

Analogowy Rejestrator Emisji Metanu AREM - testy kopalniane

Analogue Methane Emission Recorder AMER – mining tests



Dr inż. Norbert Skoczylas^{)}*



Dr inż. Mateusz Kudasik^{)}*



Dr hab. inż. Mirosław Wierzbicki^{)}*



Mgr inż. Tomasz Murzyn^{)}*

Treść: Opracowany został Analogowy Rejestrator Emisji Metanu AREM. Przyrząd pozwala na wyznaczenie desorbowalnej zawartości metanu w węglu oraz współczynnika dyfuzji. Urządzenie zostało zoptymalizowane pod kątem pracy w warunkach kopalnianych. Wprowadzone zostały poprawki względem prototypu poprawiające niezawodność i łatwość użytkowania. Urządzenie wyposażone zostało w zestaw sit. Opracowana została metodyka pomiarowa. Przeprowadzono testy kopalniane. Wyniki pochodzące z prezentowanego urządzenia wskazują dużą zbieżność z pomiarami przeprowadzonymi metodami stosowanymi obecnie w górnictwie.

Abstract: Analogue Methane Emission Recorder (AREM) has been developed. The device allows to determine the desorbable methane content of coal and the diffusion coefficient. AREM has been optimized to work in coal mines. Adjustments have been made to improve the reliability and usability of this prototype. The device is equipped with a set of sieves. Measurement methodology has been developed. Mining tests were carried out. The results obtained from the presented device show high similarity to the measurements made by methods currently used in the mining industry.

Słowa kluczowe:

metanonośność, współczynnik dyfuzji, wkład węgiel-gaz, desorpcja, metan

Keywords:

methane content, diffusion coefficient, coal-gas system, desorption, methane

^{*)} Wyższy Urząd Górniczy w Katowicach

1. Wprowadzenie

Metan występujący w pokładach węgla kamiennego generuje ogromne trudności w trakcie prowadzenia robót górniczych. Odpowiednia profilaktyka oraz dobre planowanie prac skutecznie obniżają stan zagrożenia. Czynności te wymagają jednak systematycznych i rzetelnych pomiarów parametrów układu węgiel-metan. W szczególności informacje dotyczące zawartości metanu w pokładzie oraz tempa jego emisji z węgla są kluczowe w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa.

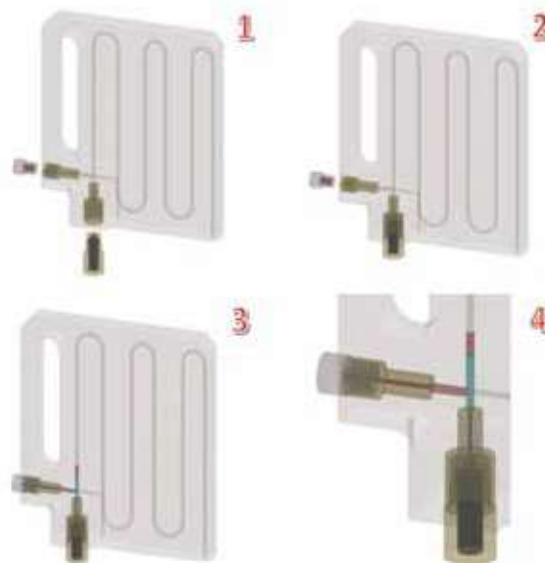
Metanonośność to niewątpliwie najistotniejszy wskaźnik stanu zagrożeniami metanowymi oraz wyrzutami metanu i skał. Metanonośność pokładu definiowana jest najczęściej jako objętościowa ilość CH_4 pochodzenia naturalnego, zawarta w jednostce wagowej w głębi calizny węglowej. Gazonośność jest jednym z najważniejszych parametrów decydujących o zagrożeniu wyrzutowym we wszystkich zagłębiach węglowych świata [13]. Często stanowi podstawę kategoryzacji zagrożenia wyrzutowego. Wartości kryterialne dla wybranych krajów kształtują się na poziomie $9\text{ m}^3/\text{Mgcsw} \pm 1\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$ [1; 7]: Australia – $9\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$, Bułgaria – $9\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$, Chiny – $10\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$, Ukraina – $8\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$, Węgry – $8\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$, Czechy – $9\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$. Praca Lamy [6] wskazuje, że wyrzuty występują w węglach o gazonośności przekraczającej $8\text{ m}^3/\text{Mgcsw}$.

Zawartość metanu w węglu szacowana jest często na podstawie metod desorbometrycznych. Niewątpliwie istnieje silna korelacja pomiędzy wskazaniami desorbometru a metanonośnością [3; 5], jednak należy pamiętać, iż tradycyjne metody desorbometryczne zakładają obserwacje tylko krótkiego fragmentu emisji metanu z węgla. W rezultacie tak prowadzonej obserwacji otrzymujemy parametr, który zależy głównie od dwóch czynników – desorbowalnej zawartości metanu w węglu, która w istocie jest asymptotą przebiegu emisji metanu z węgla oraz współczynnika dyfuzji, którego przybliżeniem jest stała czasowa determinująca tempo emisji. Istnieje więc możliwość, iż badając węgiel o wysokiej zawartości metanu, lecz niskim współczynnikiem dyfuzji, otrzymamy umiarkowany wynik badań desorbometrycznych, słabo skorelowany z wysoką zawartością metanu.

