

BADANIE SKŁADU GAZÓW GLEBOWYCH – PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ W PROSPEKCJI NAFTOWEJ I OCHRONIE ŚRODOWISKA

Investigation of soil gas composition – examples of application in petroleum exploration and environment protection

**Marek DZIENIEWICZ,
Henryk SECHMAN & Wojciech GÓRECKI**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Surowców Energetycznych;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: dzieniew@agh.edu.pl, sechman@uci.agh.edu.pl, wgorecki@agh.edu.pl*

Abstract: The paper presents examples that confirm possibility of using the soil gas method. Soil gas method might be applied to petroleum exploration, to checking of well tightness and underground gas storage, to checking of underground gas pipelines and to prediction of gas hazard in the near-surface zone caused by coal mine closure in the Wałbrzych Coal District.

Key words: surface geochemical survey, soil gas composition, light hydrocarbons, oil and gas field, environmental protection

Słowa kluczowe: powierzchniowe badania geochemiczne, skład gazu glebowego, lekkie węglowodory, złoża ropy i gazu, ochrona środowiska

WPROWADZENIE

Od prawie 40 lat Katedra Surowców Energetycznych AGH zajmuje się między innymi badaniem składu gazów glebowych. Badania te były i są prowadzone w aspekcie prospekcji naftowej i ochrony środowiska (np. Dzieniewicz *et al.* 1978, 2002, Górecki *et al.* 1995, Sechman *et al.* 2006). Polegają one na rejestracji i analizie w warstwach przypowierzchniowych stężeń lekkich węglowodorów, a także innych składników (helu, wodoru, azotu, tlenu i dwutlenku węgla). Ich obecność jest wynikiem emanacji z nagromadzeń wgłębnych lub współczesnych procesów biochemicznych. Gazy glebowe wypełniają wolne przestrzenie międzyziarnowe, są zaadsorbowane na powierzchniach ziaren skalnych i rozpuszczone w wodzie.

Jakościowo-ilościowy charakter przypowierzchniowego obrazu geochemicznego zależy od obecności samego źródła rozpraszania, jego składu, głębokości zalegania, ekologii środowiska i czynników antropogenicznych. Znajomość powyższego oraz hierarchia zna-

czących wpływów wymienionych czynników umożliwia odtworzenie istniejącego łańcucha przyczynowo-skutkowego, a w efekcie stwierdzenie obecności źródła rozpraszania oraz określenie jego charakteru. Najlepsze efekty w tym zakresie daje tzw. „metoda gazu wolnego” polegająca na badaniu składu gazów wypełniających wolne przestrzenie w środowisku skalnym. Pozwala ona na zarejestrowanie aktualnego obrazu geochemicznego pochodzącego od istniejących źródeł emanacji (Brooks & Welte 1986, Johnes & Burtell 1996). Źródłami tymi mogą być: nagromadzenia naturalne – złoża, nieszczelne urządzenia przemysłowe – odwierty, rurociągi, gazociągi, podziemne magazyny (gazu ziemnego, ropy i paliw płynnych), podziemne składowiska dwutlenku węgla (sekwestracja CO₂), składowiska odpadów, zlikwidowane kopalnie węgla kamiennego, inna działalność człowieka.

W związku z powyższym metoda gazu wolnego znalazła zastosowanie w prospekcji naftowej i ochronie środowiska. W zakresie tej ostatniej problematyki wymienić należy: ocenę stanu technicznego (szczelności) otworów wiertniczych, urządzeń przemysłowych, podziemnych magazynów gazu (PMG) i paliw płynnych. Ponadto metoda gazu wolnego wykorzystywana jest do oceny oddziaływania na środowisko składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych oraz efektów podziemnej sekwestracji CO₂. Pozwala ona również na kontrolę i monitoring zagrożeń związanych z migracją ku powierzchni metanu i dwutlenku węgla ze zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego.

