

Lidia Dudek, Piotr Kapusta
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Zastosowanie geochemicznych i mikrobiologicznych badań powierzchniowych w celu prześledzenia procesów migracji węglowodorów w rejonie zapadliska przedkarpackiego (Bochnia–Tarnów)

Wstęp

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat w pracach poszukiwawczych prowadzących do odkrycia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego znalazło zastosowanie szereg nowych metod powierzchniowych. Podstawą wszystkich technik powierzchniowych jest założenie, że węglowodory, które są generowane i/lub gromadzone na znacznych głębokościach, migrują do powierzchni przez system mikropęknięć i szczelin. Jest to proces niezwykle powolny, jednakże w skali czasu geologicznego objawia się przez istnienie nieznacznie podwyższonego, ale wykrywalnego za pomocą metod analitycznych stężenia lekkich węglowodorów (przede wszystkim C_1 – C_5), szczególnie w glebie i w wodach przypowierzchniowych [11]. Tak więc można na tej podstawie przyjąć kolejne założenie, że anomalia powierzchniowa może mieć odzwierciedlenie w postaci akumulacji węglowodorów. Podstawową metodą geochemiczną jest analiza stężenia lekkich węglowodorów w glebie. Wskazane jest jednak, aby badania te były skorelowane z inną metodą. Metodą taką może być metoda mikrobiologiczna. Jest to metoda pośrednia, oparta na obecności i rozmieszczeniu specyficznych mikroorganizmów utleniających węglowodory. Istnieje charakterystyczna, dodatnia zależność pomiędzy podwyższonym stężeniem węglowodorów, a zwiększoną liczbą swoistych mikroorganizmów w glebie. Zaletą badań mikrobiologicznych jest łatwość poboru próbek, powtarzalność (zarówno jeśli chodzi o dostępność materiału badawczego, jak i wyników), relatywnie niski koszt i minimalny wpływ na

środowisko naturalne. Dodatkowe zalety to krótki okres, jaki jest potrzebny od momentu poboru prób do wykonania pełnej analizy i interpretacji wyników, jak również możliwość stosowania tej metody w rozmaitych warunkach klimatycznych i terenowych. Najważniejszą zaletą jest chyba to, że powierzchniowe badania mikrobiologiczne można stosować niezależnie od tego, na jakiej głębokości faktycznie znajduje się złożo, ponieważ czułość metody pozwala na wykrycie nawet nieznacznych, „dyskretnych” stanów anomalnych – pod warunkiem prawidłowej oceny wartości progowych [9, 13]. Mikrobiologiczna metoda powierzchniowa oparta jest na ilościowej analizie dwóch głównych grup mikroorganizmów:

1. Bakterii utleniających metan (metanotroficznych, metanotrofów) – wąskiej i wyspecjalizowanej grupy mikroorganizmów potrafiących wykorzystywać metan jako jedyne źródło węgla dzięki posiadaniu monooksygenazy metanowej. Korzystają one także z innych substratów jednowęglowych (C_1 – np. metanolu, formaldehydu). Mogą też utleniać rozmaite węglowodory, natomiast nie potrafią ich asymilować. Najważniejsze rodzaje to *Methylococcus*, *Methylosinus*, *Methylobacter* i *Methylomonas* [7].
2. Mikroorganizmów nieutleniających metanu, ale zdolnych do rozkładu innych węglowodorów dzięki posiadaniu swoistych monooksygenaz – należy do nich duża liczba mikroorganizmów zaliczanych do rozmaitych grup systematycznych. Spośród bakterii

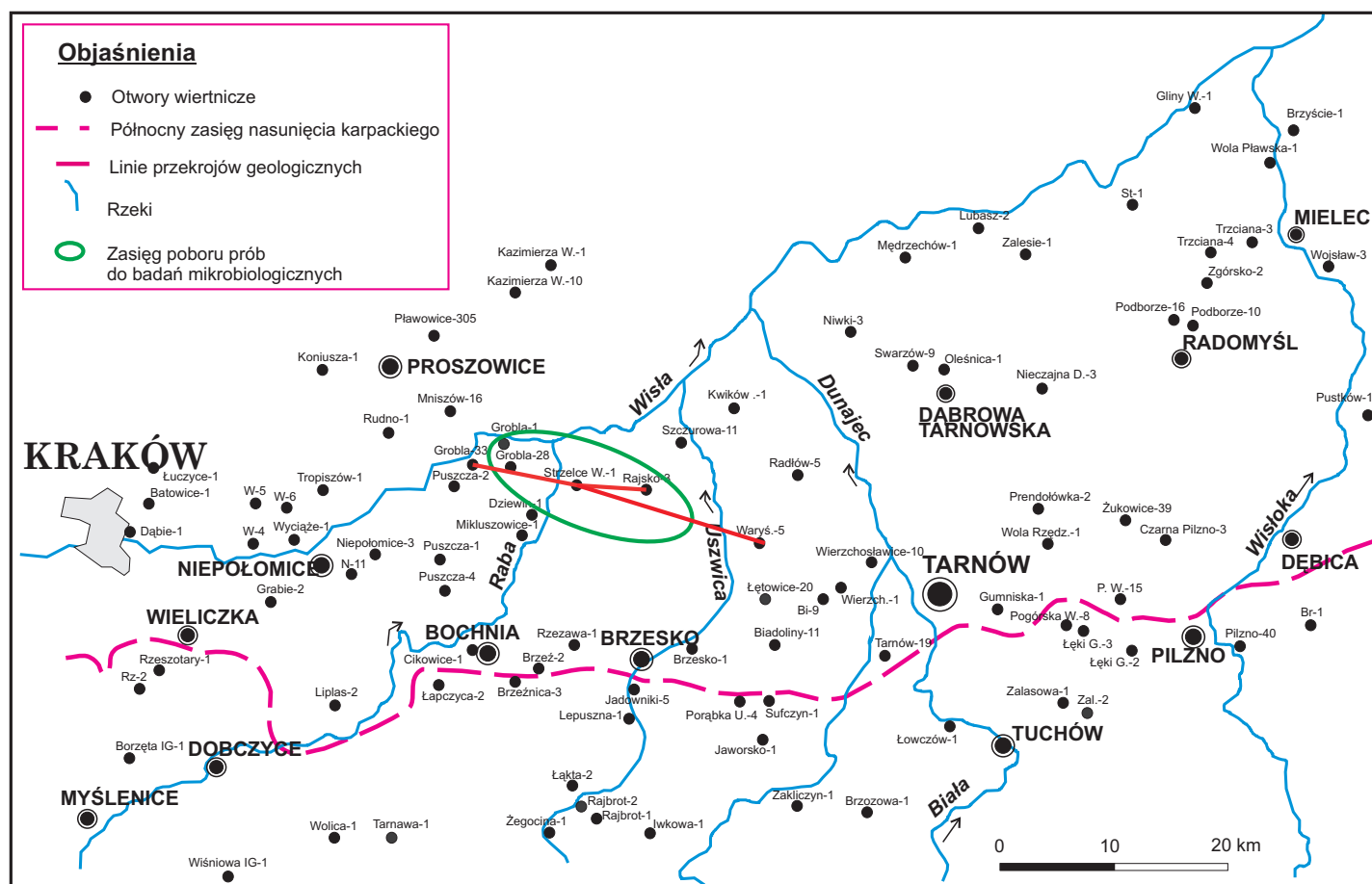
należy wymienić przedstawicieli rodzajów *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* i *Rhodococcus* [6, 12], a zdolność tę posiadają także niektóre grzyby, np. z rodzaju *Graphium* [2].

Mikroorganizmy utleniające węglowodory występują powszechnie w środowisku, zwłaszcza dotyczy to bakterii metanotrofowych. Wynika to z faktu, że metan jest składnikiem powietrza atmosferycznego i jego stężenie ok. 1,8 ppm na jednostkę objętości jest wystarczające, aby podtrzymać wzrost tych mikroorganizmów we wszystkich rodzajach gleb [8]. Podwyższona liczba mikroorganizmów metanotrofowych oznacza, że korzystają one z dodatkowego źródła metanu, którym może być metan tworzony biogenicznie lub metan pochodzący ze złoża. Tak więc zastosowanie ich jako mikroorganizmów wskaźnikowych jest uzasadnione pod warunkiem prawidłowej interpretacji otrzymanych wyników [9].

Jednak jeszcze lepszymi mikroorganizmami wskaźnikowymi są mikroorganizmy utleniające propan i butan, ponieważ prawie cała ilość tych węglowodorów, jaka jest dostępna dla mikroorganizmów w glebach i wodach przy-

powierzchniowych, jest związana z węglowodorami migrującymi z głębi skorupy ziemskiej. Dlatego też znacznie podwyższona liczba mikroorganizmów wykorzystujących propan i butan jako jedyne źródło węgla może świadczyć o obecności złoża. Ze względu na to, że odpowiednio wysokie stężenie tlenu atmosferycznego jest niezbędne do pełnej aktywności monoooksygenaz, największa liczba mikroorganizmów utleniających węglowodory znajduje się w płytkich, przypowierzchniowych warstwach gleby. Poniżej tej strefy wytwarzają się warunki redukcyjne, ponieważ w związku ze stałym zużyciem tlenu przez mikroorganizmy jego dyfuzja do głębszych warstw staje się niewystarczająca [11].