2. Analogowy Rejestrator Emisji Metanu AREM – budowa i zasada działania

Prezentowane urządzenie pomiarowe, pomimo iż pozornie wydaje się zbliżone do desorbometru manometrycznego [15], prezentuje całkowicie odmienne podejście do prowadzonej obserwacji emisji gazu z próbki. W miejsce krótkich pomiarów, rejestrowany i analizowany jest praktycznie pełny proces uwalniania metanu z węgla. Możliwość taką daje zastosowanie niższej klasy ziarnowej niż obecnie wykorzystywana w ocenie metanonośności i intensywności desorpcji. Według wyliczeń teoretycznych, badań laboratoryjnych i testów kopalnianych, przy klasie ziarnowej rzędu 0.20-0.25 mm czas prowadzenia pomiaru wynosi około 1 doby. Dzięki ekstrapolacji przebiegu z wykorzystaniem modelu matematycznego procesu dyfuzji, przybliżone wyniki można poznać już po kilku godzinach.

W pracy [12] szczegółowo prezentowany był prototyp urządzenia AREM. Poniżej znajduje się krótka informacja opisująca cykl pracy urządzenia. Podstawowym elementem funkcjonalnym jest kanał pomiarowy rozgałęziony w swym początku, hermetycznie łączący się z pojemnikami na próbkę i ciecz znacznikową. Całość zatopiona jest w transparentnym tworzywie (1). Przesiany węgiel umieszczamy w dostarczonym pojemniku i zakręcamy go do urządzenia (2). Metan



Rys. 1. Cykl pracy przyrządu AREM
Fig. 1. Working cycle of the AMER device

transportowany jest wzdłuż kanału pomiarowego. Następnie wkręcamy przygotowany pojemnik z cieczą znacznikową (3), po czym jej około 2-centymetrowy fragment pojawia się w kanale pomiarowym. Emisja metanu powoduje transport fragmentu cieczy wzdłuż kanału pomiarowego. Podstawowe różnice pomiędzy urządzeniem AREM a desorbometrem manometrycznym DMC-2 polegają na:

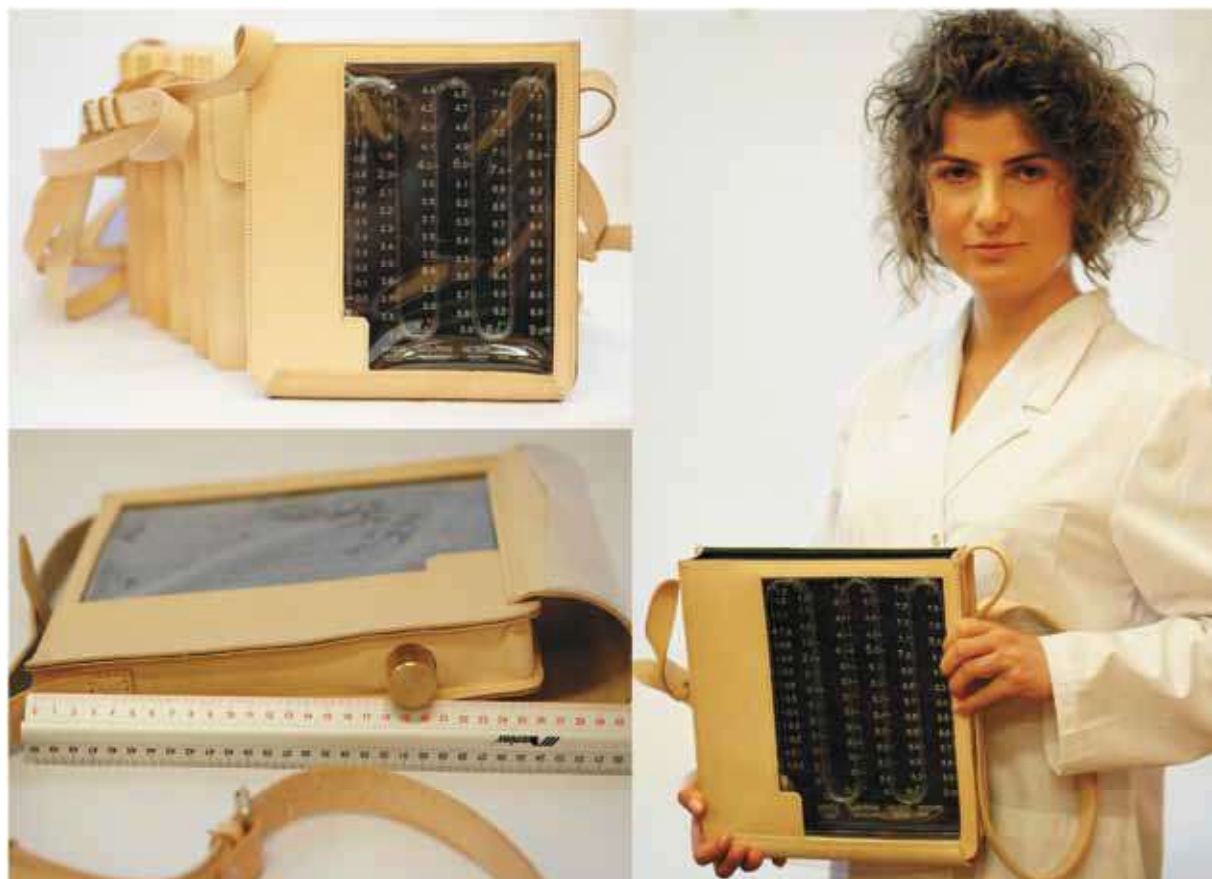
- obniżeniu badanej klasy ziarnowej do przedziału 0.20-0.25 mm,
- prowadzeniu pomiaru przez około dobę (w trakcie pomiaru obserwowany jest pełen proces uwalniania metanu, nie tylko jego niewielki wycinek),
- pomiar jest quasi-izobaryczny (mierzymy przemieszczenie niewielkiego odcinka cieczy w miejsce pomiaru nadciśnienia za pomocą U-rurki),
- bezpośrednimi wynikami pomiaru są rozłączne parametry: desorbowalna zawartość metanu w węglu oraz współczynnik dyfuzji – klasyczne metody desorbometryczne (np. DMC-2) pozwalają na ocenę jednego parametru, będącego pochodną zarówno zawartości metanu, jak i współczynnika dyfuzji.