METODYKA BADAŃ

Badania terenowe sprowadzają się do poboru próbek gazu glebowego. Pobór próbki polega na zassaniu gazu z głębokości 1.0÷1.5 m (Dzieńiewicz & Sechman 2001, 2002). Pobrane próbki gazu glebowego są analizowane metodą chromatografii gazowej z wykorzystaniem detekcji płomieniowo-jonizacyjnej i ciepłno-przewodnościowej. Zakres oznaczeń dotyczy gazowych homologów szeregu parafinowego (metan, etan, propan, i-butan, n-butan, i-pentan, neo-pentan, n-pentan), węglowodorów nienasyconych (etylen, propylen i 1-buten) oraz gazowych składników towarzyszących jak: dwutlenek węgla, wodór i hel. Zbiory pomierzonych stężeń poddawane są obróbce statystycznej mającej na celu określenie zakresu i charakteru ich zmienności oraz wyznaczenie tła i wielkości anomalnych. Przetworzone w ten sposób dane pozwalają na określenie przyczyn obecności anomalnych stężeń węglowodorów w utworach przypowierzchniowych.

POSZUKIWANIA ZŁÓŻ WĘGLOWODORÓW

W aspekcie poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego analizuje się zmiany wielkości anomalnych, w tym sposób ich rozmieszczenia, kontrast w stosunku do przyjętego tła, skład oraz wzajemne stosunki pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami. Zmiany te interpretuje się w odniesieniu do istniejącego modelu geologiczno-złożowego. Obecność znaczących efektów geochemicznych w postaci anomalii węglowodorowych, w przeciwieństwie do ich braku świadczy o istnieniu akumulacji węglowodorów, która w sprzyjających warunkach może być złożem.

Na figurze 1 przedstawiono przykład zmian znormalizowanych stężeń sumy alkanów C₂–C₅, metanu i sumy alkenów C₂–C₄ nad złożem gazu ziemnego Różańsko, położonego około 30 km na NW od Gorzowa Wielkopolskiego. Gaz zakumulowany jest na głębokości

około 3200 m w utworach dolomitu głównego. Układ anomalii sumy alkanów C_2-C_5 , tzw. efekt „halo” (Brooks & Welte 1987), można wiązać ze wspomnianym złożem.