Pomimo swoich ewidentnych zalet metoda mikrobiologiczna wymaga jednak wprowadzenia pewnych modyfikacji w celu uproszczenia procedury wykonywania analiz. Metoda polega na analizie ilościowej dwóch wymienionych wyżej grup mikroorganizmów w stosunku do tła. Wymaga to zastosowania standaryzacji wyników, bowiem w przeciwnym wypadku wyniki uzyskane dla obszarów o różnej budowie geologicznej nie mogłyby być ze sobą porównane.



Rys. 1. Mapa lokalizacji poboru prób do badań mikrobiologicznych na północ od linii Bochnia–Brzesko–Tarnów

Zarys budowy geologicznej rejonu badań. Klasyfikacja naftowa formacji

Formacja **sylursko-ordowicka**, słabo rozpoznana na badanym obszarze (na północ od linii Bochnia–Brzesko–Tarnów, rysunek 1), to utwory iłowcowo-mułowcowe, łupki graptolitowe i zlepieńce, a dla ordowiku to wapienie, mułowce, iłowce i piaskowce.

Utwory ilaste i mułowcowe obu tych formacji posiadają wysokie cechy macierzystości. Miąższościowy udział skał macierzystych, jako średnia procentowa ich wielkości w stosunku do faktycznej miąższości dla poszczególnych sekcji profilu, oceniono na około 55% [3].

Formacja utworów piętra waryscyjskiego dewonu i karbonu obejmuje utwory od dewonu do karbonu dolnego włącznie.

Utwory **dewonu dolnego old redu** to serie klastyczne utworów piaszczystych i mułowcowych oraz zlepieńców. Typ osadów nie posiada właściwości macierzystych. Utwory dewonu środkowego to serie utworów dolomitycznych, dolomitów marglistych laminowanych materiałem iłowcowo-mułowcowym z lokalnymi przewarstwieniami iłowcowymi, zalegające miejscami na podłożu pokaledońskim. Utwory **dewonu górnego** reprezentują utwory franu i famenu. Są to ciemnoszare wapienie z wkładkami margli, dolomitów i wapieni laminowanych ciemnymi marglami. Utwory tego piętra posiadają właściwości macierzyste w postaci margli i wkładek iłowcowo-mułowcowych. Udział miąższościowy skał macierzystych w poszczególnych profilach miąższościowych ocenia się na około 35% [3].

Formacja karbońska to utwory turneju, reprezentowane przez skały węglanowe, marglisto-wapienne i skały klastyczne. Tylko serie margliste spełniają kryteria macierzystości. Nad turnejem występują utwory wizeny, w których profilu wyróżnia się dwie odrębne facje: łupkowo-szarogłazową kulmu i węglanową – wapienia węglowego w spągu.

Utwory wizeny dolnego to organodetrytyczne, drobnokrystaliczne i dendrytyczne wapienie z wkładkami mułowców i ciemnoszarych iłowców. Wizen górny-kulm tworzą piaskowce, szarogłazy, mułowcowe i iłowce. Skały macierzyste tego kompleksu to margle z przewarstwieniami mułowców i iłowców oraz mułowce. Udział miąższościowy skał macierzystych w poszczególnych profilach miąższościowych karbonu ocenia się na około 38% [3].

Klasyfikacja naftowa waryscyjskiego piętra strukturalnego karbonu i dewonu w obszarze przedgórza Karpat obejmuje utwory od dewonu dolnego do karbonu dolnego włącznie. Utwory dewonu zalegają niezgodnie na prekam-

bryjskim podłożu, z którego utwory sylursko-ordowickie zostały usunięte przez erozję.

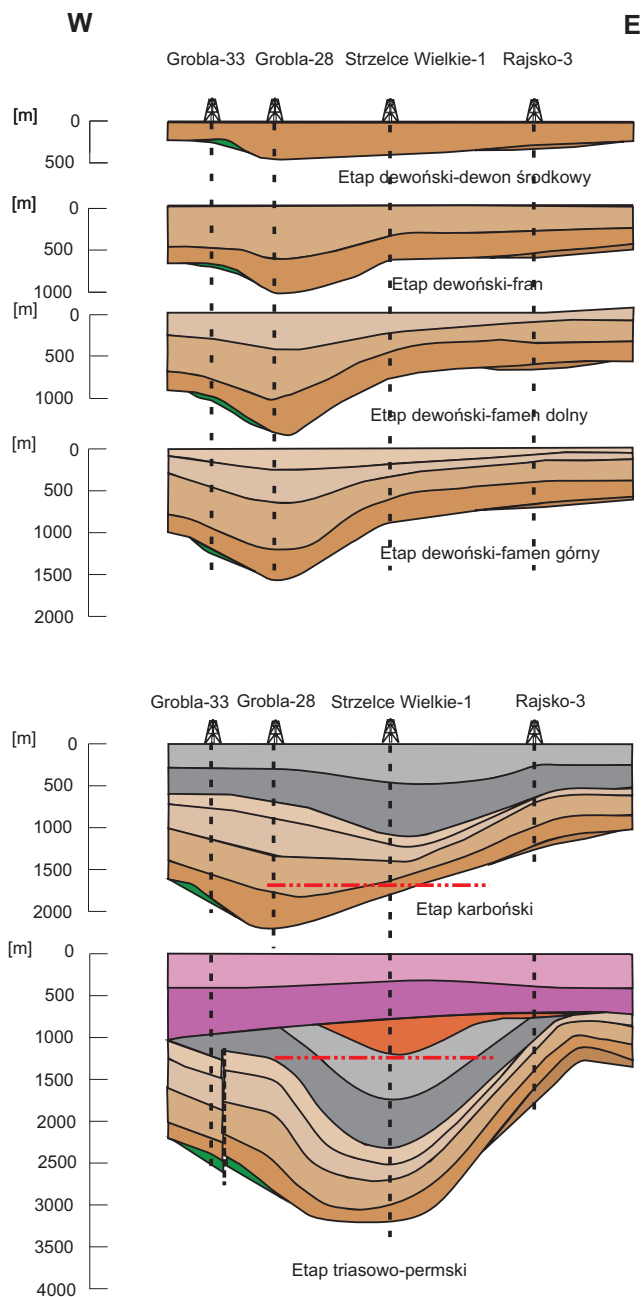
Formacja dewońska reprezentowana jest na obszarze objętym badaniami przez utwory old redu, dewonu środkowego i górnego. Związana jest z lokalnymi strefami wydłużonych niecek sedymentacyjnych o zróżnicowanej morfologicznie konfiguracji w obrębie pogłębionej, zatokowej części basenu dewońskiego. Utwory old redu występują w zredukowanych miąższościach lub uległy całkowitemu rozmyciu.

Osady dewonu środkowego to dolomity margliste, mułowce i iłowce związane z nieckowatymi depresjami. Podobnie w dewonie górnym utrzymuje się tendencja lokalnych subsydencji zbiornika z analogicznym narastaniem miąższości osadów, w których obok utworów dolomitycznych, wapieni mikrytowych i gruzłowych przeważają macierzyste serie utworów marglistych i ilastych, głównie famenu. Dla kompleksu dewońskiego udział serii macierzystych wynosi średnio 36,5% [3].

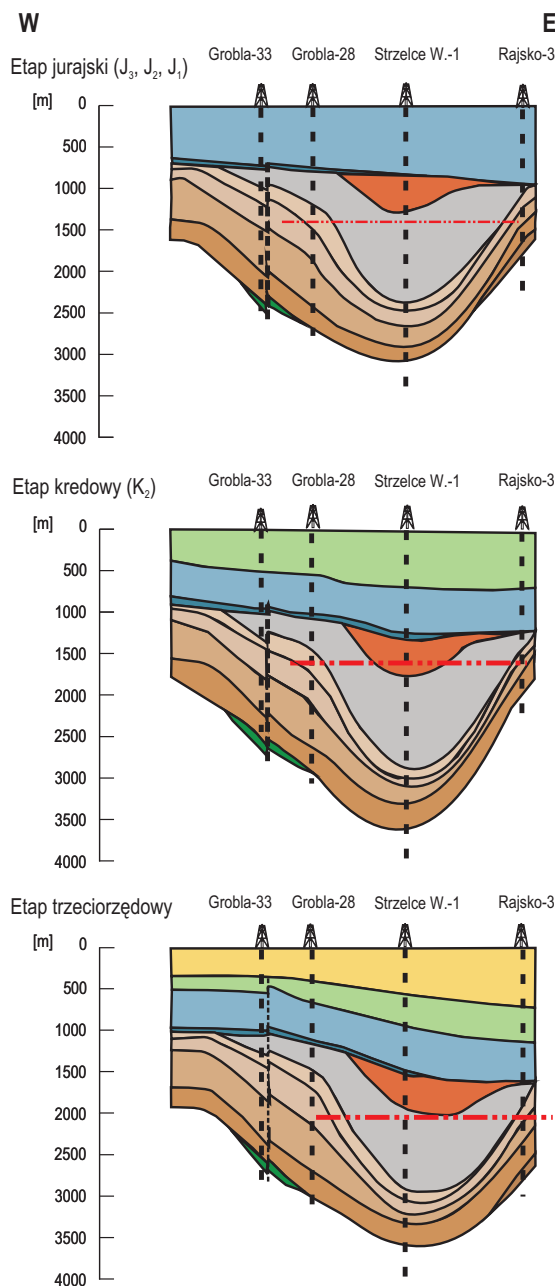
Utwory karbonu dolnego turneju zalegają na zróżnicowanej stratygraficznie erozyjnej powierzchni podewońskiej, lokalnie mogą pozostawać w ciągłości sedymentacyjnej z utworami dewonu. Jako utwory lagunowe, wykazują duże zróżnicowanie litofacjalne. Są to wapienie, wapienie margliste oraz margle i przeławienia mułowcowe i iłowcowe związane z depresyjnymi strefami zbiornika. W wizenie przeważa facja węglanowa – wapienia węglowego, która przechodzi w fację kulmu – łupkowo-szarogłazową. W czasie karbonu górnego nastąpiła denudacja, której w znacznym stopniu uległy obszary elewowane.