3. Parametry i zdjęcia prototypów

Podstawowy element funkcjonalny Analogowego Rejestratora Emisji Metanu AREM – kanał pomiarowy wykonany ze szkła boro-krzemowego wraz z przyłączami służącymi do przymocowania pojemnika z cieczą znacznikową oraz pojemnika z próbką węgla zatopiony został w transparentnym tworzywie PMMA. Przyłącza oraz pojemniki wykonane są z mosiądzu. Całość zamknięta została w futerale skórzanym ułatwiającym transport i dodatkowo chroniącym urządzenie (rys. 2). Masa urządzenia wraz z futeralem to około 2.5 kg, natomiast wymiary urządzenia to $25 \times 28 \times 4\text{ cm}$.

W skład zestawu pomiarowego wchodzi także zintegrowany zestaw sit 0.20-0.25 mm. Węgiel o badanej klasie ziarnowej przesypywany jest do pojemnika pomiarowego za pomocą otworu w dolnym sicie (rys. 3). Sita transportowane są także w przystosowanym futerale skórzanym.

Najważniejsze problemy, jakie zaobserwowano we wczesnych testach urządzeń dotyczyły aplikowania cieczy znacznikowej do kanału pomiarowego oraz dzielenia się



Rys. 2. Prototyp urządzenia AREM przystosowany do pomiarów kopalnianych
Fig. 2. Prototype of the AMER device adapted to the mine measurements



Rys. 3. Zestaw sit, pojemnik na badany materiał węglowy, futerały skórzane dla sit i urządzenia
Fig. 3. Set of sieves, container for coal, leather cases for device and sieves

odcinka cieczy pomiarowej. Pierwszy problem rozwiązany został za pomocą jednorazowych pojemników z cieczą pomiarową (rys. 4), zaopatrzonych w uszczelkę silikonową z niewielkim, centrycznym otworem i gwint zewnętrzny (1). W trakcie wkręcania pojemnika do dedykowanego gniazda (2), uszczelka przemieszcza się wzdłuż pojemnika, wprowadzając za pośrednictwem centrycznej rurki z milimetrowym otworem wewnętrznym odpowiednią ilość cieczy (3).

Problemy związane z dzieleniem się odcinka cieczy pomiarowej w trakcie pomiaru rozwiązane zostały dzięki zmniejszeniu średnicy wewnętrznej kapilary pomiarowej do dwóch milimetrów. Należy jednak pamiętać, by ciecz znacznikowa była wolna od wszelkich osadów i substancji nierozpuszczalnych, natomiast urządzenie przed rozpoczęciem pomiarów

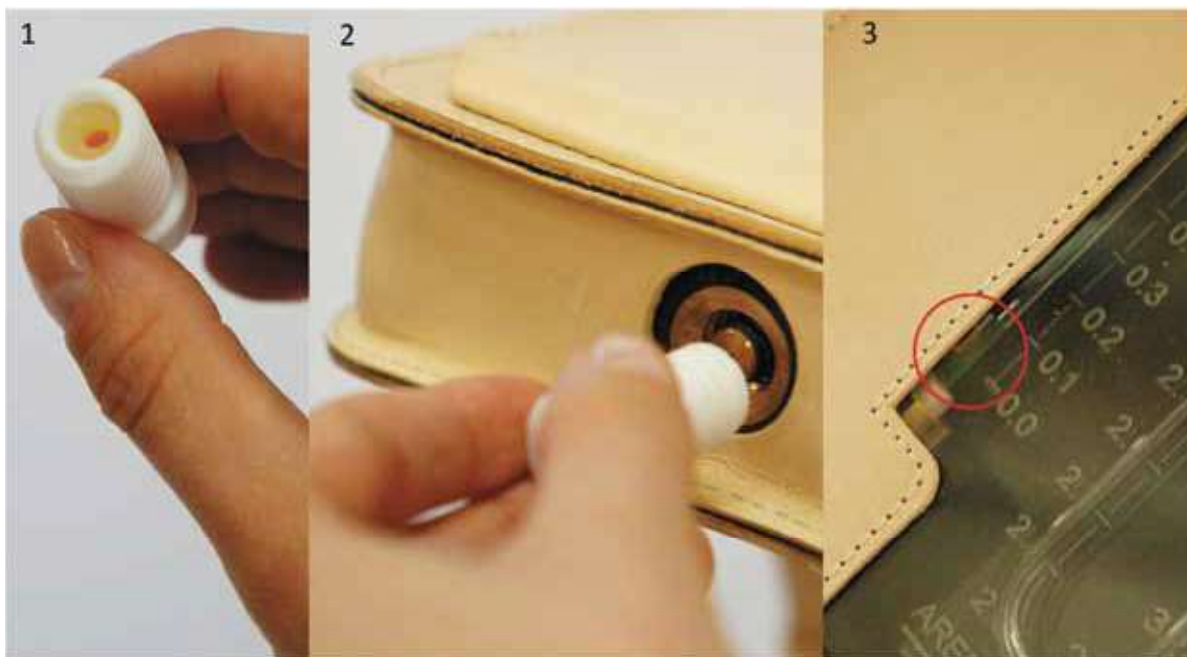
powinno być odpowiednio przygotowane, w szczególności w aspekcie czystości kanału pomiarowego.