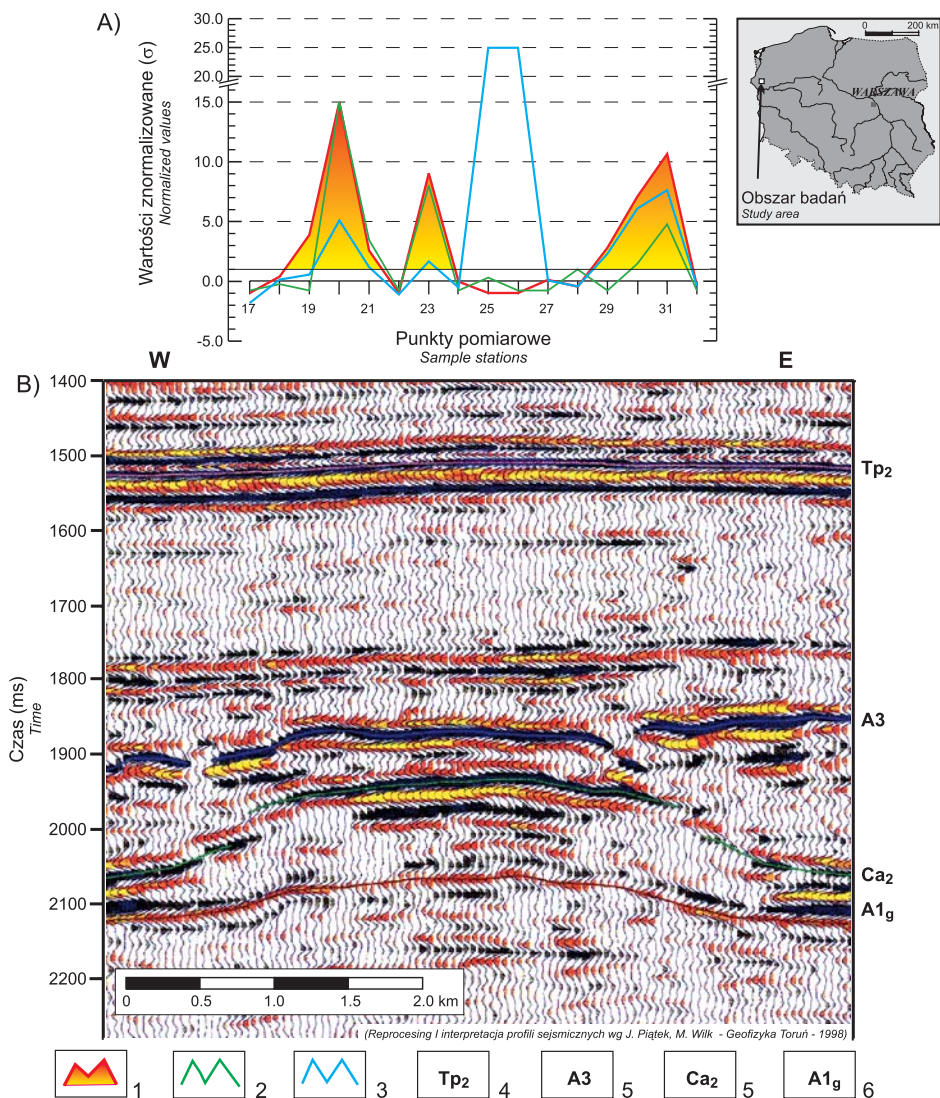


Fig. 1. Zmiany znormalizowanych stężeń sumy alkanów C_2-C_5 , sumy alkenów C_2-C_4 i metanu (A) na tle czasowego przekroju sejsmicznego (B) przebiegającego przez złożę gazu ziemnego Różańsko: 1 – suma alkanów C_2-C_5 , 2 – suma alkenów C_2-C_4 , 3 – metan, 4 – pstry piaskowiec środkowy, 5 – anhydryt główny, 6 – dolomit główny, 7 – anhydryt górny

Fig. 1. Variations of standardized concentrations of the sum of alkanes C_2-C_5 , sum of alkenes C_2-C_4 and methane (A) against the background of a time seismic section (B) running through the Różańsko gas field: 1 – sum of alkanes C_2-C_5 , 2 – sum of alkenes C_2-C_4 , 3 – methane, 4 – Middle Buntsandstein, 5 – Main Anhydrite, 6 – Main Dolomite, 7 – Upper Anhydrite

Metoda gazu wolnego, w kompleksie z badaniami geologiczno-geofizycznymi, wnosi dodatkowy materiał faktograficzny i uściśla rozpoznawany model geologiczno-złożowy. W konsekwencji, pozwala nie tylko na testowanie wykartowanych pozytywnych struktur pod kątem ich ropogazoności, ale również może wskazywać na inne nierozpoznane miejsca potencjalnych akumulacji złożowych oraz drożnych stref nieciągłości tektonicznych.

Należy zaznaczyć, że wykorzystanie powierzchniowych metod geochemicznych w poszukiwaniach złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na świecie przynosi wymierne efekty złożowe. Jak podaje Schumacher (2002) w szczególnych przypadkach umiejętne wykorzystanie kompleksowych analiz geologiczno-geofizyczno-geochemicznych w akcjach poszukiwawczych o 83% podniosło trafność wierconych otworów.

SZCZELNOŚĆ PODZIEMNYCH MAGAZYNÓW GAZU, NAFTOWYCH OTWORÓW WIERTNICZYCH I GAZOCIĄGÓW

Nieszczelne podziemne magazyny gazu, odwierty naftowe oraz gazociągi stwarzają potencjalne zagrożenie dla otoczenia. Ucieczka ujętych węglowodorów (szczególnie gazu ziemnego) przez istniejące nieszczelności, poza niekorzystnym wpływem na środowisko (Andrews *et al.* 2000), stwarza również niebezpieczeństwo wybuchu lub pożaru (Jones & Burtell 1996, Lee 2001).