Dla kompleksu karbońskiego udział skał macierzystych wynosi średnio 40% [3]. W superpozycji planów piętra dewońskiego i karbońskiego uwidacznia się diachroniczny charakter sedymentogenezy obu kompleksów, widoczny także w paleostrukturnalnym ujęciu jako przemieszczenie osiowych subsydencji piętra karbońskiego względem dewońskiego. Odpowiednie przekroje geologiczne ilustrują omówione zależności (rysunki 2, 3, 4).

Formacja permotriasu to nierozdzielone utwory, serie zlepieńców, iłowców i piaskowców pstrych, które leżą niezgodnie na powaryscyjskiej powierzchni piętra paleozoicznego. Obejmują one terygeniczny kompleks pstrego piaskowca, węglanowy kompleks wapienia muszlowego i terygeniczne utwory dolnego kajpru. Formacja ta w fazie starokimeryjskiej uległa głębokiej erozji, a nawet zupełnej redukcji. Utwory te tworzą reliktową pokrywę,



Rys. 2. Etapy rozwoju piętra paleozoicznego i mezozoicznego na linii Grobla-Strzelce Wielkie-Rajsko [4]



Rys. 3. Etapy rozwoju geotektonicznego piętra mezozoicznego i kenozoicznego na linii Grobla-Strzelce Wielkie-Rajsko [4]

której występowanie wiąże się z rowami tektonicznymi, w obrębie których zachodziła zwiększona subsydencja, a ciągłość sedimentacyjna sprzyja występowaniu i zachowaniu geochemicznych facji roponośnych. Obecność i zasięg pokrywy permo-triasowej można uznać za korzystną wskazówkę występowania potencjalnych stref roponośnych.

Formacja jurajska to utwory doggeru i malmu, które zalegają niezgodnie na starokimeryjskiej i powaryscyjskiej powierzchni (prekambr, dewon, karbon). Morskie utwory doggeru reprezentują wapienie, piaskowce i serie skał

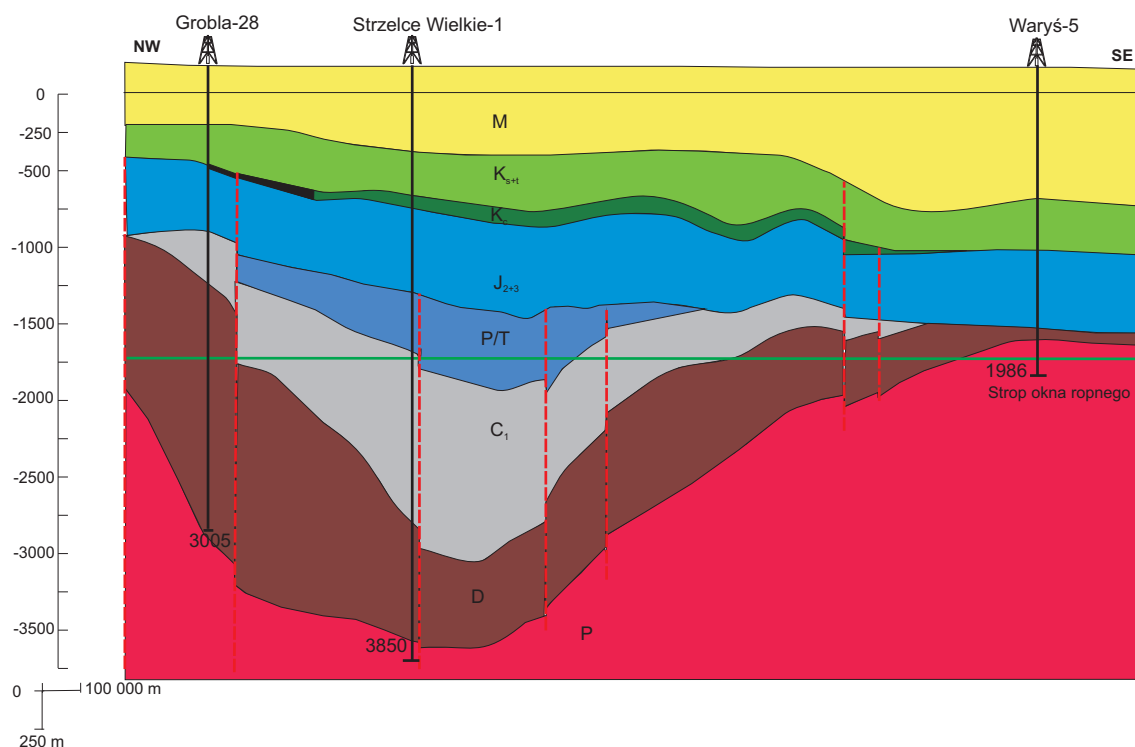
iłowcowo-mułowcowych, które spełniają cechy macierzystości. Utwory malmu to dolomity, wapienie, margle detrytyczne i organogeniczne, które wykazują niski stopień macierzystości. Udział skał macierzystych w profilu jury ocenia się na około 45% [3].

Utwory kredy górnej to piaskowce i zlepieńce cenomanu oraz węglanowe utwory turonu-senonu zamykające cykl osadów kompleksu mezozoicznego. Utwory margliste kredy górnej o niskiej macierzystości mogą mieć mięszsnościowy udział w profilach średnio 40% [3].

Ważną pozycję w sekwencji tych utworów spełniają

piaszczyste utwory cenomanu, których jednolita pokrywa występowania ogranicza się do centralnej części obszaru. Osady tego wieku tworzą nieckowatą zatokę zbiornika cenomańskiego o południkowej rozciągłości osiowej, w której miąższości osiągają ponad 100 m. Poziom ten charakteryzuje się dobrymi parametrami zbiornikowymi.

Utwory cenomanu spełniają więc ważną rolę, rozpraszając migracyjne węglowodory pod pokrywą uszczelniającą węglanowych utworów turonu-senonu, występującą na całym obszarze o miąższościach od kilkudziesięciu do kilkuset metrów wraz z nadległym przykryciem piaszczysto-mułowcowym osadów mioceńskich.



Rys. 4. Schematyczny przekrój geologiczny (etap czwartorzędowy) rejonu Grobla-Strzelce Wielkie-Waryś (D – dewon, C₁ – karbon dolny, P/T – permo-trias, J₂₊₃ – jura środkowa i górna, K_c – kreda cenoman, K_{st} – kreda górna senon-turon, M – miocen [3])