4. Metodyka pomiarowa w warunkach kopalnianych

Całkowita zawartość gazu w pokładzie węgla, utożsamiana z metanonośnością, w warunkach stałej, znanej temperatury jest sumą gazu wolnego aw wypełniającego pory i szczeliny węgla oraz gazu w postaci zasorbowanej as :

$$Mn = aw + as \quad (1)$$

Zawartość gazu wolnego w węglu aw obliczyć można z równania



Rys. 4. Aplikowanie cieczy pomiarowej - pojemnik na ciecz znacznikową, ciecz znacznikowa w kanale pomiarow
 Fig. 4. Placing a container with measurement fluid, container with fluid, measurement fluid in the channel

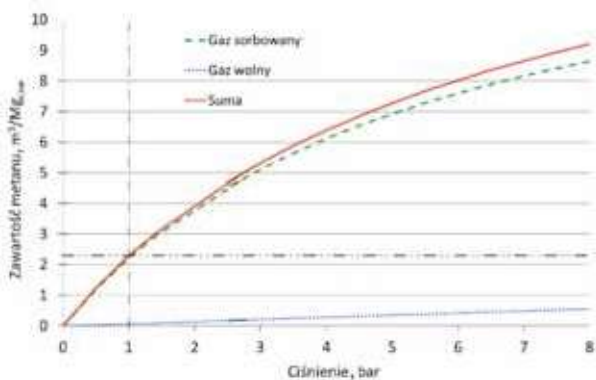
$$a_w = \frac{\Phi p}{\rho p_0} \frac{273}{T} \quad (2)$$

gdzie:

- Φ – porowatość [-],
- p – ciśnienie absolutne, Pa,
- p_0 – ciśnienie barometryczne, Pa,
- T – temperatura, K,
- ρ – gęstość węgla, Mg/m³.

Zawartość gazu wolnego determinowana jest porowatością węgla oraz wartością ciśnienia złożowego. Statystycznie porowatość węgla z GZW mieści się w przedziale 5%-10% [8], co przy mierzonych wartościach ciśnienia złożowego 0.2MPa-0.6MPa [14] daje ilość metanu [4] w przedziale (0.067-0.4), m³/Mg_{csww}, przy czym górna granica przedziału dotyczy węgla o najwyższej porowatości, przy najwyższym ciśnieniu złożowym.

Dla układu będącego w stanie równowagi, wielkość sorpcji (a_s) zależy od temperatury (T) oraz ciśnienia gazu p znajdującego się w fazie objętościowej: $a_s = f(p, T)$.