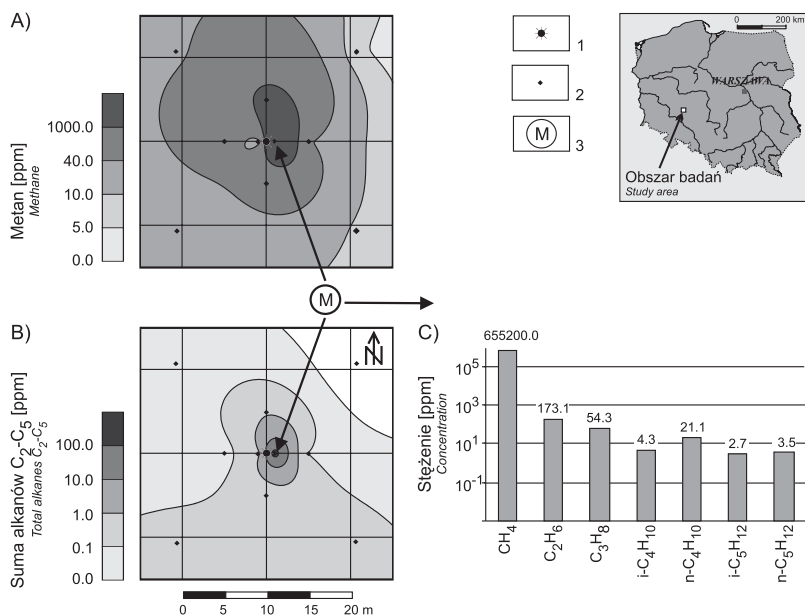


Fig. 2. Rozkład stężeń metanu (A), sumy alkanów C₂-C₅ (B), skład cząsteczkowy alkanów w punkcie M (C) – rejon odwiertu W-29 (PMG Wierchowice): 1 – badany odwiert, 2 – punkt pomiarów geochemicznych, 3 – miejsce maksymalnego stężenia alkanów

Fig. 2. Distribution of methane (A) sum of alkanes C₂-C₅ (B) concentrations, molecular composition of alkanes in the M point (C) – area of the W-29 well (Wierchowice underground gas store): 1 – investigated well, 2 – geochemical measurement point, 3 – place of maximum concentration of alkanes

Metody kontroli szczelności polegające na obserwacji ciśnienia nie pozwalają na pełną eliminację pojawiających się zagrożeń. Obserwowane spadki ciśnień mogą jedynie potwierdzać już zaistniałe nieszczelności. Natomiast metoda gazu wolnego pozwala na ocenę szczelności wspomnianych obiektów już na etapie pojawienia się mikronieszczelności.

Na figurze 2 uwagę zwracają podwyższone stężenia alkanów gazowych pomierzone w powietrzu glebowym w bezpośrednim sąsiedztwie badanego odwiertu W-29 o głębokości około 1400 m, położonego w obrębie obszaru górniczego podziemnego magazynu gazu Wierzchowice. Relacje składowe pomiędzy poszczególnymi homologami (Fig. 2c) wskazują, że mamy do czynienia z gazem pochodzenia węgelnego. Może to wynikać z nieszczelności badanego odwiertu.

