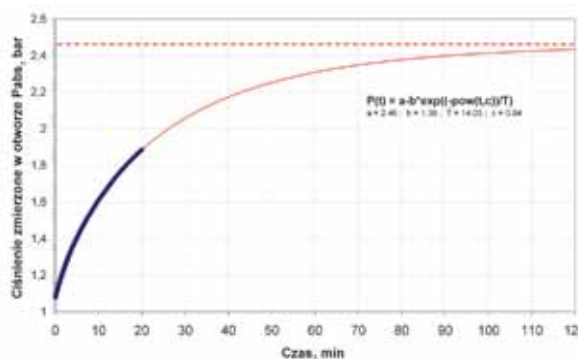
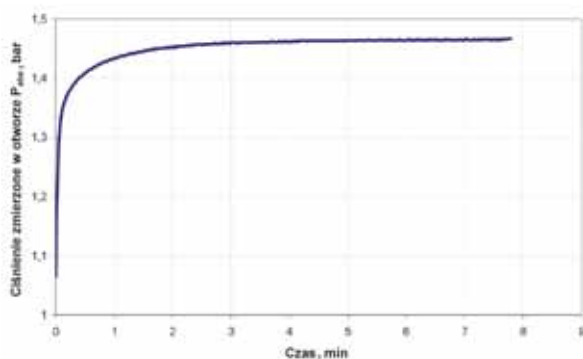
Ze względów praktycznych zadbano, by sonda była lekka oraz łatwa do transportu i montażu w miejscu pomiaru. Niezwykle istotna jest akwizycja danych pomiarowych zarejestrowanych za pomocą sondy oraz ciągła rejestracja pomiarów, dzięki czemu analizie może podlegać nie tylko sama wartość zmierzonego ciśnienia złożowego, ale także wiele parametrów związanych z jego czasowymi zmianami. Szczegółowy opis konstrukcji sondy znajduje się w pracy [3].

3. Miejsce i metodyka prowadzenia pomiarów

Badania prowadzone były w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wybrane zostały kopalnie prowadzące roboty górnicze w pokładach o wysokiej metanonośności, w których występowały, bądź występuje zagrożenie wyrzutami gazów i skał: KWK „Brzeszcze”, KWK „Knrów-Szczygłowice, KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” - Ruch Zofiówka, KWK „Pniówek” oraz KWK „Mysłowice-Wesoła”. W dalszej części artykułu, ze względu na poufność danych pozyskanych przy współpracy z tymi kopalniami, omawiane wyniki będą odnoszone do symbolicznych nazw literowych: kopalnie A-E. Pomiar rozpoczynał się bezpośrednio po wywierceniu otworu badawczego. W każdym z badanych wyrobisk chodnikowych wykonywane były dwa otwory, jeden w osi wyrobiska, drugi pod kątem około 45° od osi w kierunku ociosu. Następnie w otworze, na badanej głębokości umieszczana była sonda pomiarowa. Czoło sondy powinno być odsunięte względem końca otworu o minimum 0,1 metra.

Sam pomiar rozpoczynał się w momencie zadania ciśnienia do płaszczu uszczelniającego. W tym celu wykorzystana została pompka ręczna pozwalająca na sprężenie powietrza do około 20 bar. Wstępne testy wykazały, iż wartość ciśnienia rejestrowanego jest prawidłowa, gdy ciśnienie uszczelniające jest wyższe od mierzonego przynajmniej o 1,5 bar. Narastanie ciśnienia rejestrowanego przez sondę pomiarową jest zbliżone do krzywej wykładniczej. Czas potrzebny na osiągnięcie wartości zbliżonej do asymptotycznej był różny w zależności od wyrobiska (rys. 2), przy czym w skrajnych przypadkach zmieniał się od kilku, do kilkuset minut.

W większości pomiarów wartość ciśnienia mierzonego stabilizowała się po kilkunastu minutach. Czas takiego pomiaru w praktyce nie przekraczał czasu niezbędnego przy prowadzeniu rutynowych badań wskaźnika intensywności desorpcji. Prace pomiarowe prowadzone były w drażnionych wyrobiskach usytuowanych poza strefą odprężenia oraz od-



Rys. 2. Przykładowe kinetyki narastania ciśnienia w otworze badawczym

Fig. 2. Examples of pressure build up in the test hole

gazowania. Jeśli osiągnięcie wartości asymptotycznej trwało długo pomiar przerywany był po kilkudziesięciu minutach, a wartość asymptotyczna określana była na drodze ekstrapolacji zarejestrowanego przebiegu.