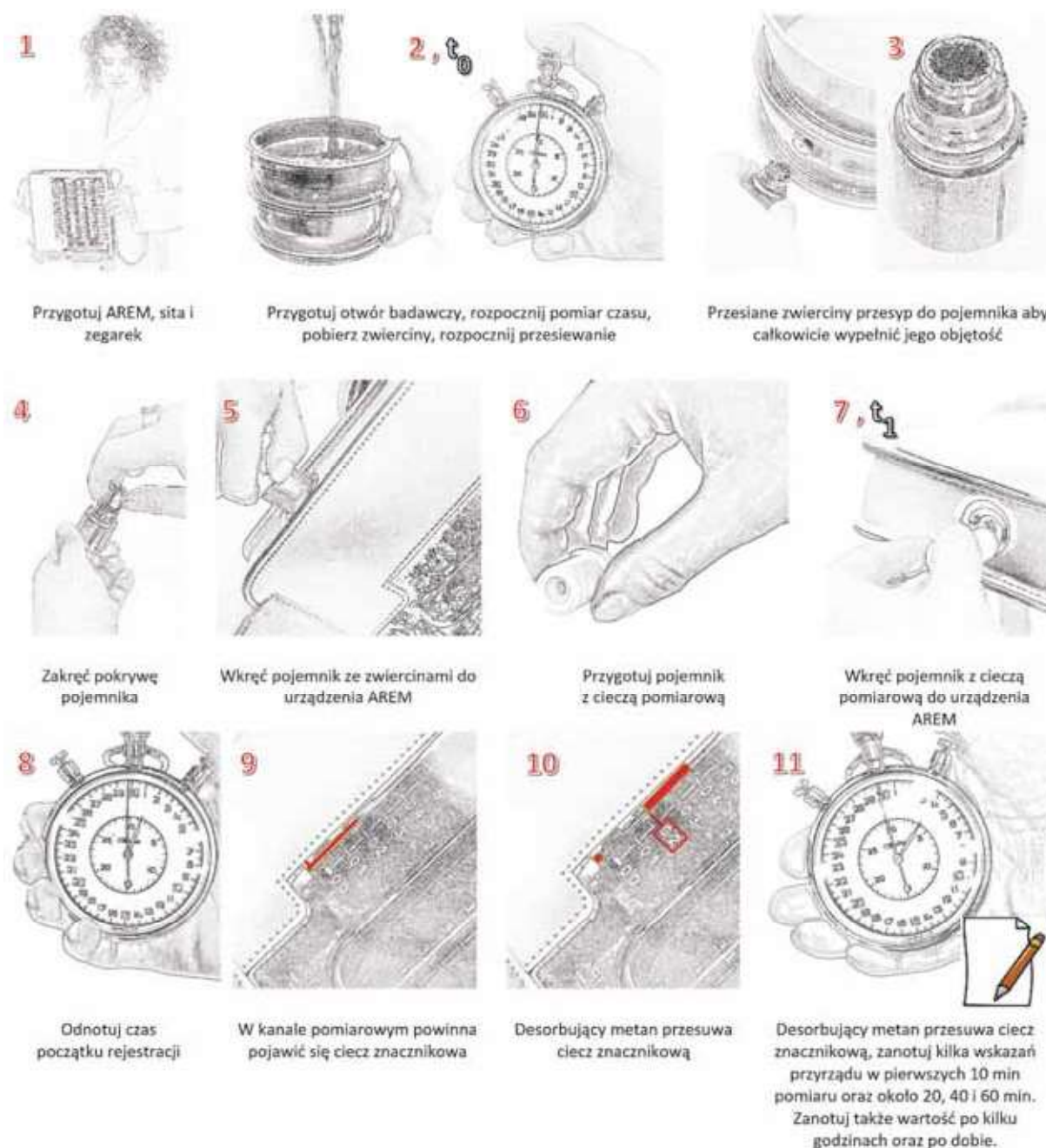


Rys. 5. Gaz wolny, gaz sorbowany oraz całkowita zawartość gazu w węglu

Fig. 5. Free gas, sorbed gas and total gas content in the coal

W stałej temperaturze układu węgiel-metan można wyznaczyć izotermę sorpcji: $a = f(p)$, $T = \text{const}$. Przykładową izotermę pokazano na rys. 5 – krzywa zielona. Sorpcję całkowitą (przy ciśnieniu p określić można jako sumę dwóch składników $a_s(p) = a_{1\text{bar}} + a_{des}$, gdzie: $a_{des} = [a(p) - a_{1\text{bar}}]$. Wartość sorpcji przy ciśnieniu barycznym 1 bar wyznaczana bywa w warunkach laboratoryjnych i dla założonej temperatury 40°C zawiera się w przedziale od ok. 1.8 m³/Mg_{csww} do ok. 2.3 m³/Mg_{csww}. Pozostała część gazu sorbowanego przez węgiel dla $p > 1\text{bar}$ nazywana bywa desorbowlaną zawartością metanu w węglu a_{des} . Można, więc przyjąć, że $Mn = a_{des} + a_w + a_{1\text{bar}} = a_{des} + 2.25 (+/-0.4)$ m³/Mg_{csww}. Rozumowanie to wskazuje, iż pomiar desorbowlanej zawartości metanu ma kluczowe znaczenie w ocenie wartości i zmienności metanonośności w pokładzie. Przykładowy udział gazu wolnego (prosta niebieska) oraz sorbowanego (krzywa zielona) w całości gazu zawartego (krzywa czerwona) w węglu pokazano na rys. 5.

Metodyka wykonywania pomiarów Analogowym Rejestratorem Emisji Metanu AREM przedstawiona została na rysunku 6. W pierwszym etapie (1) przygotowujemy urządzenie, otwierając pokrowiec zabezpieczający oraz sprawdzamy, czy kanał pomiarowy jest czysty, a pojemnik na próbkę pusty. Następnie wiercimy małośrednicowy otwór badawczy. Gdy koronka wiertła osiągnie żądaną głębokość rozpoczynamy pomiar czasu i pobieramy zwierciny (2). Zapisany czas określa początek emisji metanu z próbki węgla t_0 . Zwierciny przesiewane są za pomocą dostarczonych sit 0.20-0.25 mm. Po dokładnym przesianiu zwierciny przesypywane są do pojemnika na próbkę tak, by zajęły całą objętość (3). Następnie pojemnik na próbkę jest zamykany i wkręcany do urządzenia, względem którego jest hermetyzowany za pomocą o-ringa (5). Od tej chwili metan emitowany z próbki transportowany jest wzdłuż kanałów pomiarowych. Ostatnim etapem uruchamiania pomiaru jest wkręcenie do urządzenia dostarczonego pojemnika z cieczą znacznikową (6). W momencie gdy ciecz pojawi się w kanale pomiarowym (7) rozpoczyna się właściwa obserwacja emisji metanu z węgla. Należy odnotować czas (t_1) rozpoczęcia obserwacji (8). Metan opuszczający prób-



Rys. 6. Schemat wykonywania pomiaru urządzeniem AREM

Fig. 6. Scheme of measurement with the AMER device

kę węgla powoduje przemieszczanie się fragmentu cieczy znacznikowej (9, 10). Dynamika procesu jest najszybsza w pierwszej godzinie obserwacji. Należy odnotować czasy tn i odpowiadające im pozycje końca fragmentu cieczy znacznikowej (10) kilkakrotnie w trakcie pierwszych 10 minut od czasu t_0 oraz około 20, 40 i 60 minuty (11). Następnie należy odczytać wskazania przyrządu po dobie.