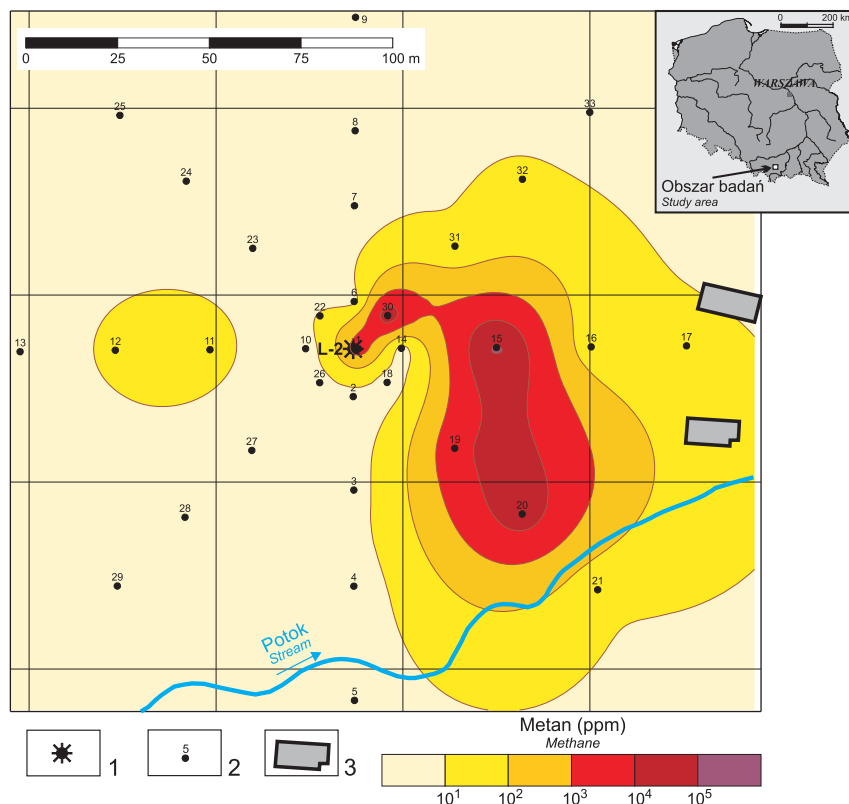


Fig. 3. Rozkład stężeń metanu w strefie odwiertu Leśniówka-2: 1 – badany odwiert, 2 – punkt pomiarów geochemicznych, 3 – zabudowania

Fig. 3. Distribution of methane concentration in the vicinity of Leśniówka-2 well: 1 – investigated well, 2 – geochemical measurement point, 3 – buildings

Figura 3 przedstawia rozkład stężeń metanu pomierzonych w strefie położonego w Karpatach, około 10 km na SW od Limanowej, odwiertu Leśniówka-2. Stężenia metanu w powietrzu glebowym dochodzą do 17% obj. Wskazują one na nieszczelność odwiertu, stwarzając jednocześnie zagrożenie dla środowiska.

Przykład badań geochemicznych dotyczących szczelności gazociągu przedstawia figura 4. Jest to gazociąg niskiego ciśnienia, biegnący na głębokości około 80 cm, wzdłuż ulicy Mickiewicza w Leżajsku. W oparciu o analizę statystyczną stężeń alkanów, pomierzonych w powietrzu glebowym wzdłuż gazociągu, wyznaczono miejsca prawdopodobnych jego nieuszczelności (Fig. 4A). Składy cząsteczkowe alkanów (Fig. 4B, C) potwierdzają ich istnienie (Górecki *et al.* 2002).