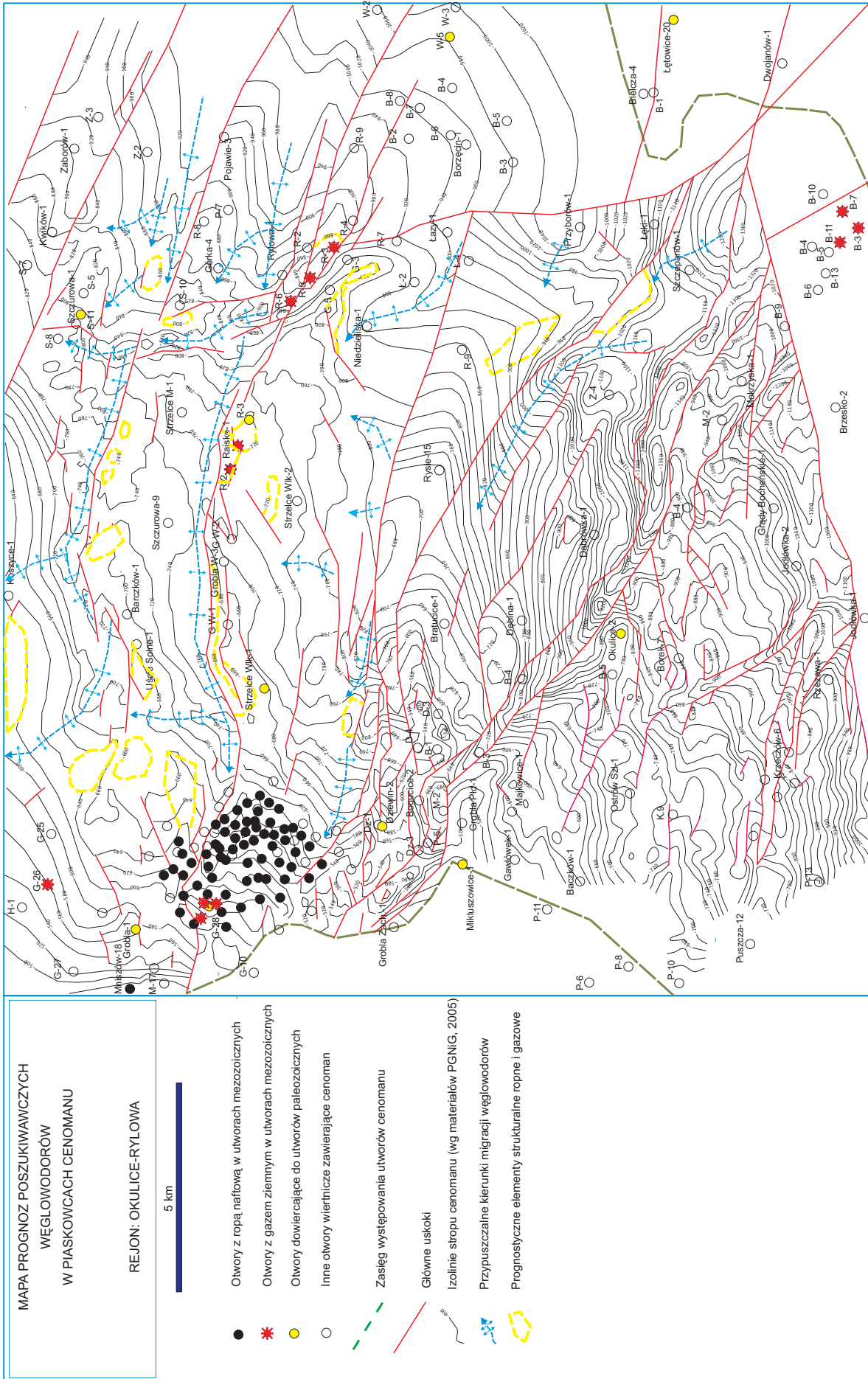
Materiały i metody

Analiza stężenia metanu

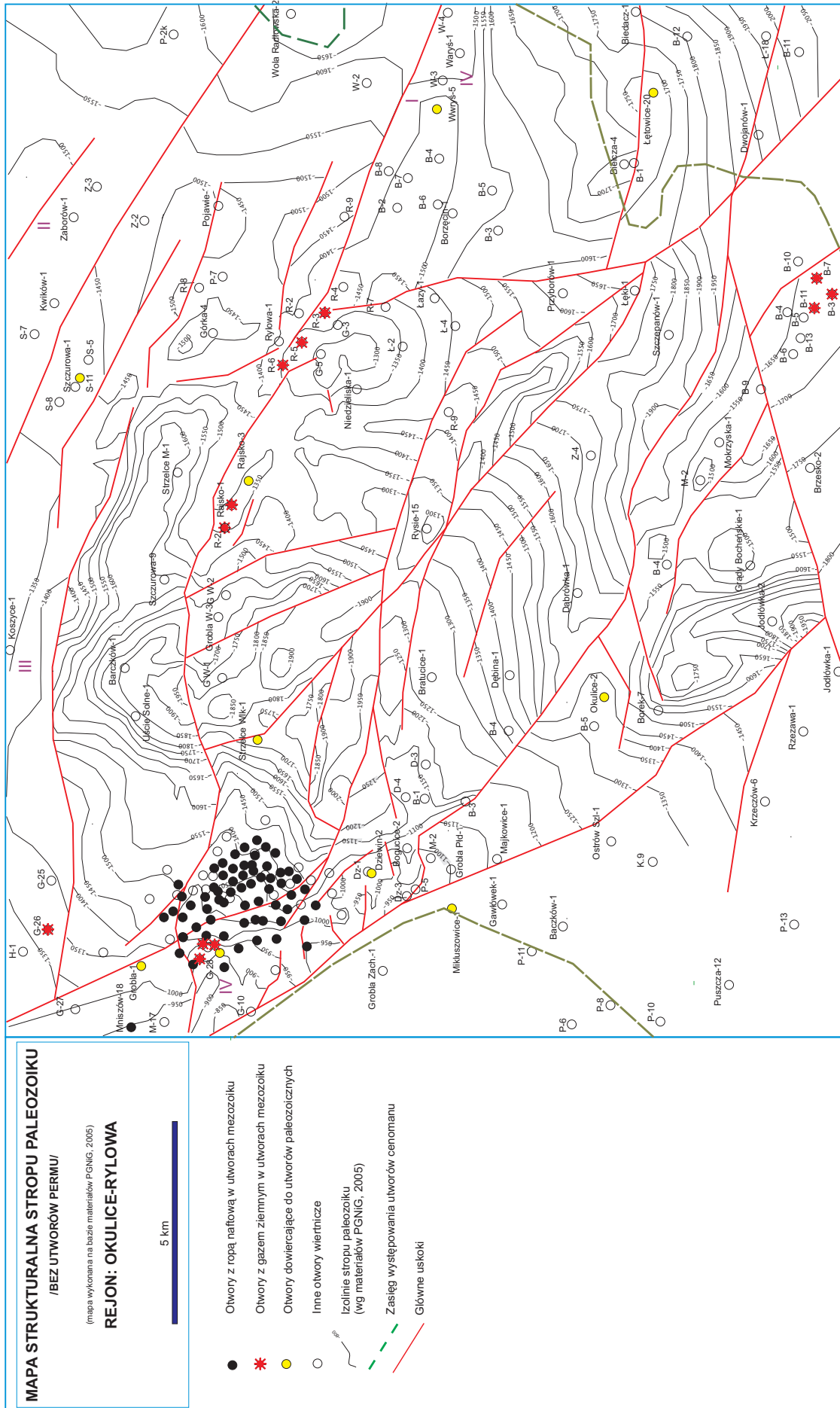
Stężenie metanu analizowano z wykorzystaniem aparatu do pomiaru stężenia metanu z detektorem jonizacyjno-płomieniowym (Portafid M3K) oraz analizatorem gazu GA-2000. Przy pomocy aparatu Portafid MK3 wykonywano badania polegające na ciągłym podciśnieniowym (przy wykorzystaniu wbudowanej do urządzenia pompki) poborze próby gazu, który jest doprowadzany do detektora FID. Urządzenie służy do pomiaru niskich stężeń zawartości metanu. Wykonywane pomiary miały na celu sprawdzenie, czy na powierzchni badanego terenu występuje emisja metanu. Jako punkty pomiarowe przyjmowano miejsca poboru prób gleby do badań mikrobiologicznych. Badania emisji powierzchniowej wykonywano w terenie w trzech seriach pomiarowych [3, 4].

Analizy mikrobiologiczne

Badania terenowe wykonano w porze wiosenno-letniej, do analizy pobrano 459 prób gleby z rejonu złóż Ryłowa, Rajska, otworu Okulice-2 oraz złoża Grobla. Glebę pobierano z głębokości 20÷30 cm pod powierzchnią do sterylnych, szklanych pojemników. Po przewiezieniu do laboratorium mikrobiologicznego odważono dokładnie 10 g gleby, zawieszano w 90 ml soli fizjologicznej i wstrząsano przez 1 godzinę. Następnie pobierano po 1 ml tak otrzymanej zawiesiny i poddawano analizie ilościowej na obecność bakterii metanotrofowych (utleniających metan), mikroorganizmów utleniających propan/butan oraz (tylko w niektórych przypadkach) mikroorganizmów utleniających wyższe węglowodory, stosując metodę płytek lanych Kocha.



Rys. 5. Mapa prognoz poszukiwawczych węglowodorów w piaskowcach cenomanu [3]



Rys. 6. Mapa strukturalna stropu paleozoiku (bez utworów permu) [3]

Stosowano następujące podłoża:

- dla oznaczenia liczby bakterii utleniających metan (metanotrofowych) – podłoże dla bakterii metanotrofowych [1],
- dla oznaczenia liczby bakterii utleniających propan/butan – podłoże dla bakterii degradujących węglowodory [1].

Do sporządzania podłoży wykorzystywano odczynniki o czystości analitycznej, pochodzące w większości z firmy Polskie Odczynniki Chemiczne z Gliwic. Wyjątkiem były węglowodory, które pochodziły z firm Reachim i Fluka. Ropa naftowa pochodziła ze złoża Grobla – otwór G-49.

Bakterie metanotrofe oraz mikroorganizmy utleniające propan/butan oznaczano jako mikroorganizmy wskazujące na obecność podwyższonego stężenia węglowodorów (mikroorganizmy wskaźnikowe). Mikroorganizmy hodowano w stałej temperaturze wynoszącej 30°C. Dla bakterii metanotrofowych i mikroorganizmów utleniających propan/butan odczytów dokonywano po 10 dniach. Po tym okresie przenoszono kolonie na podłoże płynne, mineralne i inkubowano w atmosferze metanu lub propanu/butanu (w celu potwierdzenia zdolności wykorzystania danego węglowodoru jako jedyne źródła węgla). Szybkość wzrostu oceniano turbidymetrycznie, mierząc absorbancję przy długości fali 620 nm. Wyniki podano jako liczbę mikroorganizmów w 1 g gleby (suchej masy). Szczegółową identyfikację niektórych wyizolowanych mikroorganizmów przeprowadzono przy pomocy selektywnych podłoży oraz wykorzystywano

półautomatyczny system do identyfikacji mikroorganizmów na podstawie testów biochemicznych Mini API firmy bioMerieux.

Analiza wyników

Niepewność oszacowania wyników dla uzyskanych wartości ilościowych oznaczających liczbę mikroorganizmów oszacowano na podstawie odchylenia standardowego (S). Aby prawidłowo ocenić, jaka liczba mikroorganizmów oznacza stan anomalny i porównać ze sobą wartości uzyskane dla mikroorganizmów utleniających metan oraz mikroorganizmów utleniających propan/butan, wyniki poddano standaryzacji zgodnie z zasadami statystyki [10], według wzoru:

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{S}$$

gdzie:

Z – pomiar standaryzowany,

X – pomiar danej wartości,

\bar{X} – średnia,

S – odchylenie standardowe.