Pomiary początkowych wartości posłużą do kompensacji strat metanu (który opuścił próbkę pomiędzy rozpoczęciem wiercenia fragmentu otworu, z którego pobrane zostały zwierciny a rozpoczęciem obserwacji za pomocą urządzenia), natomiast pomiary wartości pośrednich pozwolą na określenie efektywnego współczynnika dyfuzji. Jeśli istotna jest dla nas tylko informacja o desorbowalnej zawartości metanu w węglu, zapisane powinny być pomiary do około 10 minuty, oraz wartość końcowa. Zarówno

kompensacja strat metanu, jak i określenie współczynnika dyfuzji wyliczone zostaną na bazie modelu emisji metanu z ziarnistych próbek węgla za pomocą dostarczonego oprogramowania.

5. Przykładowe wyniki badań kopalnianych

Przykładowe prezentowane wyniki uzyskane w warunkach kopalnianych pochodzą z jednego z chodników drażnionych w pokładzie 357/1KWK „Pniówek”. Otwór wykonany został w czole wyrobiska. Zwierciny pobrane zostały z odcinka 2.5-3.0 m. Odsiane zostały następujące klasy ziarnowe:

- 0.20-0.25 mm do badań Analogowym Rejestratorem Emisji Metanu AREM,
- 0.5-1.0 mm do badań desorbometrem manometrycznym

- DMC-2 (BN-78/0408-08 [2]),
- 1.0-2.0 mm do badań metanoności (PN-G-44200:2013-10 [10]).

Analiza techniczna węgla pozwoliła ustalić następujące jego parametry:

- zawartość części lotnych (średnio): $V^{daf} = 33,72 \%$,
- zawartość wilgoci (średnio): $W^r = 1,65 \%$,
- zawartość popiołu (średnio): $A^d = 3,29 \%$.

Badania laboratoryjne prowadzone na grawimetrycznym analizatorze sorpcyjnym IGA pozwoliły określić wartości parametrów:

- efektywny współczynnik dyfuzji: $De = 3 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$,
- pojemność sorpcyjna przy ciśnieniu barycznym: $a_{1\text{bar}} = 2.2 \text{cm}^3/\text{g}_{\text{CSW}}$,
- izoterma Langmuira $a(p) = 14.45 \cdot 0.23 \cdot p / (1 + 0.23 \cdot p)$.

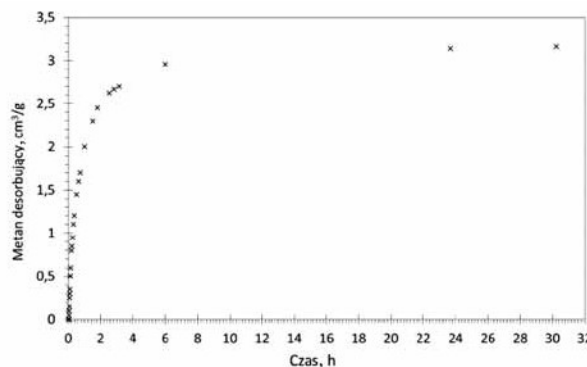
Metanoność uzyskana metodą bezpośrednią otworową wynosi $Mn = 5.8 \text{m}^3/\text{Mg}_{\text{CSW}}$, natomiast wskaźnik intensywności desorpcji $dp = 1,16 \text{kPa}$. Zwięźłość została określona na poziomie $f = 0.44$. Należy zaznaczyć, iż norma [PN-G-44200:2013-10] zakłada pobór zwiercin z głębokości 3.5-4.0 m, jednak w przypadku badań porównawczych z tej samej partii zwiercin nie wpływa to na wyniki.

Do badań Analogowym Rejestratorem Emisji Metanu AREM użyto około 2g przesianego węgla klasy ziarnowej 0.20-0.25 mm. Należy zaznaczyć, że jakość przesiewania ma kluczowe znaczenie w kontekście określenia parametrów kinetycznych emisji metanu – współczynnika dyfuzji (a także pośrednio wskaźnika intensywności desorpcji). Czas, który upłynął pomiędzy rozpoczęciem wiercenia badanego fragmentu utworu a rozpoczęciem rejestracji emisji metanu, wynosił 3 minuty. Rejestracja odbywała się w warunkach kopalnianych. Łącznie zanotowano 26 punktów pomiarowych, przy czym 14 w pierwszych 20 minutach trwania pomiaru. W okresie tym węgiel wyemitował około 50% całego metanu desorbowanego. Odnotowanie możliwie dużo punktów pomiarowych w pierwszych kilkudziesięciu minutach pomiaru jest bardzo istotne, ze względu na dwa aspekty:

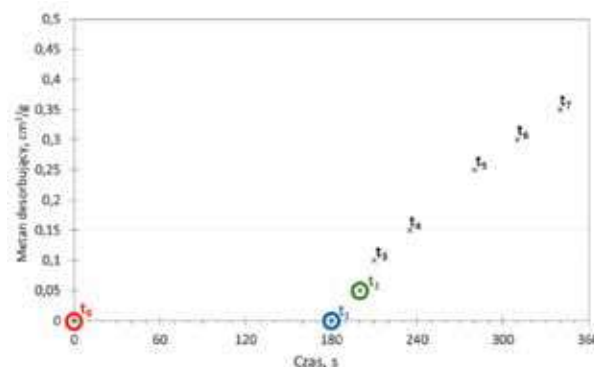
- na bazie tych pomiarów wyznaczana jest korekta „straty gazu”,
- poprawne odwzorowanie największej dynamiki emisji metanu w pierwszym okresie pozwoli na bardziej precyzyjne określenie efektywnego współczynnika dyfuzji.