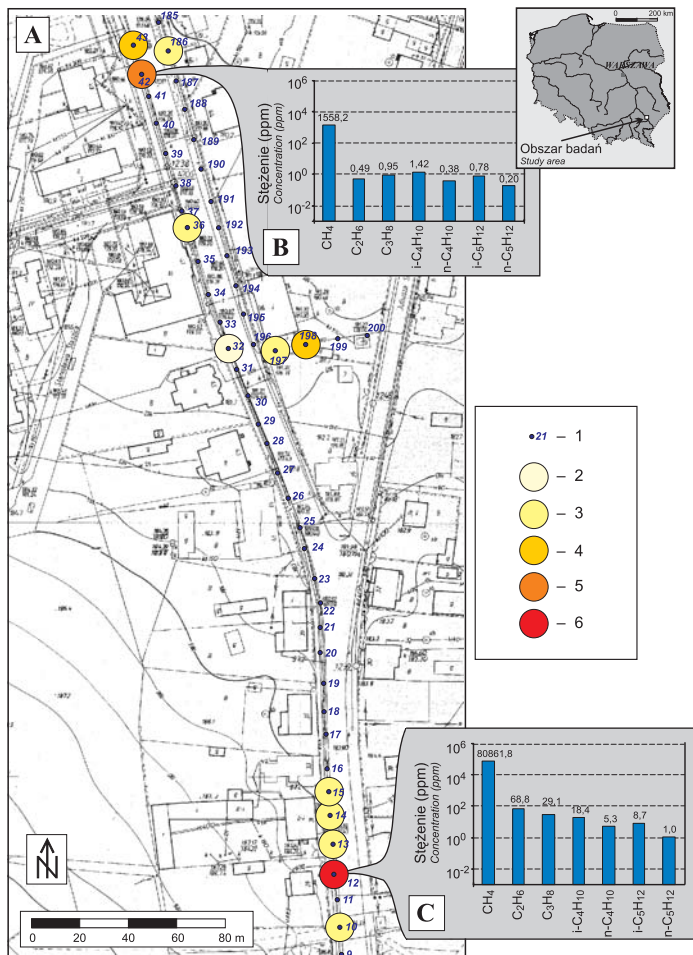


Fig. 4. Prawdopodobne strefy nieuszczelności gazociągu niskiego ciśnienia położonego wzdłuż ul. Mickiewicza w Leżajsku (A), skład cząsteczkowy alkanów w miejscu o wysokim (B) i bardzo wysokim (C) prawdopodobieństwie występowania nieuszczelności: 1 – punkt pomiarów geochemicznych, 2–6 – prawdopodobieństwo występowania nieuszczelności: 2 – potencjalne, 3 – niskie, 4 – średnie, 5 – wysokie, 6 – bardzo wysokie

Fig. 4. Probable zones of leaks of the low-pressure gas pipeline along the Mickiewicz Street in the town of Leżajsk (A), molecular composition of alkanes in the place of high (B) and very high (C) probability of the leak occurrence: 1 – geochemical measurement point, 2–6 – probability of the leak occurrence: 2 – potential, 3 – low, 4 – medium, 5 – high, 6 – very high

Na obszarach pogórnicznych, po zaprzestaniu eksploatacji węgla kamiennego występują zjawiska niekontrolowanej migracji gazów złożowych z serii węglonośnej ku powierzchni (metan, dwutlenek węgla). Gazy te są wypychane „tłokowo” z górotworu przez podnoszące się zwierciadło wód węglanych. Ich migracji sprzyjają systemy szczelin związane z uskokami, kontaktami litologicznymi oraz działalnością eksploatacyjną (wyloty szybów, szybków, sztolni, osiadanie nadkładu) (Dzieniewicz *et al.* 2002, Kotarba 2002, Kotarba *et al.* 2002).

Na figurze 5 przedstawiono przykład powierzchniowych zmian stężeń metanu i dwutlenku węgla zarejestrowanych wzdłuż profilu przebiegającego przez nieckę wałbrzyską.