Wartości niższe od sumy średniej i połowy wartości odchylenia standardowego przyjęto jako tło. Wartości równe sumie wartości średniej i połowie odchylenia standardowego uznano za wartości anomalne, ze względu na stosunkowo niewielkie zagęszczenie pobranych prób.

Wyniki i dyskusja

Wyniki pomiarów stężenia metanu przedstawiono na mapie lokalizacji miejsc poboru prób w terenie (rysunek 7). Największe nagromadzenie metanu występuje w strefach przyodwiertowych w rejonie Grobli, gdzie metan wydobywa się w wyniku lokalnej nieszczelności rur pod powierzchnią gleby lub rozszczelnień w poszczególnych sekwencjach stratygraficznych. Na pozostałej części obszaru wyniki były zerowe, za wyjątkiem wycieków z nieszczelnych rur zlikwidowanych odwiertów.

Wyniki badań mikrobiologicznych przedstawiono w tabelicy 1. Dla danego punktu przedstawione są one jako wartości bezwzględne (tj. liczba mikroorganizmów w 1 g gleby) oraz wartości standaryzowane. Dla uproszczenia, ze względu na dużą liczbę pobranych prób, przedstawiono tylko te wyniki, w których zaobserwowano wartości anomalne dla obu grup mikroorganizmów. Całkowita liczba bakterii metanotrofowych na badanym obszarze wahała

się od 2×10^2 do $7,6 \times 10^6$ w 1 g gleby, podczas gdy dla mikroorganizmów utleniających propan/butan wartość ta wahała się od $1,2 \times 10^2$ do $1,27 \times 10^6$. Wartości średnie wynosiły odpowiednio $8,00 \times 10^5$ przy standardowym odchyleniu $1,14 \times 10^5$ i $1,23 \times 10^5$ przy standardowym odchyleniu $1,90 \times 10^4$ w 1 g gleby. Ze względu na duży rozrzut otrzymanych wyników (co pokazują wysokie wartości odchylenia standardowego dla obu badanych grup) należy zwrócić uwagę, że w niektórych przypadkach wartości uznane za anomalne i te, które nie zostały tak zaklasyfikowane dzieli minimalna różnica w wartościach bezwzględnych. Oczywiście, gdyby odrzucić wartości skrajne, wtedy otrzymałoby się lepszy rozkład i w związku z tym mniejsze różnice, jednakże w przypadku wspólnego analizowania prób pochodzących z dużego obszaru takie podejście wyeliminowałoby najwyższe wartości, jak również zaklasyfikowałoby wartości potencjalnie wątpliwe jako

Tablica 1. Zestawienie punktów pomiarowych i odpowiadających im anomalnych wartości dla bakterii metanotrofowych (metanotroficznych) i mikroorganizmów utleniających propan/butan

Nr badanej próby	Liczba mikroorganizmów utleniających propan-butan w 1 g gleby	Odchylenie standardowe	Liczba mikroorganizmów utleniających metan w 1 g gleby	Odchylenie standardowe	Wartości anomalne mikroorganizmów utleniających propan-butan (po standaryzacji)	Wartości anomalne mikroorganizmów utleniających metan (po standaryzacji)
109	$2,3 \times 10^5$	$6,2 \times 10^4$	$3,7 \times 10^6$	$9,2 \times 10^5$	0,56	2,55
138	$2,5 \times 10^5$	$7,0 \times 10^4$	$2,9 \times 10^6$	$7,3 \times 10^5$	0,67	1,85
142	$2,7 \times 10^5$	$8,5 \times 10^4$	$1,9 \times 10^6$	$6,8 \times 10^5$	0,77	0,97
160	$2,7 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$	$3,0 \times 10^6$	$5,7 \times 10^5$	0,77	1,94
310	$4,2 \times 10^5$	$5,5 \times 10^4$	$2,9 \times 10^6$	$8,4 \times 10^5$	1,56	1,85
312	$3,5 \times 10^5$	$4,5 \times 10^4$	$7,1 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$	1,19	5,54
324	$4,5 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$	$2,2 \times 10^6$	$9,2 \times 10^5$	1,72	1,24
327	$5,0 \times 10^5$	$6,2 \times 10^4$	$1,8 \times 10^6$	$6,5 \times 10^5$	1,98	0,88
329	$4,5 \times 10^5$	$4,8 \times 10^4$	$1,4 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	1,61	0,53
330	$4,2 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$1,8 \times 10^6$	$7,3 \times 10^5$	1,56	0,88
335	$8,4 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$4,9 \times 10^6$	$8,5 \times 10^5$	3,77	3,61
337	$7,8 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$6,8 \times 10^5$	3,45	1,41
338	$6,7 \times 10^5$	$9,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^6$	$7,5 \times 10^5$	2,87	1,50
339	$9,6 \times 10^5$	$9,8 \times 10^4$	$1,9 \times 10^6$	$7,2 \times 10^5$	4,40	0,97
341	$1,3 \times 10^6$	$3,2 \times 10^5$	$3,7 \times 10^6$	$6,9 \times 10^5$	6,03	2,55
346	$4,5 \times 10^5$	$8,4 \times 10^4$	$7,4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$	1,72	5,80
347	$8,2 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	$3,8 \times 10^6$	$8,4 \times 10^5$	3,66	2,64
348	$7,1 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	$2,6 \times 10^6$	$6,1 \times 10^5$	3,08	1,59
349	$3,7 \times 10^5$	$8,1 \times 10^4$	$5,1 \times 10^6$	$9,8 \times 10^5$	1,30	3,78
350	$4,9 \times 10^5$	$7,5 \times 10^4$	$3,5 \times 10^6$	$8,4 \times 10^5$	1,93	2,38
351	$4,7 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$2,9 \times 10^6$	$4,7 \times 10^5$	1,82	1,85
352	$2,5 \times 10^5$	$4,8 \times 10^4$	$2,1 \times 10^6$	$6,0 \times 10^5$	0,67	1,15
353	$3,6 \times 10^5$	$5,2 \times 10^4$	$1,9 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	1,24	0,97
354	$3,9 \times 10^5$	$7,4 \times 10^4$	$2,5 \times 10^6$	$6,8 \times 10^5$	1,40	1,50
356	$7,0 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$1,8 \times 10^6$	$5,7 \times 10^5$	3,03	0,88
357	$5,7 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$	$6,3 \times 10^5$	2,35	0,71
358	$8,4 \times 10^5$	$1,95 \times 10^5$	$4,1 \times 10^6$	$2,5 \times 10^5$	3,77	2,90
363	$4,6 \times 10^5$	$5,8 \times 10^4$	$3,4 \times 10^6$	$6,1 \times 10^5$	1,77	2,29
367	$2,6 \times 10^5$	$4,2 \times 10^4$	$2,2 \times 10^6$	$3,7 \times 10^5$	0,72	1,24
371	$2,5 \times 10^5$	$4,8 \times 10^4$	$2,1 \times 10^6$	$7,5 \times 10^5$	0,67	1,15
372	$2,3 \times 10^5$	$5,1 \times 10^4$	$1,4 \times 10^6$	$4,6 \times 10^5$	0,56	0,53
377	$3,9 \times 10^5$	$5,6 \times 10^4$	$1,7 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	1,40	0,80
388	$4,5 \times 10^5$	$6,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	1,72	0,71
390	$1,1 \times 10^6$	$1,15 \times 10^5$	$2,7 \times 10^6$	$4,8 \times 10^5$	4,66	1,68
392	$5,6 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$1,9 \times 10^6$	$6,2 \times 10^5$	2,30	0,97
396	$5,3 \times 10^5$	$7,3 \times 10^4$	$2,9 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	2,14	1,85
398	$7,0 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	$2,2 \times 10^6$	$5,7 \times 10^5$	3,03	1,24
399	$3,4 \times 10^5$	$4,9 \times 10^4$	$2,4 \times 10^6$	$4,1 \times 10^5$	1,14	1,41
402	$4,5 \times 10^5$	$4,8 \times 10^4$	$2,3 \times 10^6$	$3,2 \times 10^5$	1,72	1,32
403	$4,2 \times 10^5$	$5,5 \times 10^4$	$1,9 \times 10^6$	$7,5 \times 10^5$	1,56	0,97

cd. Tablica 1

Nr badanej próby	Liczba mikroorganizmów utleniających propan-butan w 1 g gleby	Odchylenie standardowe	Liczba mikroorganizmów utleniających metan w 1 g gleby	Odchylenie standardowe	Wartości anomalne mikroorganizmów utleniających propan-butan (po standaryzacji)	Wartości anomalne mikroorganizmów utleniających metan (po standaryzacji)
404	$3,8 \times 10^5$	$5,2 \times 10^4$	$1,8 \times 10^6$	$6,9 \times 10^5$	1,35	0,88
406	$3,3 \times 10^5$	$6,1 \times 10^4$	$2,2 \times 10^6$	$5,2 \times 10^5$	1,09	1,23
409	$4,3 \times 10^5$	$6,0 \times 10^4$	$2,5 \times 10^6$	$6,4 \times 10^5$	1,61	1,50
410	$4,4 \times 10^5$	$5,7 \times 10^4$	$1,8 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	1,66	0,88
413	$4,3 \times 10^5$	$6,5 \times 10^4$	$3,8 \times 10^6$	$5,3 \times 10^5$	1,61	2,64
415	$2,3 \times 10^5$	$4,4 \times 10^4$	$6,7 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	0,56	5,18
416	$4,7 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$	$1,8 \times 10^6$	$8,8 \times 10^5$	1,82	0,88
419	$2,4 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	$1,7 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	0,61	0,80
420	$8,1 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$4,3 \times 10^6$	$8,0 \times 10^5$	3,61	3,08
421	$7,3 \times 10^5$	$1,35 \times 10^5$	$3,4 \times 10^6$	$6,3 \times 10^5$	3,19	2,29
425	$2,9 \times 10^5$	$5,9 \times 10^4$	$2,1 \times 10^6$	$6,3 \times 10^5$	0,88	1,15
426	$3,4 \times 10^5$	$5,2 \times 10^4$	$1,5 \times 10^6$	$5,8 \times 10^5$	1,14	0,62
430	$4,1 \times 10^5$	$8,5 \times 10^4$	$2,3 \times 10^6$	$7,8 \times 10^5$	1,51	1,32
432	$5,4 \times 10^5$	$7,2 \times 10^4$	$2,8 \times 10^6$	$8,2 \times 10^5$	2,19	1,76
447	$3,4 \times 10^5$	$6,7 \times 10^4$	$1,8 \times 10^6$	$6,5 \times 10^5$	1,14	0,88
450	$5,0 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$	$1,2 \times 10^6$	$7,4 \times 10^5$	1,98	1,24