Bezpośrednie wyniki pomiarów zostały przedstawione na wykresie (rys. 7). Wyraźnie widać, iż większość metanu przy analizowanej klasie ziarnowej, uwalnia się w pierwszych godzinach trwania pomiaru, co jest zgodne z teorią oraz badaniami laboratoryjnymi. Wartość asymptotyczna osiągnięta jest po około dobie. Warto przywrócić się pierwszym minutom emisji metanu (rys. 8). Symbolem t_0 oznaczono moment rozpoczęcia wiercenia badanego fragmentu otworu. Czas ten odpowiada początkowi dynamicznej emisji metanu z ziarn węgla po quasi-skokowym obniżeniu się ciśnienia gazu ze złożowego, do atmosfery w wyrobisku. Symbol t_1 odpowiada momentowi rozpoczęcia rejestracji urządzeniem AREM. Kolejne chwile czasowe i odpowiadające im zanotowane objętości emitowanego metanu oznaczono symbolami t_2, t_3, \dots, t_7 . Rozważania fenomenologiczne pozwalają dopasować do kształtu rejestrowanego przebiegu emisji metanu w pierwszych kilku minutach funkcję $M(t) = A \sqrt{t} + B$ [9]. Jeśli na osi odciętych umieścimy pierwiastek z czasu (rys. 9), to otrzymamy zależność liniową, dla której wyraz wolny stanowi wartość poszukiwanej straty gazu.

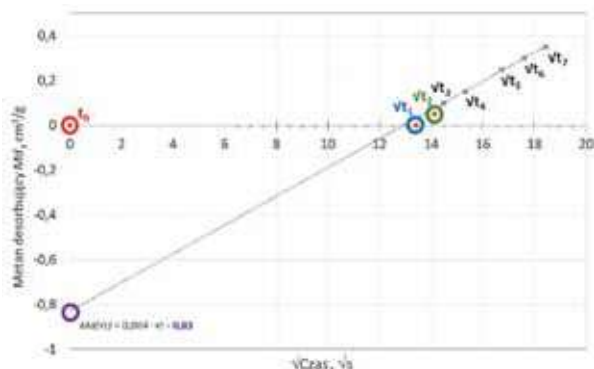
Ostateczny wynik, skorygowany o stratę gazu przedstawiony został na rys. 10. Wartość asymptotyczna ustaliła się na poziomie $3.99 \text{cm}^3/\text{g}$. Wartość efektywnego współczynnika dyfuzji wynosi $3.0 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$.



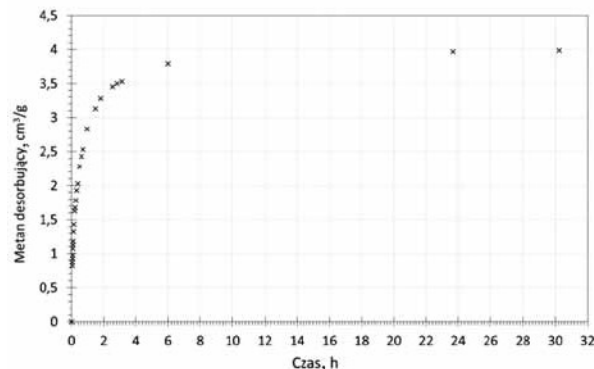
Rys. 7. Bezpośrednie wyniki pomiarów urządzeniem AREM
Fig. 7. Direct results of measurements using the AMER device



Rys. 8. Rejestracja emisji metanu w pierwszych 6 minutach
Fig. 8. Recording of methane emissions in the first 6 minutes of measurement



Rys. 9. Emisja metanu w funkcji pierwiastka z czasu w pierwszych 6 minutach – korekta strat gazu
Fig. 9. Methane emissions in relation to the square root of the first 6 minutes – methane loss correction



Rys. 10. Wynik rejestracji metanu urządzeniem AREM po kompensacji strat gazu
Fig. 10. Results of methane emissions recordings after compensation of methane loss

Porównując zawartość metanu w węglu wyznaczoną Analogowym Rejestratorem Metanu z metodą bezpośrednią otworową, musimy otrzymaną wartość $3.99 \text{ m}^3/\text{Mg}$ podnieść o około $2.4 \text{ m}^3/\text{Mg}$, a więc statystyczną sumę pojemności sorpcyjnej i zawartości gazu wolnego, co w rezultacie daje około $6.4 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Jeśli uwzględnimy zawartość popiołu i wilgoci otrzymamy wynik na poziomie $6.7 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$. Metodą bezpośrednią otworową zmierzono wartość metanonośności $Mn = 5.8 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$. Różnica na poziomie $0.9 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$ (względnie 13%) jest stosunkowo niewielka. Przeprowadzone z inicjatywy WUG w 2007 roku badania porównawcze pomiędzy jednostkami uprawnionymi do wyznaczania metanonośności dały rozbieżności znacznie wyższe (wartości od $3.9 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$, do $6.3 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{csw}}$) [11] W późniejszym okresie, przy mniejszej ilości jednostek uprawnionych podobne badania prowadził m.in. [5].