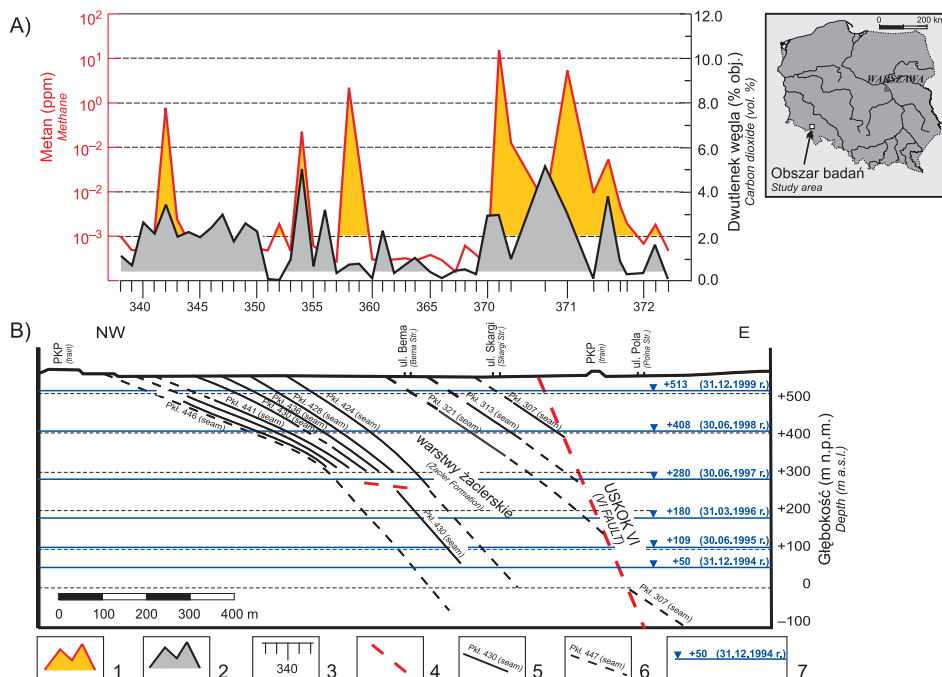


Fig. 5. Zmiany stężeń metanu i dwutlenku węgla (A) wzdłuż przekroju geologiczno złożowego (B) przebiegającego przez Kuźnice Świdnickie (niecka wałbrzyska): 1 – metan, 2 – dwutlenek węgla, 3 – punkty pomiarów geochemicznych, 4 – uskoki, 5 – stwierdzony pokład węgla, 6 – przypuszczalny pokład węgla, 7 – stan zwierciadła wód karbońskich

Fig. 5. Variations of methane and carbon dioxide concentrations (A) along the geological cross section (B) through Kuźnice Świdnickie (Wałbrzych Trough): 1 – methane, 2 – carbon dioxide, 3 – geochemical measurement points, 4 – fault, 5 – proven coal seam, 6 – inferred coal seam, 7 – state of the Carboniferous water level

Niebezpieczne stężenia metanu i dwutlenku węgla na przedstawionym profilu dochodzą odpowiednio do 15.5% i 5.24% objętości (Fig. 5A). We wschodniej części profilu związane są one z obecnością uskoku VI. Natomiast podwyższone stężenia tych gazów występujące w północno-zachodniej części można wiązać z wychodniami warstw żałerskich (Fig. 5B).

PODSUMOWANIE

Przedstawione przykłady potwierdzają wieloaspektowe możliwości wykorzystania powierzchniowej metody geochemicznej realizowanej w wariancie gazu wolnego. Stosowana metodyka badań umożliwia selekcję genetyczną stężeń składników gazowych mierzonych w próbkach powietrza glebowego. Możliwości te i „czułość” zastosowanej metody pomagają w określeniu miejsc występowania wgłębných akumulacji węglowodorowych, a także pozwalają na ocenę szczelności obiektów przemysłowych (PMG, otwory wiertnicze, gazociągi). Metody te, w przeciwieństwie do rutynowych sposobów kontroli szczelności (np. kontrola ciśnień), pozwalają na rejestrację nieszczelności już na etapie pojawienia się mikrowycieków gazu. Badanie gazu glebowego pozwala również na określenie zmienności stężeń, zasięgu występowania i dynamiki przypowierzchniowego pola migracji metanu i dwutlenku węgla ze zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego. Pozwala to na wczesne rozpoznanie i eliminację potencjalnych zagrożeń. Należy dodać, że powierzchniowe badania gazowe są tanie i szybkie w realizacji. Przedstawione przykłady zastosowań potwierdzają możliwości wykorzystania badań gazów glebowych realizowanych od prawie 40 lat w Katedrze Surowców Energetycznych AGH.

Składamy serdeczne podziękowania prof. dr. hab. inż. Maciejowi Kotarbie za cenne uwagi krytyczne oraz mgr. inż. Julianowi Krachowi za wykonanie tłumaczeń tekstów na język angielski.

Praca była prezentowana na Sesji Naukowej organizowanej przez Katedrę Mineralogii, Petrografii i Geochemii pt. „90 lat Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii w AGH”.