Poszukiwanie zależności funkcyjnej poprawnie ekstrapolującej rzeczywisty pomiar zmian rejestrowanego ciśnienia w czasie skupił się w obszarze funkcji wykorzystywanych w opisie procesów emisji metanu z ziarnistych próbek węgla. Zaobserwowano, iż funkcja

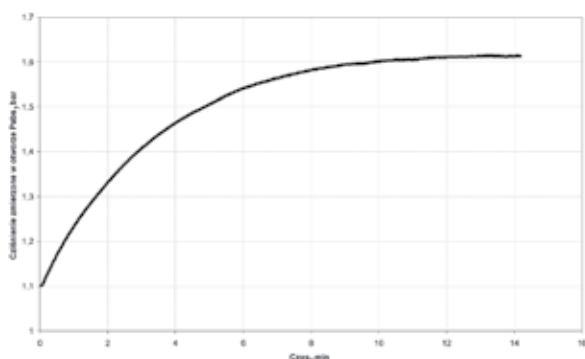
$$m(t) = A + B \cdot e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^c},$$

zwana formułą Aireya, pierwotnie stosowana do fenomenologicznego opisu dyfuzji gazów w ziarnach węgla bardzo dobrze przybliża czasowe zmiany rejestrowanego przez sondę ciśnienia.

4. Wyniki pomiarów

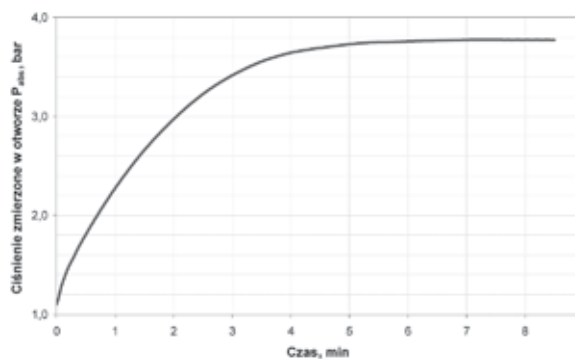
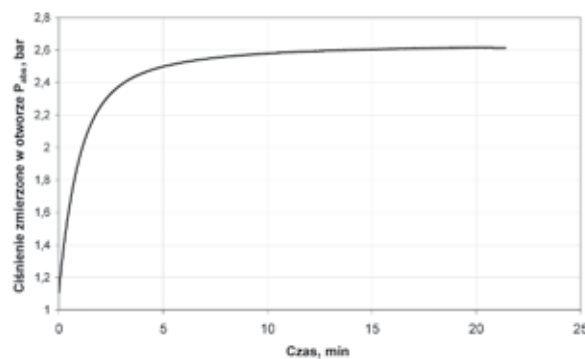
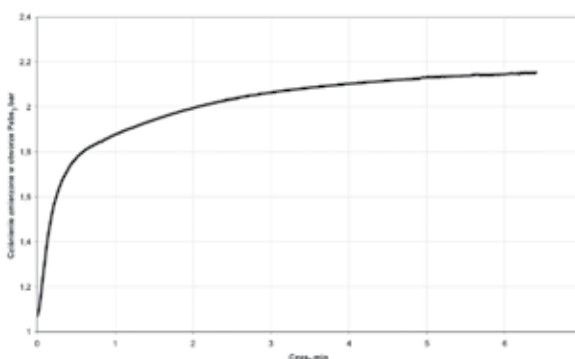
Łącznie wykonano 34 pomiary wartości ciśnienia złożowego w pięciu kopalniach. Na rysunkach 3÷5 pokazano przykładowe czasowe zmiany rejestrowanego ciśnienia przez sondy umieszczone w otworach. Dobór prezentowanych charakterystyk przebiegów wzrostu ciśnienia miał na celu zobrazowanie różnorodności zarówno mierzonych wartości asymptotycznych ciśnień, jak i kinetyk ich narastania (rys. 3, rys. 4, rys. 5). Zarówno na wykresach, jak i w tabeli prezentowane są bezwzględne wartości ciśnień – punktem odniesienia jest więc wartość około 1.1 bar.

Pełne zestawienie zmierzonych wartości ciśnień znajduje się w tabelicy 1.