Wartości efektywnego współczynnika dyfuzji uzyskane w laboratorium za pomocą urządzenia IGA oraz wyniki kopalniane określone urządzeniem AREM są zbliżone ($3.0 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$). Należy jednak podkreślić, iż parametr ten jest silnie zależny od warunków prowadzenia eksperymentu, w szczególności od temperatury oraz gradientu ciśnienia. Istotne wydaje się więc obserwowanie zmian wartości tego parametru w obrębie wyrobiska bądź pokładu i traktowanie analizy jego zmienności jako wskaźnika lokalnych osobliwości układu węgiel-gaz, wynikających najczęściej ze zmian strukturalnych węgla.

6. Podsumowanie

W pracy opisany został prototyp Analogowego Rejestratora Emisji Metanu AREM w wersji kopalnianej. Przedstawiona została metodyka wykonywania pomiarów w warunkach kopalnianych. Przeanalizowano interpretację uzyskanych, przykładowych pomiarów wykonanych w KWK „Pniówek”. Opisano procedurę korekcji strat gazu. Otrzymany wynik porównany został z oznaczeniem metanonośności metodą bezpośrednią otworową. Wyższy wynik pochodzi z nowej metody, a różnica jest stosunkowo niewielka i wynosi 13%. Biorąc pod uwagę ogromne zalety prowadzenia oznaczeń zawartości metanu desorbowanego urządzeniem AREM, w szczególności szybkość (doba), łatwość użycia oraz niski koszt, w opinii autorów prezentowana metoda ma duży potencjał, by uzupełnić obecnie stosowane metody.

Badania zostały wykonane w ramach Projektu LIDER/31/103/L-3/11/NCBR/2012 finansowanego ze środków NCBiR.

Literatura

1. *Beamish B., Crosdale P.J.*: Instantaneous outbursts in underground coal mines: An overview and association with coal type, *International Journal of Coal Geology* 35, 1996, pp.27–55,
2. BN-78/0408-08 Norma branżowa: Węgiel kamienny – Oznaczenie wskaźnika desorpcji gazów Norma branżowa: Węgiel kamienny – Oznaczenie wskaźnika desorpcji gazów.
3. *Dudka B., Skoczylas N., Wierzbicki W.*: Wyznaczanie metanonośności pokładów na podstawie pomiarów wskaźnika intensywności desorpcji na przykładzie wyników z wybranej kopalni węgla kamiennego, „Przeгляд Górnicy” 2015, nr 2.
4. *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” 2009, R. 33, z. 1, s.145-152.
5. *Korzec M.*: Opracowanie metody oznaczania metanonośności w pokładach węgla kamiennego, praca doktorska, AGH, Kraków 2013.
6. *Lama R.D.*: Management and control of high gas emissions and outbursts in underground coal mines *International Symp. Cum. Workshop: Westonprint in Kiama Wollongong, NSW, Australia*, 618p. 1995,
7. *Lama R.D., Bodziony J.*: Outbursts of Gas, Coal and Rock in Underground Coal Mines. R.D. Lama & Associates, Wollongong, NSW, Australia, 1996; 499.
8. *Orzechowska-Zięba A., Nodzeński A.*: Chłonność sorpcyjna węgla kamiennego względem węglowodorów C6–C8, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, 2008, t. 24, z. 3/3.
9. *Pillalamarry M. & Harpalani S. & Liu S.*: Gas diffusion behaviour of coal and its impact on production from coalbed methane reservoirs, *International Journal of Coal Geology* 86, pp. 342–348, 2011.
10. PN-G-44200:2013-10: Górnictwo - Oznaczenie metanonośności w pokładach węgla kamiennego - Metoda zwiercinowa. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 2013.
11. *Ryszka M., Sporysz G.*: Weryfikacja bezpośredniej metody oznaczania metanonośności pokładów węgla kamiennego stosowanej w polskim górnictwie. Część II - porównania międzylaboratoryjne oznaczenia metanonośności węgla, *Miesięcznik Wyższego Urzędu Górniczego*, 2008, nr 9.
12. *Skoczylas N., Kudasiak M., Wierzbicki M., Murzyn T.*: Wyznaczenie desorbowalnej zawartości metanu w węglu oraz efektywnego współczynnika dyfuzji metanu na węglu metodą analogową, „Przeгляд Górnicy” 2015, nr 2.
13. *Skoczylas N., Wierzbicki M.*: Evaluation and Management of the Gas and Rock Outburst Hazard in the Light of International Legal Regulations, *Archives of Mining Sciences*, Volume 59, Issue 4 (Dec 2014).
14. *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* 57 (4), 861-869, 2012.
15. *Stączek A., Simka, A.*: Graniczny wskaźnik intensywności desorpcji gazu z węgla jako podstawowy parametr zagrożenia wyrzutowego charakteryzujący stopień nasycenia gazem pokładów węgla, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2004, nr 12.