anomalne. Analiza otrzymanych wyników wykazała, że większość wartości dla obu grup mikroorganizmów na badanym obszarze oscylowała na poziomie tła. Identyczną sytuację zaobserwowano podczas analizowania stężenia metanu. Zaznaczyły się jednak wyraźne wartości anomalne dla prób pobranych w określonych miejscach.

Bardzo interesująco przedstawiają się rezultaty otrzymane na obszarze złoża gazu Rajsco (rysunek 6). Złoże to, podobnie jak złoże Rylowa, nie było jeszcze zagospodarowane w czasie prowadzenia badań, dlatego też stanowiło bardzo dobry obiekt badawczy. Na obszarze całego złoża wykazano silną anomalię mikrobiologiczną, co zostało potwierdzone przez analizę dodatkowych prób. Jednocześnie wykonano badania poza obszarem złoża, które wykazały, że wartości anomalne znajdują się także na południe i południowy wschód od konturu złoża. Nie zaobserwowano natomiast wartości anomalnych na północ i północny wschód od odwiertu Rajsco-3, jak również w okolicach odwiertu Grobla Wschód-2, które okazały się negatywne. Dodatkowym aspektem jest fakt, że dla znacznej liczby punktów pomiarowych stwierdzono wartości anomalne zarówno dla bakterii metanotrofowych, jak i dla mikroorganizmów utleniających propan/butan. Nie wykazano natomiast obecności mikroorganizmów wykorzystujących węglowodory alifatyczne ciekłe C_7

(n-heptan), C_{10} (n-dekan), C_{16} (n-heksadekan), ani ropy naftowej, z wyjątkiem prób pobranych bezpośrednio przy odwiertach Rajsco-1 i Rajsco-2 (może być to związane z lokalnym zanieczyszczeniem gleby w związku z pracami konserwacyjnymi wykonywanymi okresowo). Tak więc badania nie tylko potwierdzają obecność złoża gazu, ale – co ważniejsze – wskazują na migrację węglowodorów poza rozpoznany w wyniku badań sejsmicznych obszar, co może być odzwierciedleniem akumulacji o szerszym zasięgu.

Badania przeprowadzone na obszarze wyeksploatowanego złoża ropy naftowej Grobla (rysunek 7) również wykazały obecność anomalii mikrobiologicznej. Podobnie jak dla złoża Rajsco, również na obszarze złoża Grobla wartości anomalne dotyczyły zarówno bakterii metanotrofowych, jak i mikroorganizmów utleniających propan/butan. Wynik ten odzwierciedla fakt, że złoże Grobla jest złożem ropnym z tzw. czapą gazową, stąd anomalii zaobserwowanej dla mikroorganizmów utleniających propan/butan towarzyszy anomalia dotycząca liczby metanotrofów. W odróżnieniu jednak od wyników uzyskanych na obszarze złoża Rajsco rozkład wartości anomalnych koncentrował się bardziej w okolicach pracujących odwiertów. Wynika to najprawdopodobniej ze znacznego stopnia szczypania złoża i istnienia znacznych stref drenażu, co ma odzwierciedlenie w liczbie mikroorganizmów. Przy samych odwiertach migracja dalej

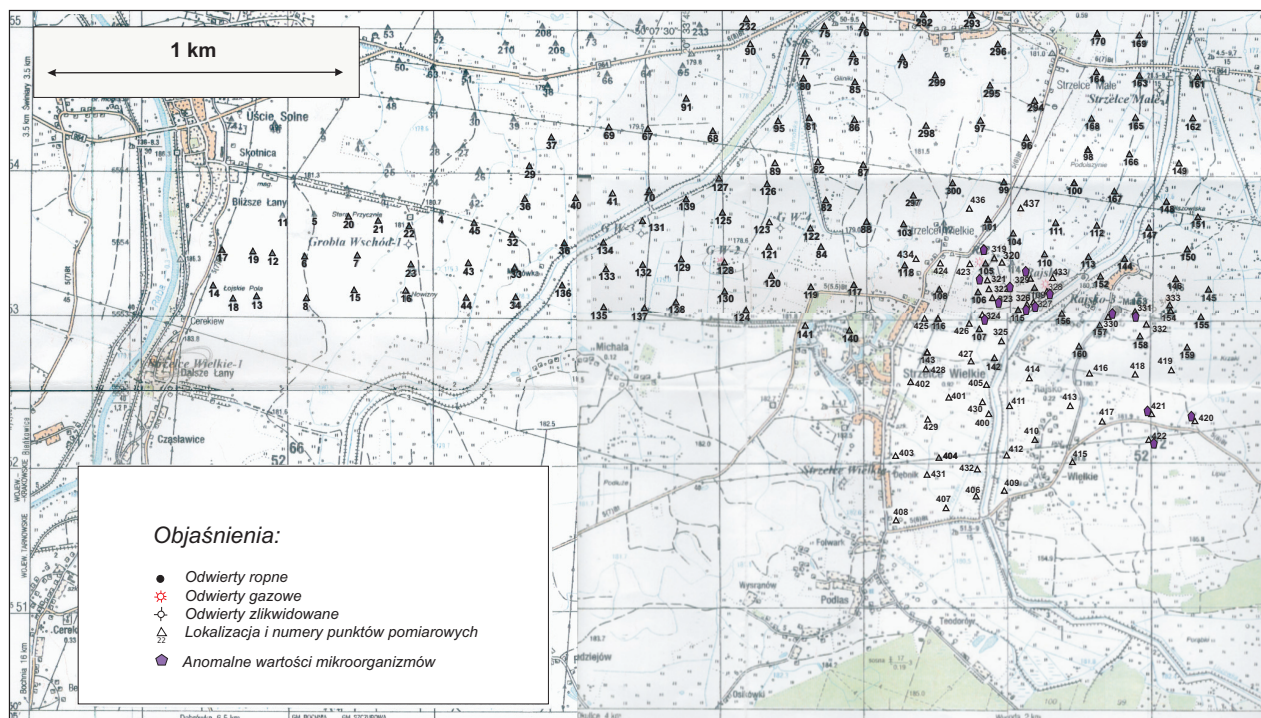
jest obecna, wzmocniona dodatkowo ekshalacjami gazu (co potwierdzają wysokie wartości stężenia metanu w warstwie przypowierzchniowej, stwierdzone w bezpośrednim sąsiedztwie np. odwiertów G-36 i G-79). Jednakże pewne zasoby pozostają w złożu, o czym świadczy choćby maksymalna liczba mikroorganizmów utleniających propan/butan, wynosząca $1,27 \times 10^6$ w 1 g gleby (wartość po standaryzacji 6,03) otrzymana dla punktu pomiarowego 341. Potwierdzeniem faktu iż wykazane wartości anomalne mają ścisły związek ze złożem było to, że we wszystkich analizowanych próbach, w których wykazano wartości anomalne, stwierdzono również mikroorganizmy zdolne do wykorzystywania ciekłych węglowodorów alifatycznych (n-heptanu, n-dekanu, n-heksadekanu) oraz ropy naftowej jako jedyne źródła węgla. Wykonany pomiar stężenia gazu wykazał (poza, jak już wspomniano, bezpośrednim sąsiedztwem niektórych odwiertów) brak obecności metanu w warstwach przypowierzchniowych. Można to wytłumaczyć na dwa sposoby. Po pierwsze, długoletnia eksploatacja złoża powoduje spadek naturalnej migracji i w związku z tym nie jest możliwe wykazanie obecności węglowodorów w warstwach przypowierzchniowych. Po drugie, istniejąca silna populacja mikroorganizmów z całą pewnością jest w stanie wykorzystać jako substrat wzrostowy całą dostępną ilość węglowodorów, jeśli oscyluje ona na poziomie kilku ppm, biorąc pod uwagę, że całkowita liczba mikroorganizmów nie przekracza pewnej określonej liczby. Takim przykładem mogą być leżące blisko siebie punkty pomiarowe 345 i 346 (rysunek 7), dla których w obu przypadkach wykazano silną anomalię, jeśli chodzi o bakterie metanotrofowe ($4,2 \times 10^6$ i $7,4 \times 10^6$ w 1 g gleby, wartości wystandaryzowane odpowiednio 2,99 i 5,80), natomiast obecność wysokiego stężenia metanu w warstwach przypowierzchniowych – 190 ppm wykazano tylko dla drugiego z nich. Liczba mikroorganizmów stwierdzona dla punktu 346 jest najprawdopodobniej maksymalną, jaką mogły one osiągnąć w tych konkretnych warunkach glebowych (jest to druga maksymalna wartość, z punktu widzenia oznaczeń liczby bakterii metanotrofowych praktycznie równa wartości maksymalnej, która wyniosła $7,6 \times 10^6$ w 1 g gleby). Potwierdzeniem tej drugiej tezy może być także brak stwierdzenia obecności gazu w warstwach przypowierzchniowych na obszarze złoża Rajska, gdzie zaobserwowano silną anomalię mikrobiologiczną, a złożo nie było jeszcze eksploatowane.