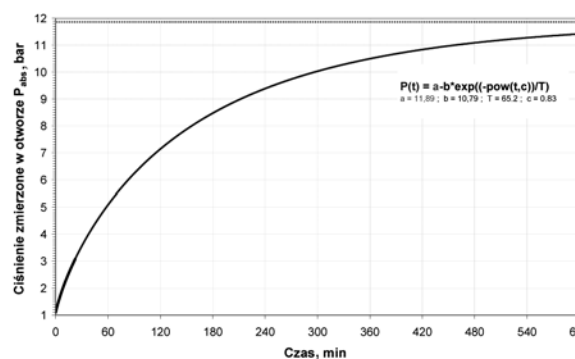
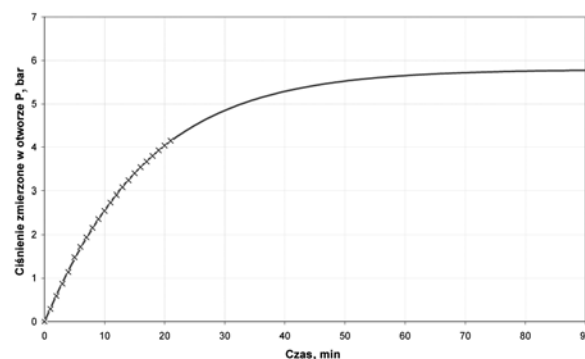
Rys. 3. Przykładowe kinetyki narastania ciśnienia w otworze badawczym – niskie wartości ciśnień, szybkie czasy narastania

Fig. 3. Examples of pressure build up in the test hole – low pressures, fast rise time



Rys. 4. Przykładowe kinetyki narastania ciśnienia w otworze badawczym – średnie wartości ciśnień, średnie i szybkie czasy narastania

Fig. 4. Examples of pressure build up in the test hole – average pressure values, average and fast rise times



Rys. 5. Przykładowe kinetyki narastania ciśnienia w otworze badawczym – wysokie wartości ciśnień, wolne czasy narastania

Fig. 5. Examples of pressure build up in the test hole – high pressure values, free rise times

Tablica 1. Zestawienie zmierzonych wartości ciśnień oraz średnich wartości dla poszczególnych ciśnień
Table 1. List of the measured pressure values and mean values for each pressure

Lp.	Kopalnia	Głębokość otworu m	P_{\max} (abs.) bar	$P_{\text{średnie}}$ (abs.), bar	P_{mediana} (abs.), bar	Zwężość f []
1	A	2	9,8	3,3	1,9	0,75
2		4	1,9			0,75
3		3	5,2			0,75
4		3	1,3			0,82
5		6	2,2			0,82
6		3	1,2			1,73
7		4	1,2			1,73
8	B	4	1,9	1,6	1,5	0,88
9		6	1,4			0,88
10		4	1,7			0,88
11		3	1,5			0,88
12		3	1,2			0,88
13		6	1,6			0,88
14		3	1,4			0,88
15		6	2,5			0,88
16	C	3	2,3	4,6	2,6	0,53
17		6	2,6			0,53
18		6	2,3			0,53
19		4	11,9			0,46
20		3	3,8			0,46
21	D	3	3,8	2,7	-	0,32
22		6	1,5			0,32
23	E	3	4,2	6,7	5,9	0,42
24		3	5,8			0,42
25		3	8,4			0,44
26		3	4,6			0,43
27		3	8,3			0,44
28		3	12,3			0,48
29		3	4,7			0,48
30		3	8,6			0,47
31		3	5,5			0,47
32		3	5,2			0,44
33		3	6,6			0,45
34		3	6,0			0,4

Prócz zarejestrowanych wartości, w tablicy 1 zestawiono średnie oraz mediany wartości ciśnień dla poszczególnych kopalń A÷E. Zarejestrowane wartości ciśnień mieściły się w szerokim przedziale od 1,2 bar, do 12,3 bar. Średnie wartości ciśnień dla poszczególnych kopalń wynosiły: 3,3, 1,6, 4,6, 2,7 oraz 6,7 bar. Wartości te wzajemnie różnią się znacznie i z całą pewnością stanowią odzwierciedlenie poziomu zagrożenia wyrzutowego i metanowego w poszczególnych kopalniach [7, 6]. Najbardziej niebezpieczne wydają się wartości znacznie przekraczające średnie ciśnienie złożowe w poszczególnych kopalniach. Przykładowo w kopalni A, przy średniej wartości ciśnień na poziomie 3,3 bar (mediana 1,9 bar) jeden z pomiarów dał wartość zbliżoną do 10 bar, natomiast w kopalni C, przy średniej wartości zmierzonych ciśnień na poziomie 4,6 bar (mediana 2,6 bar) występował pomiar zbliżony do 12 bar. Głębokość obsadzenia sondy w otworach badawczych zmieniała się od 2 do 6 m. Najwyższe rejestrowane wartości ciśnień mierzone były w otworach o głębokości 2÷4 metrów.