LITERATURA

- Andrews J.E., Brimblecombe P., Jickells T.D., Liss P.S., 2000. *Wprowadzenie do chemii środowiska*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1–236.
- Brooks J.M., Welte D., 1987. *Advances in petroleum geochemistry*. Academic Press, London, 2, 1–344.
- Dzieńiewicz M., Kuśmierek J., Potera J. & Semyrka R., 1978. Perspektywy naftowe fałdu Suchych Rzek w świetle badań geochemicznych (Bieszczady). *Geologia (kwartalnik AGH)*, 4, 3, 37–51.
- Dzieńiewicz M. & Sechman H., 2001. Kowadło sondy udarowej do badania gruntu. Wzór użytkowy RP nr 58584, *Wiadomości Urzędu Patentowego*, 05/2001.
- Dzieńiewicz M. & Sechman H., 2002. Zestaw do ręcznego pobierania próbek gazowych z warstw przypowierzchniowych. Patent RP nr 184080, *Wiadomości Urzędu Patentowego*, 08/2002.

- Dzieniewicz M., Sechman H., Kotarba M.J. & Korus A., 2002. Surface geochemical surveying of methane and carbon dioxide in the selected areas of the Wałbrzych Coal District. Rozdział 8 w: Kotarba M.J. (Ed.), *Gas hazard in the near-surface zone of the Wałbrzych Coal District caused by coal mine closure: geological and geochemical controls*, Society of Research on Environmental Changes GEOSPHERE, Kraków, 95–106.
- Górecki W., Strzetelski W., Dzieniewicz M. & Sechman H., 1995. Methods and results of surface geochemical survey as adopted to petroleum exploration in permian structures of Polish lowland. *Abstr. Conference and Exhibition: "East meets West"*, Kraków, 12–15 Sept. 1995, PC-10.
- Górecki W., Dzieniewicz M., Sechman H., 2002. *Ocena szczelności gazociągu niskiego ciśnienia ϕ 200 mm, o długości ok. 2.3 km, przy ulicy Mickiewicza w Leżajsku, na podstawie badań geochemicznych*. Arch. KSE AGH, Kraków (praca niepublikowana).
- Jones V.T., Burtell S.G., 1996. Hydrocarbon flux variations in natural and anthropogenic seeps. W: Schumacher D. & Abrams M.A. (red.), *Hydrocarbon migration and its near-surface expression*, *AAPG Memoir*, 66, 203–221.
- Kotarba M.J., 2002. Post-mining gas hazards: the purpose of near-surface geochemical surveys in the Wałbrzych Coal District. Chapter 1 in: Kotarba M.J. (Ed.), *Gas hazard in the near-surface zone of the Wałbrzych Coal District caused by coal mine closure: geological and geochemical controls*. Society of Research on Environmental Changes GEOSPHERE, Kraków, 1–10.
- Kotarba M.J., Dzieniewicz M., Korus A., Sechman H., Kominowski K., Gogolewska A. & Grzybek J., 2002. Mechanism of coalbed gas flux and prediction of gas hazard in the near-surface zone of the Wałbrzych Coal Sub-basin. Chapter 13 in: Kotarba M.J. (Ed.), *Gas hazard in the near-surface zone of the Wałbrzych Coal District caused by coal mine closure: geological and geochemical controls*. Society of Research on Environmental Changes GEOSPHERE, Kraków, 189–212.
- Lee A.M., 2001. The Hutchinson gas explosions: unraveling a geologic mystery, Kansas Bar Association, *26th Annual KBA/KIOGA Oil and Gas Law Conference*, 1, 3–1 to 3–29.
- Schumacher D., 2002. Managing exploration risks: lessons learned from surface geochemical surveys and post-survey drilling results. *AAPG Oral Presentation, AAPG Convention*, Houston, TX.
- Sechman H., Dzieniewicz M., Górecki W., 2006. Wykorzystanie powierzchniowych badań geochemicznych do oceny szczelności naftowych otworów wiertniczych. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, WUG – Katowice, 6, 36–38.
- Waleńczak Z., 1987. *Geochemia organiczna*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 1–160.