Anomalne wartości mikrobiologiczne otrzymano także dla rejonu Okulic. W tym wypadku ich interpretacja wydaje się być trudniejsza. Jeśli chodzi o punkty pomiarowe pobrane w okolicy zlikwidowanego odwiertu Okulice-2,

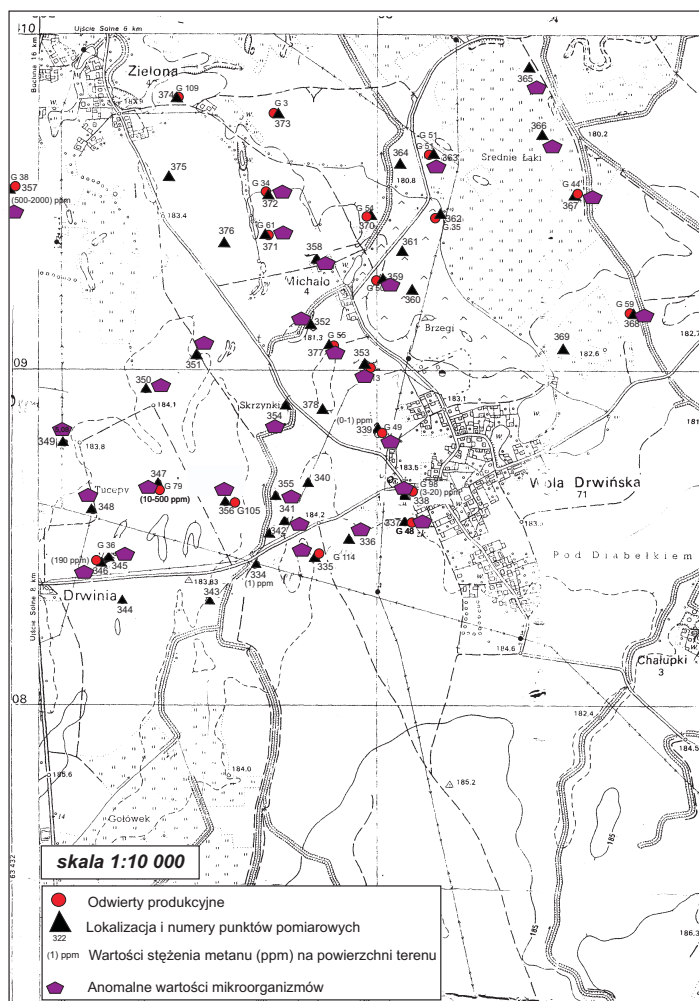
to wartości anomalne wykazano w punktach zlokalizowanych przede wszystkim na południe od odwiertu. Wartości anomalne stwierdzono także w innych punktach rejonu (rysunek 8), jednak ze względu na przyjętą siatkę trudno jednoznacznie wskazać na ich źródło. Nasuwa się więc tu wniosek o konieczność uściślenia otrzymanych wyników w ramach dalszej pracy badawczej, tym bardziej, że dla wielu punktów otrzymano bardzo wysokie wartości anomalne (punkty 380, 383 – dla mikroorganizmów utleniających propan/butan, oraz 390, 392, 396, 398 – dla obu grup mikroorganizmów) (rysunek 8). Badany rejon jest o tyle interesujący, że w większości obejmuje środowisko praktycznie nienaruszone w wyniku działalności człowieka. Innymi słowy: można wykluczyć antropogeniczne pochodzenie obserwowanych anomalii.

Dla złoża Ryłowa na 22 próby pobrane z obszaru złożowego tylko 3 wykazały się wartościami anomalnymi (rysunek 6). Należy tutaj od razu zwrócić uwagę, że złożo to znajduje się w zasadzie poza omawianym obszarem. Tym niemniej otrzymane wartości wskazują jednoznacznie na obecność złoża, ze wskazaniem na złożo gazu, co potwierdzone zostało przez brak obecności mikroorganizmów wykorzystujących węglowodory alifatyczne ciekłe (n-heptan i n-dekan) jako jedyne źródło węgla. Na pozostałym badanym obszarze (zlokalizowanym pomiędzy miejscowościami Uście Solne i Strzelce Małe) wykazano jedynie pojedyncze wartości anomalne. Nieco większą koncentrację wartości anomalnych stwierdzono w rejonie Barczkowa, jednak prowadzone tam wcześniej prace wiertnicze nie wykazały obecności żadnej pułapki, w związku z czym wartości te można przypisać procesom biogennym, względnie potraktować je jako ślady po migracji węglowodorów na powierzchnię w związku z brakiem akumulacji. Możliwe jest jednak, że takie wskazania sugerują obecność niewielkich akumulacji, trudnych do wykrycia innymi metodami i zawierających ilości węglowodorów nieopłacalne do eksploatacji z ekonomicznego punktu widzenia.

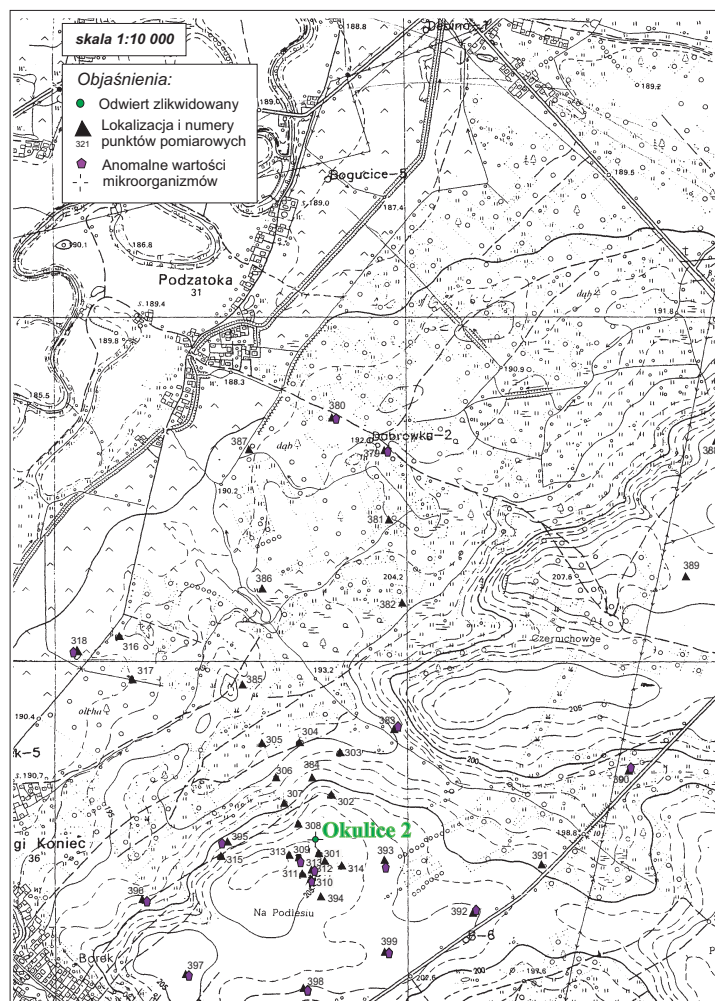
Podsumowując, otrzymane wyniki wskazują na przydatność mikrobiologicznej metody powierzchniowej jako narzędzia badawczego. Badając różne grupy mikroorganizmów, można nie tylko potwierdzić obecność złoża, ale spróbować wskazać na typ akumulacji. Wagner i in. [15], opisując szereg przykładów zastosowania metody mikrobiologicznej w Europie Zachodniej, rozróżniają anomalię typu gazowego i typu ropnego, przy czym dla typu ropnego uwzględnione są węglowodory C_2 – C_8 . Jednak wyniki otrzymane na złożach Grobla i Rajska nie dają podstaw do jednoznacznej interpretacji co do charakteru akumula-



Rys. 7. Lokalizacja miejsc poboru prób w terenie w rejonie Grobla Wschód-Strzelce Wielkie-Rajsko



Rys. 8. Lokalizacja miejsc poboru prób w terenie w rejonie złoża Grobla



Rys. 9. Lokalizacja miejsc poboru prób w terenie w rejonie Okulice

cji tylko na podstawie analizy wartości otrzymanych dla metanotrofów i mikroorganizmów utleniających propan/butan. Natomiast taką informację wydaje się dawać analiza mikrobiologiczna uwzględniająca wykorzystanie wyższych węglowodorów alifatycznych. Natomiast jeśli chodzi o wykorzystanie metody w celu dokładnego wskazania miejsca przyszedłego wiercenia, to badania mikrobiologiczne można i należy stosować jako metodę pomocniczą w stosunku do innych metod geochemicznych oraz sejsmicznych. Potwierdzają to wstępne wyniki uzyskane w rejonie Munina Wielka–Morawsko [5], gdzie wykazana po wykonaniu

wspólnych badań geochemicznych i mikrobiologicznych anomalia została potwierdzona po odwierceniu odwiertu Morawsko-2, charakteryzującego się przemysłowym przyływem gazu. Należy jeszcze wspomnieć o tym, że badania mikrobiologiczne zostały wykonane z wykorzystaniem tzw. klasycznych metod [15]. Obecnie następuje bardzo szybki rozwój tzw. metod molekularnych, pozwalających na analizę także tych populacji mikroorganizmów, których obecności nie daje się stwierdzić metodami klasycznymi. Przykładem zastosowania takich metod jest praca autorstwa Zhang i in. [16].