5. Wnioski

Przeprowadzone zostały szerokie badania wartości ciśnień złożowych w kopalniach GZW. Badania prowadzone były metodą bezpośrednią, za pomocą autorskich sond ciśnieniowych umieszczanych w otworach badawczych. Zgodnie z intuicją czasowe zmiany ciśnienia w otworze, po umieszczeniu w nim sondy pomiarowej, jak i utrzymywanie się asymptotycznej wartości ciśnienia, także w przypadku zwiększenia wartości ciśnienia w płaszczu uszczelniającym sondy wskazują na poprawność metody pomiarowej. Badania przeprowadzone były w kopalniach, w których roboty górnicze prowadzone są w pokładach o wysokiej metanonośności kształtującej zagrożenie metanowe oraz wyrzutami metanu i skał. Na podstawie 34 przeprowadzonych pomiarów można przedstawić następujące wnioski:

- zmierzone ciśnienia metanu w węglu mieściły się w przedziale 1,2 ÷ 12,3 bar,

- średnie wartości zmierzonych ciśnień w poszczególnych kopalniach różnią się ponad 3-krotnie,
- w obrębie poszczególnych kopalń sporadycznie występowały wartości ciśnień znacznie przekraczające wartości średnie – w opinii autorów były to miejsca znacznego wzrostu stanu zagrożenia wyrzutowego i metanowego,
- średni czas osiągnięcia asymptotycznej wartości mierzonego ciśnienia zmieniał się od kilku minut, do kilku godzin,
- bardzo wysokie wartości ciśnień rejestrowane na 2 metrze otworów badawczych świadczą o szczelności sondy oraz dużym potencjale gazu zgromadzonego w bliskiej odległości od czoła wyrobiska.

W opinii autorów pomiary wartości ciśnienia złożowego pomimo iż stanowią duże wyzwanie metrologiczne powinny stanowić uzupełnienie mierzonych parametrów dla oceny stanu zagrożenia zjawiskami gazodynamicznymi i gazo-geodynamicznymi.

Literatura

- 1 Dutka B., Walaszczyk J., Wierzbicki M.: Określenie ciśnienia złożowego metanu na podstawie pomiarów metanonośności oraz badań sorpcyjnych węgla na przykładzie KWK „Krupiński”. *Górnictwo i Geoinżynieria* rok 33 zeszyt 1, 2009, s.145÷152.
- 2 Hudeček V., Zapletal P., Stoniš M., Sojka R.: Results from Dealing with Rock and Gas Outburst Prevention in The Czech Republic, *Archives of Mining Sciences*, Volume 58, Issue 3, pp.779÷787, 2013
- 3 Kudasik M., Skoczylas N., Topolnicki J., Wierzbicki M.: Sonda IMG-CZ do pomiaru ciśnienia złożowego gazu w górotworze, XVII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna 2-5 listopada 2010, *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*; Nr 4/3/10202010
- 4 Skoczylas N.: Coal seam methane pressure as a parameter determining the level of the outburst risk – laboratory and in situ research, *Archives of Mining Sciences*, 2012a
- 5 Skoczylas N.: Estimating gas and rock outburst risk on the basis of knowledge and experience - the expert system based on fuzzy logic. *Arch. Min. Scs* (59). 2014
- 6 Skoczylas N.: Wierzbicki M., The Outburst Risk as a Function of the Methane Capacity and Firmness of a Coal Seam, *Arch. Min. Sc. , Vol. 59, Issue 4*, 2014
- 7 Skoczylas N.: Laboratory study of the phenomenon of methane and coal outburst, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 55(2012b)102÷107
- 8 Wierzbicki M.: Changes in the sorption/diffusion kinetics of a coal-methane system caused by different temperatures and pressures, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, Tom 29 2013b Zeszyt 4
- 9 Wierzbicki M.: Ciśnienie metanu przed czołem wyrobiska górniczego, na przykładzie pomiarów wykonywanych w pokładzie zagrożonym występowaniem wyrzutów metanu i skał, *Górnictwo i Geoinżynieria*, Zeszyt 2, 2011
- 10 Wierzbicki M.: Gas and coal outbursts in Polish mines - causes and assessing methods, *Journal of Coal Science & Engineering (China)* DOI 10.1007/s12404-009-0000-0 pp 100-103, Vol.12 No.2 Dec. 2011a
- 11 Wierzbicki M., Skoczylas N.: Evaluation and management of the gas and rock outburst hazard in the light of international legal regulations, *Arch. Min. Sc. , Vol. 59, Issue 4*, 2014
- 12 Wierzbicki M.: The effect of temperature on the sorption properties of coal from Upper Silesian coal basin, Poland, *Arch. Min. Sci.*, Vol. 58 (2013a), No 4, p. 1163÷1176