Wnioski

1. Mapa prognoz poszukiwawczych węglowodorów w piaskowcach cenomanu pokazuje główne kierunki migracji węglowodorów, odpowiadające strefom poziomego drenażu, oraz wyznaczenie elementów prognostycznych (rysunek 5).
2. W planie strukturalnym stropowej powierzchni karbonu (mapa strukturalna stropu paleozoiku bez utworów permu) w rejonie Okulice–Rylowa (rysunek 6) uwidacznia się odrębny styl blokowej budowy części północnej od południowej. Linią oddzielającą stanowi nożycowa strefa dyslokacyjna. W północnej części centralną pozycję zajmuje depresyjna strefa odpowiadająca depocentrum generacyjnemu, w której znajduje się odwiert Strzelce Wielkie-1.
3. Ocena procesów migracji w złożonym systemie wertykalnego drenażu nie jest możliwa w ilościowym ujęciu wszystkich procesów geologicznych. Z tego względu ograniczono się do jakościowego wyznaczenia kierunkowych stref drenażu, zgodnie z uwarunkowaniami tektoniczno-strukturalnymi w planie stropu cenomanu. W ten sposób uzasadniają one wyznaczenie optymalnych stref dla migracji węglowodorów do pułapek strukturalnych na mapie prognoz poszukiwawczych węglowodorów w piaskowcach cenomanu (rysunek 5).
4. Na podstawie badań mikrobiologicznych stwierdzono występowanie anomalnych wartości mikrobiologicznych na obszarze złóż Rajska, Rylowa i Grobla. Na obszarze złoża Rajska (rysunek 7) anomalia zarysowała się w większym stopniu niż na obszarze złoża Rylowa. Może to być spowodowane odmiennym charakterem gleb na obu obszarach.
5. Zgodnie z analizą mikrobiologiczną dużego obszaru złoża Rajska, anomalne wartości mikroorganizmów wskazujące na obecność złoża na znacznym obszarze reprezentują punkty pomiarowe: 406, 407, 408, 409, 415, 420, 421 i 422 (rysunek 7). Duże wartości anomalne mikroorganizmów od strony południowej i południowo-wschodniej mogą sygnalizować poszerzenie konturu złoża w stosunku do udokumentowanego.
6. Badania przeprowadzone na obszarze wyeksploatowanego złoża ropy naftowej Grobla (rysunek 8) wykazały obecność anomalii mikrobiologicznej. Podobnie jak dla złoża Rajska, również na obszarze złoża Grobla wartości anomalne dotyczyły zarówno bakterii metanotrofowych, jak i mikroorganizmów utleniających propan/butan. Wynik ten odzwierciedla fakt, że złożo Grobla jest złożem ropnym z tzw. czapą gazową, stąd anomalia zaobserwowanej dla mikroorganizmów utleniających propan/butan towarzyszy anomalia dotycząca liczby metanotrofów.
7. Dokonany pomiar oznaczenia liczby mikroorganizmów w relatywnej wartości 7,5 świadczy o tym, że przy tego typu wartościach następuje już maksymalne zagęszczenie na 1 g gleby i uzyskanie wartości znacznie większych jest praktycznie niemożliwe przy pozostałych stałych poziomach składników biochemicznych gleby. Pomiar przeprowadzony w punkcie sąsiednim, oddalonym o 40 m, gdzie nie stwierdzono obecności metanu w wartościach ppm większych niż 1, ukazuje stężenie bakterii w p. 345 ok. 3,4 na 1 g gleby, czyli połowę niższe (rysunek 8). Świadczy to o tym, że wartości 7 i wyższe mówią o maksymalnym zagęszczeniu bakterii metanotrofowych i mikroorganizmów utleniających propan, butan.
8. Wyniki badań mikrobiologicznych w rejonie Okulice wskazują, iż bardziej wskazane byłoby usytuowanie odwiertu w kierunku południowym, ze względu na występowanie anomalnych wartości mikroorganizmów w punktach 309, 310, 312, 396, 397, 398, 399 i 392 (rysunek 9).

9. Dla złoża Ryłowa stwierdzono, że na 22 próby, tylko 3 wykazały się wartościami anomalnymi (rysunek 7). Otrzymane wartości wskazują jednoznacznie na obecność złoża, ze wskazaniem na złożę gazu, co potwierdzone zostało przez brak obecności mikroorganizmów wykorzystujących węglowodory alifatyczne ciekłe (n-heptan i n-dekan) jako jedyne źródło węgla.
10. Na pozostałym analizowanym obszarze (oprócz Grobli) wartości anomalii mierzone na powierzchni były zerowe, za wyjątkiem wycieków z nieszczelności rur nieeksploatowanych odwiertów.
11. Wydaje się celowe, aby w dalszych badaniach wprowadzić jako udoskonalenie nowoczesne techniki oparte na metodach molekularnych.

Literatura

- [1] Atlas R. M.: *Handbook of microbiological media*. Second Edition. CRC Press, 1997.
- [2] Curry S., Ciuffetti L., Hyman M.: *Inhibition of growth of a Graphium sp. on gaseous n-Alkanes by Gaseous n-Alkynes and n-Alkenes*. Appl. Environ. Microbiol. 1996, vol. 62, s. 2198–2200.
- [3] Dudek L., Matyasik I., Słoczyński T., Steczko A.: *Określenie dróg i kierunków migracji węglowodorów dla utworów podłoża mezozoiczno-paleozoicznego w strefie Rajska–Ryłowa–Okulice w oparciu o wyniki złożowe i modelowanie generacyjne*. Archiwum INiG, 2005, s. 14–16.
- [4] Dudek L., Strzetelski J., Botor D., Florek R.: *Potencjał naftowy podłoża mezo-paleozoicznego w rejonie Bochnia–Tarnów*. Prace INiG 2003, nr 122, s. 21, 22.
- [5] Górecki W., Soboń J., Kapusta P.: *Badania koncentracji metanu i bakterii utleniających węglowodory gazowe w aspekcie interpretacji pułapek naftowych w utworach miocenu we wschodniej części zapadliska przedkarpackiego – rejon Munina Wielka–Morawsko*. Pol. J. Min. Res. 2004, vol. 8, s. 151–155.
- [6] Hamamura N., Storfa R. T., Semprini L., Arp D. J.: *Diversity in butane monooxygenases among butane-grown bacteria*. Appl. Environ. Microbiol. 1999, vol. 65, s. 4586–4593.
- [7] Hanson R. S., Hanson T. E.: *Methanotrophic bacteria*. Microbiol. Rev. 1996, vol. 60, s. 439–471.
- [8] Jensen S. P., Rieme A., Bakken L.: *Methanol improves methane uptake in starved methanotrophic microorganisms*. Appl. Environ. Microbiol. 1998, vol. 64, s. 1143–1146.
- [9] Karaskiewicz J.: *Badania nad zastosowaniem metod mikrobiologicznych w poszukiwaniu złóż ropy naftowej i gazu ziemnego*. Prace Instytutu Naftowego, Katowice 1970.
- [10] Łomnicki A.: *Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
- [11] Schumacher D.: *Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments* [w:] D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., *Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir 1996*, vol. 66, s. 71–89.
- [12] Steffan R. J., McClay K., Vainberg S., Condee C. W., Zhang D.: *Biodegradation of the gasoline oxygenates methyl tert-butyl ether, ethyl tert-butyl ether, and tert-amyl ether by propane-oxidizing bacteria*. Appl. Environ. Microbiol. 1997, vol. 63, s. 4216–4222.
- [13] Tucker J., Hitzman D.: *Detailed microbial surveys help improve reservoir characterization*. Oil and Gas J. 1994, vol. 92, s. 65–69.
- [14] Wagner M., Rasch H. J., Piske J., Baum M.: *MPOG – Microbial prospection of Oil and Gas; field examples and their geological background*. East Meets West 1998.
- [15] Wagner M., Wagner M., Piske J., Smit R.: *Case histories of Microbial Prospection for Oil and Gas, Onshore and Offshore in Northwest Europe* [w:] D. Schumacher and L. A. LeSchack, eds., *Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics and remote sensing*. AAPG Studies in Geology no. 48 and SEG Geophysical References Series 2002, no. 11, s. 453–479.
- [16] Zhang F., She Y., Zheng Y., Zhou Z., Kong S., Hou D.: *Molecular biologic techniques applied to the microbial prospecting of oil and gas in the Ban 876 gas and oil field in China*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2012, vol. 86, s. 1183–1194.



Mgr inż. Lidia DUDEK – absolwentka Wydziału Geologiczno-Poszukiwawczego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie na stanowisku: Starszy Specjalista badawczo-techniczny, wykonująca prace w zakresie modelowania, generacji i ekspulsji węglowodorów.



Dr Piotr KAPUSTA – absolwent Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego. Adiunkt w Instytucie Nafty i Gazu, kierownik Zakładu Mikrobiologii Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zainteresowania badawcze: bioremediacja oraz mikrobiologia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego.