

## Jakie są możliwości geofizyki stosowanej?

Jadwiga Jarzyna<sup>1</sup>



Geofizyka stosowana jest tą gałęzią geofizyki, której wyniki znajdują bezpośrednie zastosowanie w pracach nad poszukiwaniem i rozpoznaniem złóż surowców stałych i wód oraz w pracach związanych z inżynierią i ochroną środowiska przyrodniczego. Omówienie wszystkich zagadnień, które są przedmiotem prac w obszarze geofizyki stosowanej jest zadaniem bardzo obszernym. Wybór tematyki może być dokonany według różnych schematów i punktów widzenia autorów. Celem niniejszej pracy jest prezentacja metod nowoczesnej geofizyki stosowanej do rozwiązywania zagadnień geologicznych, górniczych i inżynierskich, które zostały przedstawione podczas Pierwszego Polskiego Kongresu Geologicznego, przygotowanego przez Polskie Towarzystwo Geologiczne. Kongres ten odbył się w dniach 26–28 czerwca 2008 r. w Krakowie, a jedną z jego sesji była sesja geofizyczna. Obejmowała ona referaty i postery — łącznie 36 prac, które ukazały możliwości zastosowania geofizyki w szerokim obszarze nauk o Ziemi oraz zasygnalizowały nowoczesne metodyki pomiarowe i interpretacyjne w geofizyce poszukiwawczej, górniczej i geofizyce środowiska. Podczas sesji dokonano przeglądu zastosowań metod geofizycznych, począwszy od rozpoznania budowy Ziemi przez problematykę poszukiwania i rozpoznania złóż po zagadnienia górnicze i inżynierskie. Niektóre prace o tematyce geofizycznej były prezentowane także na innych sesjach. Materiały konferencyjne zostały wydane w zeszycie zawierającym krótkie streszczenia prac kongresowych (Pierwszy..., 2008).

Wielki wachlarz współczesnych metod geofizyki stosowanej oraz możliwości ich wykorzystania można przedstawić według różnych kluczy. W tej pracy, w celu uporządkowania prezentacji, jako nadrzędne przyjęto zagadnienia rozwiązywane metodami geofizycznymi. Następnego w kolejności podziału dokonano według rodzaju metod geofizycznych. Na końcu zwrócono uwagę na zastosowania nietypowe.

### Geofizyka w badaniach struktur geologicznych i poszukiwaniu oraz rozpoznawaniu złóż surowców mineralnych

W zagadnieniach rozpoznania szczegółów budowy geologicznej obok sejsmiki, ukierunkowanej na rozpoznanie głębokich struktur (Guterch i in., 2006), prym wiodą grawimetria, magnetometria i magnetotelluryka. Mapy grawimetryczne Karpat, prezentowane jako część *Atlasu geofizycznego Karpat*, sukcesywnie opracowywanego przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o. w Warszawie, ukazały nowe elementy orogenu karpackiego i jego podłoża (Ostrowski i in., 2008). W badaniach ukierunkowanych na rozpoznanie fliszu, miocenu oraz podłoża podtrzciorzędowego wzięto pod uwagę wszystkie dostę-

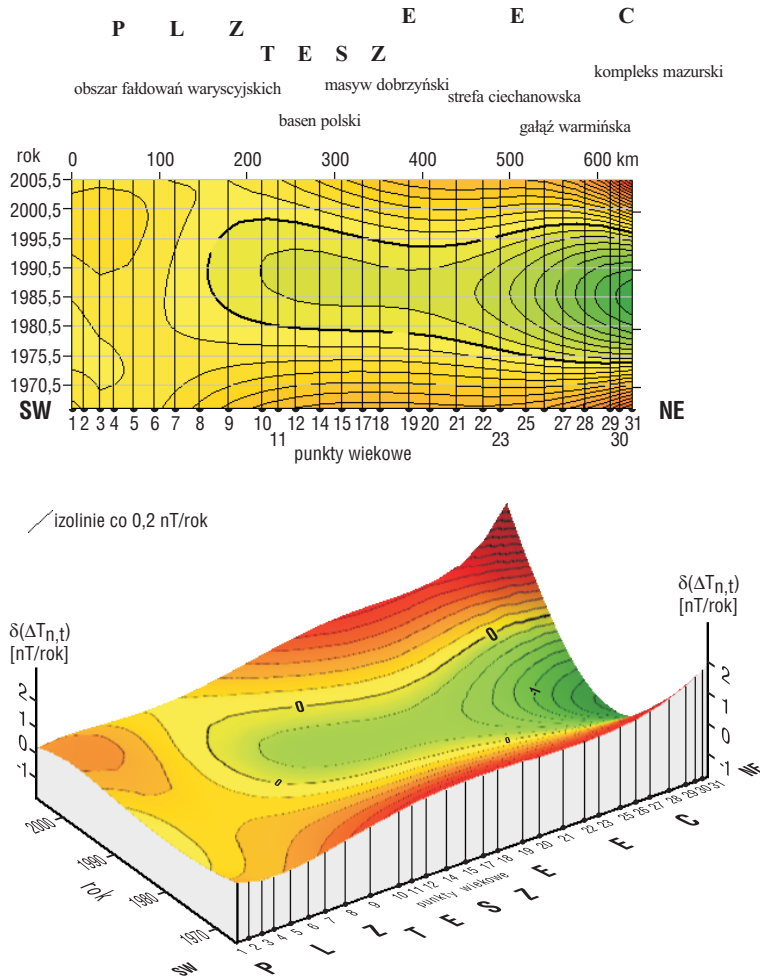
ne wyniki pomiarów, zunifikowane i przekształcone według nowoczesnych procedur. Mapy anomalii regionalnych w redukcji Bouguera, śledzonych na orientacyjnej głębokości poniżej 6 km p.p.m. i 15 km p.p.m., utworzone po przetworzeniu zebranych danych, mogą być wykorzystane zarówno w badaniach głębokich struktur Ziemi, jak i w prospekcji węglowodorów w Karpatach.

Znaczący wkład w rozpoznanie budowy geologicznej Polski wnoszą badania magnetyczne. Półszczęgółowe, naziemne zdjęcie magnetyczne pokrywa obszar prawie całej Polski. Pomiar i interpretację wykonano także w południowej części Bałtyku. Badania magnetyczne są podstawą lub były pomocne w wykryciu wielu złóż surowców mineralnych. Interpretacja zdjęć grawimetrycznych i magnetycznych w połączeniu z głębokimi badaniami sejsmicznymi daje możliwość rozpoznania struktur skorupy, a nawet płaszcza Ziemi. Metody magnetyczne cechują się stosunkowo łatwą i szybką techniką wykonywania pomiarów oraz nie zagrażają środowisku. Większość pomiarów magnetycznych na terenie Polski oraz ich interpretację, wraz z opracowaniem nowych technik pomiarowych i metodyk interpretacji, wykonało Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o. w Warszawie (Kossobudzka & Wrzeszcz, 2008).

W grupie badań magnetycznych stosowanych do rozpoznania budowy geologicznej obszaru Polski przedstawiono także wyniki pomiarów lokalnych, względnych zmian w czasie całkowitego pola magnetycznego Ziemi wzdłuż profilu Zgorzelec–Wiązajny. Profil ten, o długości około 700 km, przecina platformę paleozoiczną, strefę szwu transeuropejskiego i kraton wschodnioeuropejski. Badania względnych zmian w czasie natężenia całkowitego pola magnetycznego Ziemi wzdłuż profilu Zgorzelec–Wiązajny są prowadzone w Katedrze Geofizyki WGGiOŚ AGH od 1966 r. (Bojdyś i in., 2008). Pomiar wykonany w ciągu ostatnich 5 lat wyraźnie ujawnił przyspieszenie wzrostu natężenia pola magnetycznego w obszarze kratonu wschodnioeuropejskiego. Potwierdziły również zwiększoną dynamikę zmian pola w tym obszarze w odróżnieniu od strefy szwu transeuropejskiego i platformy paleozoicznej. W ostatnich opracowaniach cyklicznych badań magnetycznych w profilu Zgorzelec–Wiązajny zmodyfikowano dotychczasową metodykę badań względnych zmian wiekowych. Dokonano także nowej prezentacji tych zmian w czasie i przestrzeni (ryc. 1).

Przeprowadzone w ostatnich latach w Europie głębokie sondowania sejsmiczne projektu POLONAISE'97 oraz CELEBRATION 2000 wywołały potrzebę analizy pola termicznego Ziemi. Archiwalne dane termiczne z włączonymi nowymi wynikami, uzyskanymi z uwzględnieniem czynnika paleoklimatycznego (Szewczyk, 2008), pozwoliły na nowe obliczenia pola temperatur głębokiej litosfery południowej Polski. Dzięki temu skonstruowano mapy temperatury oraz gęstości strumienia ciepłego w strefie przejściowej Moho. Zaobserwowano podwyższone wartości strumienia oraz temperatur na granicy Moho w strefie Gorlice–Krosno. Uzyskany wynik powiązany z obniżeniem astenosfery w tym rejonie do około 50 km (Wróblewska, 2008).

<sup>1</sup>Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; jarzyna@uci.agh.edu.pl



**Ryc. 1.** Przestrzenno-czasowy wykres względnych wiekowych zmian natężenia pola magnetycznego Ziemi wzdłuż profilu Z-W (1968.5-2008.5). **A** — model 2D — izolinie obrazują względne zmiany pola magnetycznego ( $T_{n,t}$ ) aproksymowane wielomianem 3<sup>o</sup>; **B** — model 3D względnych zmian natężenia pola magnetycznego ( $T_{n,t}$ ), aproksymacja wielomianem 3<sup>o</sup> (Bojdyś i in., 2008)

Zmiany klimatyczne, obserwowane także w postaci zmian temperatury ośrodka skalnego na zadanej głębokości, wpływają na temperaturę skał z pewnym opóźnieniem, wynikającym z powolnego tempa rozprzestrzeniania się energii cieplnej w skałach. Na przykład sygnał o ociepleniu holoceniowym na powierzchni Ziemi, rozchodzący się w ośrodku o parametrach termicznych typowych dla skał osadowych na obszarze Polski, dotarł do głębokości zaledwie 1500–2000 m (Szewczyk, 2008). Temperatura skał występujących poniżej tej strefy odpowiada ciągle reżimowi termicznemu z okresu istnienia klimatu zimnego, tj. głównie zlodowacenia wisły. Efektem wpływu glacialnych zmian klimatycznych jest istotne zaburzenie warunków geotermicznych obserwowane w tym zakresie głębokości. W Państwowym Instytucie Geologicznym została opracowana nowa, jednolita mapa gęstości strumienia ciepłego, uwzględniająca to zjawisko (Szewczyk, 2008).

Do rozpoznania głębokich struktur geologicznych są stosowane sondowania i profilowania magnetotelluryczne. Rozwój aparatury i metodyki pomiarowej doprowadził do pozyskiwania wiarygodnych informacji o elementach budowy geologicznej nie tylko stref głębokiego podłoża, ale także płytszych utworów, o zróżnicowanych właściwościach elektrycznych (Stefaniuk i in., 2008a; Wojdyła i in., 2008). W Polsce badania z wykorzystaniem ciągłego profilowania magnetotellurycznego są prowadzone np. w Kar-

patach i mają one na celu pokazanie skomplikowanej budowy struktur fliszowych oraz rozpoznania potencjalnych skał zbiornikowych i macierzystych węglowodorów (Stefaniuk i in., 2008b, c). Wyniki tych badań uzupełniają obraz sejsmiczny Karpat (ryc. 2), trudny do interpretacji ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną.

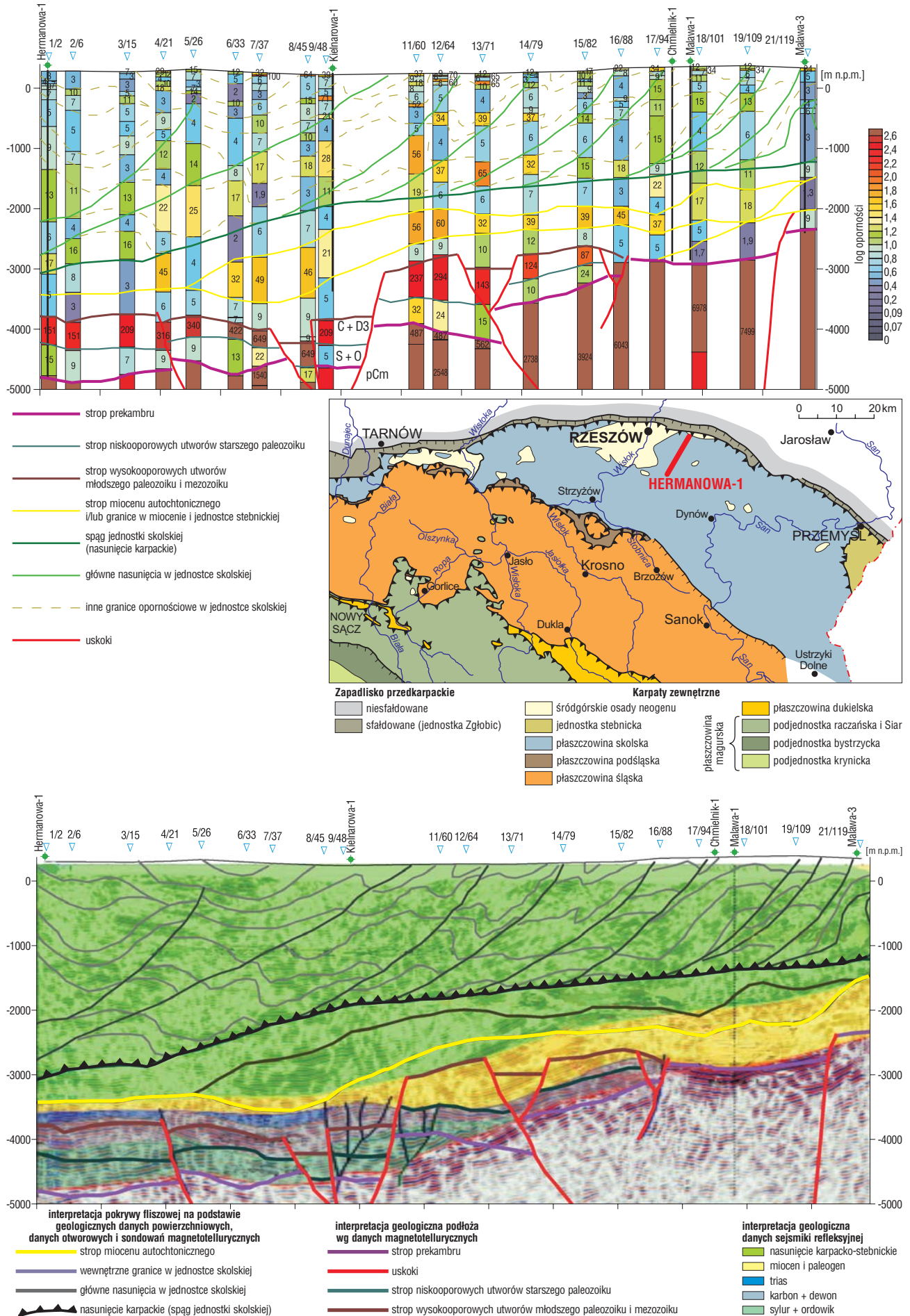
W celu uzyskania wiarygodnych informacji o zmianach oporności, do interpretacji profilowania i sondowania magnetotellurycznego wykorzystuje się profilowania elektrometrii otworowej. Spośród wielu dostępnych pomiarów oporności interpretator stara się wybrać najbardziej informatywne dla potrzeb powiązania pośrednich wyników dostarczonych przez magnetotellurikę z bezpośrednimi wynikami otworowych profilowań oporności (Stefaniuk & Jarzyna, 2008).

Badania magnetotelluryczne z kontrolowanym źródłem (CSAMT) są najnowszym rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie dokładnej informacji geologicznej z płytkich stref oraz zwiększenie dokładności pomiarów, a także poprawę ich jakości w strefach zurbanizowanych (Wojdyła i in., 2008). Dobre rozpoznanie utworów przypowierzchniowych odgrywa w sejsmice znaczną rolę w eliminacji wpływu strefy małych prędkości fal sejsmicznych.

Łącznikiem między problematyką rozpoznania głębokich struktur Ziemi a zagadnieniami poszukiwawczymi może być wyznaczanie kierunków i wielkości współczesnych naprężeń tektonicznych na podstawie profilowań geofizyki otworowej i testów otworowych (Jarosiński, 2008). Wyniki tych badań, wraz z charakterystyką strukturalną szczelinowych skał zbiornikowych, wskazują struktury ważne z punktu widzenia poszukiwania węglowodorów lub wód geotermalnych, gdyż drożność hydrauliczna formacji zbiornikowych jest między innymi wynikiem procesów tektonicznych.

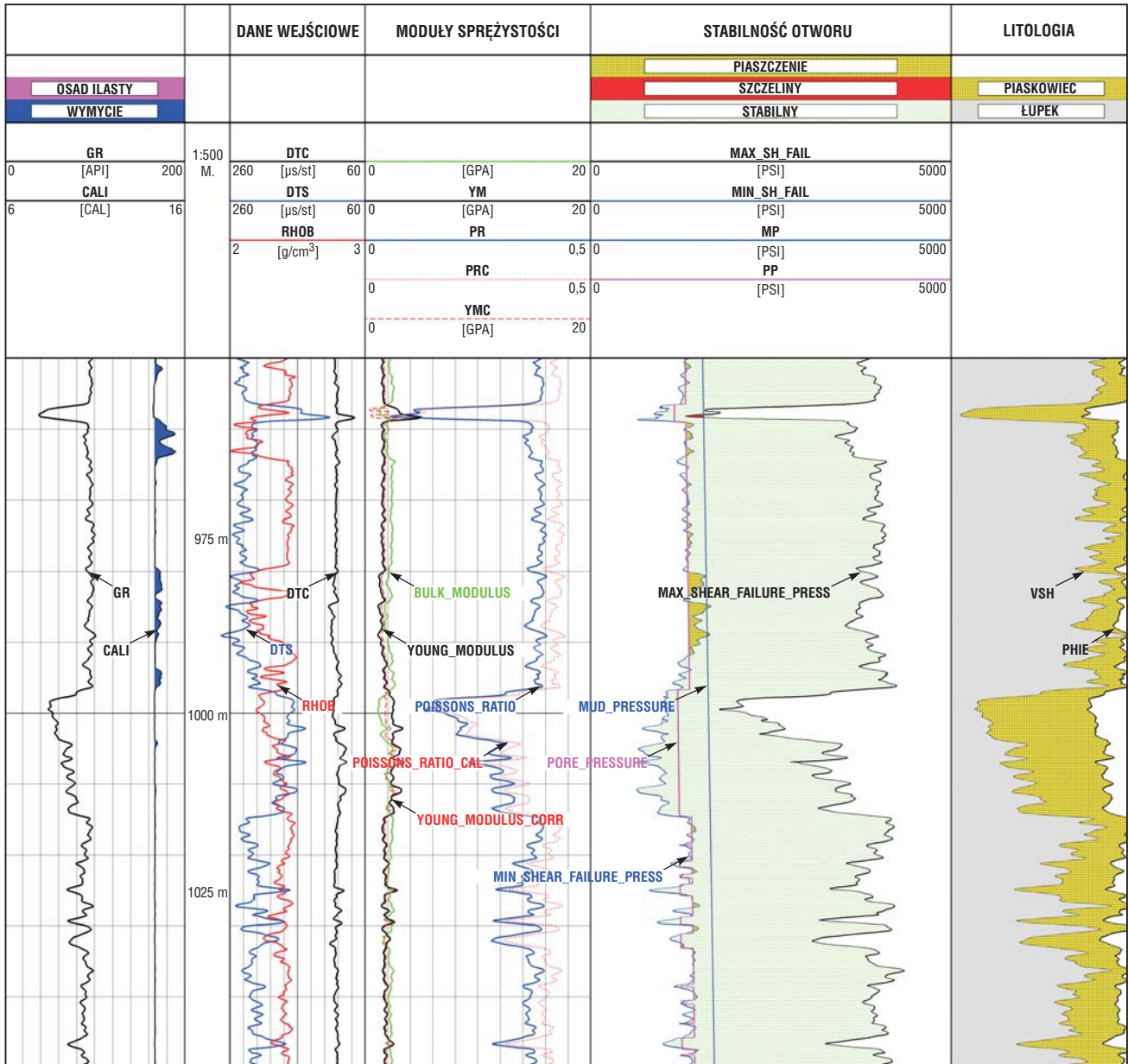
Badania stanu naprężeń w górotworze są także stosowane do rozpoznania możliwości eksploatacji niekonwencjonalnych złóż węglowodorów — w postaci *shale gas* lub *tight gas*, których eksploatacja jest możliwa dopiero po wykonaniu szczelinowania. Również wybór lokalizacji podziemnych magazynów węglowodorów i dwutlenku węgla powinien być poprzedzony analizami stanu geodynamicznego górotworu. Do oceny stanu naprężeń wykorzystuje się między innymi profilowania upadu warstw oraz badania ścian otworu skanerem akustycznym.

Czasy interwałowe fal sprężystych — podłużnej i poprzecznej — wyznaczone na podstawie profilowań akustycznych z pełnym obrazem falowym, rejestrowanym sondami LSS i FWS firmy *Halliburton*, oraz profilowanymi gęstości objętościowej (RHOB) są podstawą do obliczenia dynamicznych parametrów sprężystych skał *in situ*. Umożliwiają one także wyznaczenie granicznych wartości ciśnienia płuczki, w warunkach którego ściany otworu pozostają stabilne (ryc. 3). Na tej samej zasadzie można wyliczyć minimalne ciśnienie wymagane do przeprowadzenia zabiegów szczelinowania hydraulicznego, stosowanych m.in. w złożach gazu o niskiej przepuszczalności, tzw. *tight gas reservoirs*. Metoda ta jest również wykorzystywana podczas projektowania wierceń kierunkowych i horyzontalnych do określania maksymalnego kąta odchylenia otworu od pionu, zapewniającego stabilność ścian otworu (Furgał, 2008).





**Ryc. 2.** Wyniki interpretacji geologicznej sondowań magnetotellurycznych w profilu przechodzącym przez otwory Hermanowa-1, Kielnarowa-1, Chmielnik-1, Malawa-1 i Malawa-3 (Stefaniuk i in., 2008b); fragment mapy lokalizacyjnej profilu MT Hermanowa-1–Malawa-3 przygotowany na podstawie *Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their Foreland, 1 : 500 000* (Żytko i in., 1988–1989)



**Ryc. 3.** Określanie stanu stabilności ścian otworu wiertniczego z wykorzystaniem programu *RockXpert II* (Halliburton) w systemie Petrosite: GR — profilowanie gamma [API], CALI — profilowanie średnicy [cal], DTC — czas interwałowy fali podłużnej [mikrosekunda/metr], DTS — czas interwałowy fali poprzecznej [mikrosekunda/metr], RHOB — profilowanie gęstości objętościowej [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], BM — współczynnik sprężystości objętościowej [GPa], YM — moduł Younga [GPa], YMC — poprawiony moduł Younga [GPa], PR — współczynnik Poissona, PRC — skalibrowany współczynnik Poissona, MAX\_SH\_FAIL [PSI] — maksymalne ciśnienie płuczki dla warunków stabilnych, MIN\_SH\_FAIL [PSI] — minimalne ciśnienie płuczki dla warunków stabilnych, MP — ciśnienie płuczki [PSI], PP [PSI] — ciśnienie porowe, SAND — objętość piaskowca, SHALE — objętość iłowca, PHIE — porowatość efektywna (Furgał, 2008)

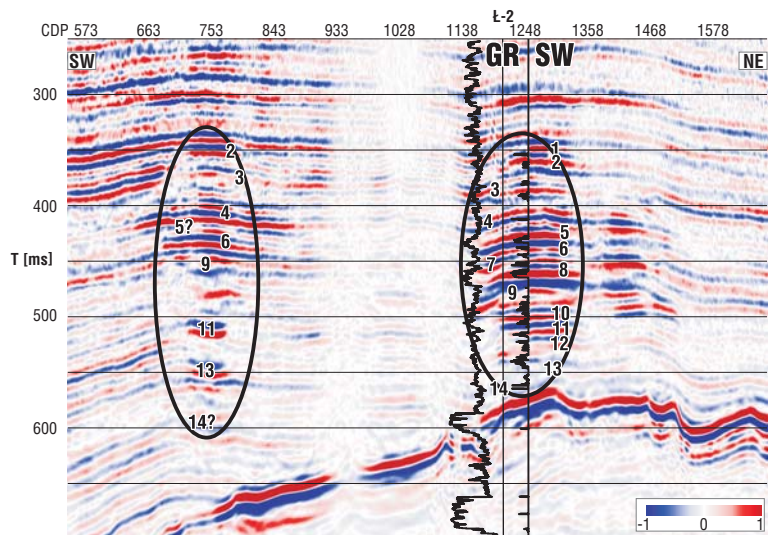
Niezastąpione narzędzie do poszukiwania węglowodórów stanowią ciągle badania sejsmiczne. Rozwój metod sejsmicznych do celów prospekcyjnych obejmuje prace metodyczne dotyczące pomiaru, przetwarzania danych oraz interpretacyjne. Przykładem jest opracowana i rozwijana w Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie metoda określania prędkości propagacji fal sprężystych w ośrodku o skomplikowanej budowie geologicznej z wykorzystaniem eks-

trapolacji pola falowego w głąb ośrodka. W przeciwieństwie do analiz migracyjnych prędkości, wykorzystujących dane sejsmiczne na założonym poziomie obserwacji, w metodzie tej nie następuje kumulacja błędów wraz ze wzrostem głębokości (Kostecki i in., 2008).

Modelowanie pełnego pola falowego dla zadanych warunków sejsmogeologicznych jest podstawowym narzędziem wykorzystywanym do weryfikacji koncepcji interpretacyj-

nych. Nowy model strukturalny frontu orogenu karpackiego w strefie Wieliczka–Pilzno, oparty na tektonice klinowej, testowano z wykorzystaniem modelowania sejsmicznego 2D (Kijewska & Krzywiec, 2008). Model sejsmogeologiczny w skali czasowej opracowano na podstawie zinterpretowanych danych sejsmicznych. W celu określenia prędkości interwałowych wykorzystano profilowanie akustyczne oraz profilowanie prędkości średnich. Model ten poddano konwersji czasowo-głębokościowej, a uzyskane rozwiązanie w skali głębokościowej wykorzystano do obliczenia sekcji syntetycznych. Zmianiano przebieg granic oraz prędkości interwałowe i starano się osiągnąć wynik porównywalny z sekcją pomiarową. Syntetyczny obraz sejsmiczny ośrodka geologicznego pozwolił na analizę tych elementów budowy geologicznej, które w warunkach naturalnych są trudne do interpretacji, np. wypełnienie głębokiej paleodoliny pod warstwą ewaporatów.

Modelowania sejsmiczne wykonano także w celu sprawdzenia zmian w zapisie sejsmicznym pod wpływem zmiennego nasycenia przestrzeni porowej gazem (Pietsch i in., 2008). Obliczono teoretyczne pole falowe modelu sejsmogeologicznego złoża Łukowa, wzdłuż profilu, na którym jest widoczny zapis anomalny, świadczący o obecności stref złożowych. Przedstawiono wyniki testowania procedur interpretacyjnych, które wykorzystują chwilowe atrybuty sejsmiczne i dane sejsmiczne przed składaniem (*AVO-product*<sup>2</sup>, *fluid factor*<sup>3</sup>,  $\rho$  i  $\mu\rho$ <sup>4</sup>, impedancja elastyczna) oraz uwzględniają wpływ tłumienia (ryc. 4). Celem prac była odpowiedź na pytanie: czy na podstawie rejestrowanych przekrojów sejsmicznych można opracować wskaźniki stopnia nasycenia gazem przestrzeni porowej warstw zbiornikowych. Atrybut *fluid factor* pokazuje strefy, w których stosunek  $V_p/V_s$  odbiega od statys-



Ryc. 4. Złożowa interpretacja przekroju T0152005 — AVO, atrybut *Fluid Factor*; 1–14 — horyzonty złożowe, GR — profilowanie gamma, SW — współczynnik nasycenia wodą; atrybut *Fluid Factor* pokazuje strefy, w których  $V_p/V_s$  odbiega od statystycznie wyznaczonego trendu; warstwom nasyconym gazem odpowiada podwyższenie amplitudy tego atrybutu: dla stropu refleks jest ujemny, a dla spagu — dodatni; duże amplitudy — wysokie nasycenie gazem, małe amplitudy — niewielkie nasycenie gazem (Pietsch i in., 2008)

tycznie wyznaczonego trendu. Warstwom nasyconym odpowiada podwyższenie amplitudy. W analizowanym profilu (ryc. 4) zaznaczają się dwie strefy zapisu anomalnego, które można wiązać z występowaniem warstw nasyconych gazem. Na przekroju są widoczne nie tylko strefy złożowe, które zidentyfikowano za pomocą anomalii *bright spot*<sup>5</sup> i *flat spot*<sup>6</sup> oraz *time sag*<sup>7</sup>, ale również słabo widoczne na przekroju sejsmicznym strefy o obniżonej amplitudzie, które występują w dolnej części utworów miocenu (horyzonty 12, 13 i 14). Zidentyfikowane w NE strefie horyzonty 12, 13 i 14 należy uznać za słabo nasycone, co potwierdzają wyniki opróbowania złoża (Pietsch & Tatarata, 2008).

Przedmiotem interpretacji sejsmicznej z wykorzystaniem zaawansowanych procedur dostępnych w oprogramowaniu firmy *Landmark Graphix Co.* było także powstawanie form korytowych w utworach turbidytowych dolnego sarmatu w obszarze Trzciana–Cierpisz–Zaczermie (wschodnia część zapadliska przedkarpackiego). Atrybuty sejsmiczne *Structure Cube*<sup>8</sup> i *Semblance*<sup>9</sup> posłużyły do badania ciągłości refleksów, natomiast anomalie AVO do wyodrębnienia stref o podwyższonej zawartości piaskowca. Atrybut *Sweetness*<sup>10</sup> koreluje z przebiegiem koryt wyznaczonych przez dekompozycję spektralną, a rozkład wartości atrybutu wskazuje na heterolityczny typ wypełnień korytowych. Rzadki i nieregularny rozkład anomalii AVO w rejonie niektórych otworów sugeruje obecność węglowodorów w piaskowcach korytowych (ryc. 5). Uzyskane wyniki wskazują na przydatność wybranych atrybutów sejsmicznych do odtworzenia architektury depozycyjnej horyzontów gazonośnych w utworach miocenu zapadliska przedkarpackiego (Dzwiniel i in., 2008).

Rozwój metodyki przetwarzania danych sejsmicznych w celu podniesienia wiarygodności wyników interpretacji ilustrują prace nad inwersją sejsmiczną oraz analizy amplitudy z offsetem AVO do odtworzenia modelu sejsmoakustycznego badanego rejonu geologicznego (Daciewicz i in., 2008; Leginowicz, 2008). Nowa, zintegrowana i interaktywna interpretacja oraz wizualizacja 3D wieloatrybutowych

<sup>2</sup>*Amplitude Variation with Offset* — zmiany amplitudy z odległością między źródłem drgań a odbiornikiem. Anomalia AVO, tzn. wzrost amplitudy wraz z odległością, wskazuje na nasycenie gazem. *AVO-product* to atrybut obliczany na podstawie danych sejsmicznych przed składaniem, podkreślający wzrost amplitudy z offsetem; iloczyn wartości amplitudy dla zerowego offsetu (I) i nachylenia prostej uśredniającej amplitudy dla kolejnych, wzrastających offsetów (G).

<sup>3</sup>jest to atrybut AVO pokazujący strefy, w których  $V_p/V_s$  odbiega od trendu wyznaczonego dla ilów, czyli wskazuje strefy nasycone gazem na tle średniej refleksyjności badanego ośrodka.

<sup>4</sup>stałe sprężyste Lamè'go i gęstość objętościowa.

<sup>5</sup>anomalia amplitudy na obrazie sejsmicznym lub wysoka amplituda, która wskazuje obecność węglowodorów. Jest ona skutkiem dużej różnicy w impedancji akustycznej, np. gdy piaskowiec nasycony gazem podściela warstwę ilastą; może być także efektem zmian litologicznych.

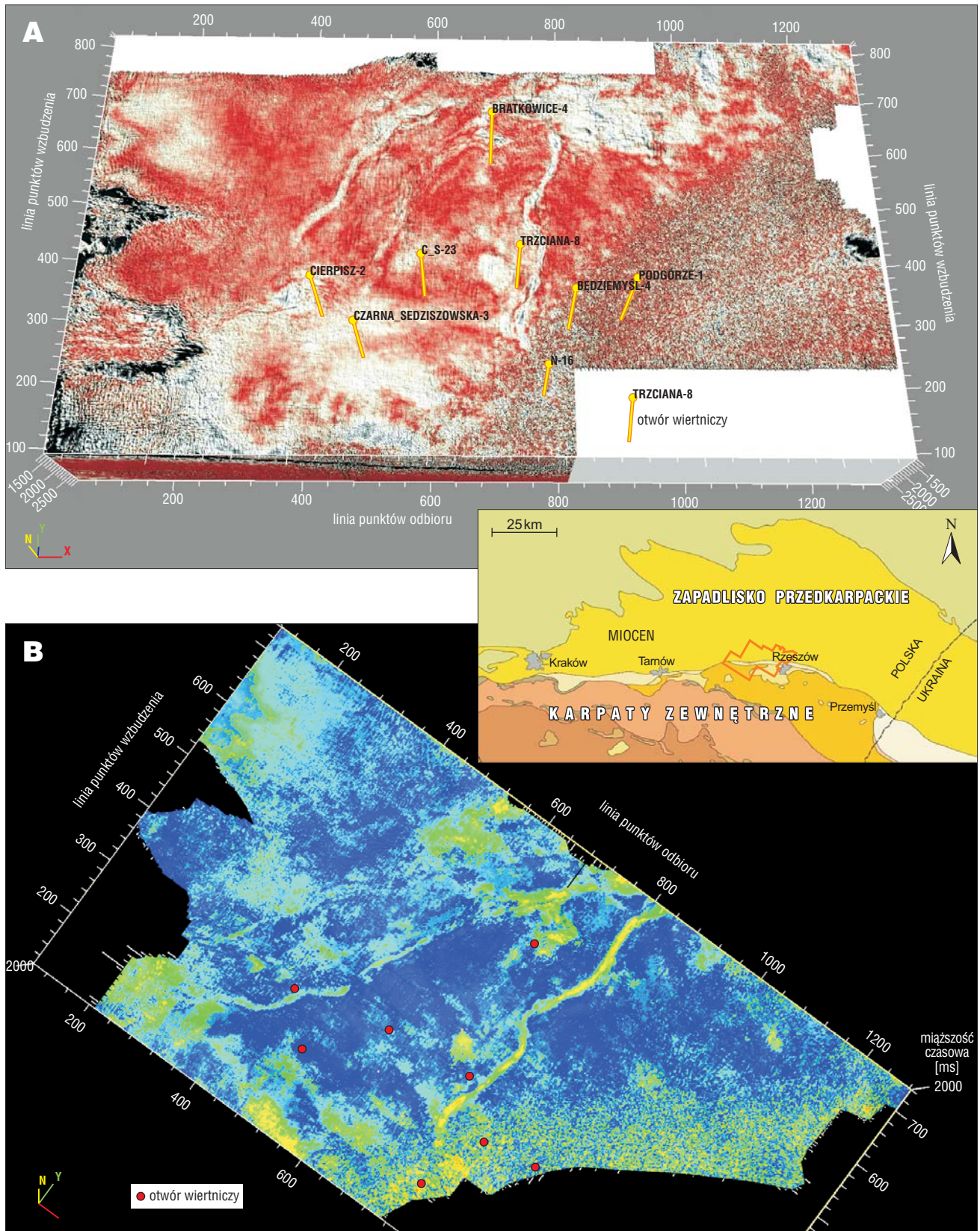
<sup>6</sup>niezgodny refleks poziomy, powstający na granicy mediów nasycających przestrzeń porową (gaz/ropa/woda).

<sup>7</sup>ugięcie czasowe granic sejsmicznych poniżej strefy nasyconej.

<sup>8</sup>narzędzie informatyczne ilustrujące wyniki interpretacji sejsmicznej 3D.

<sup>9</sup>funkcja będąca jedną z miar podobieństwa sygnałów.

<sup>10</sup>parametr sejsmiczny przydatny do identyfikacji kanałów występujących w środowisku głębokowodnych utworów klasycznych oraz równi przybrzeżnej, będący ilorazem refleksyjności (siły odbicia) i pierwiastka z częstotliwości chwilowej.



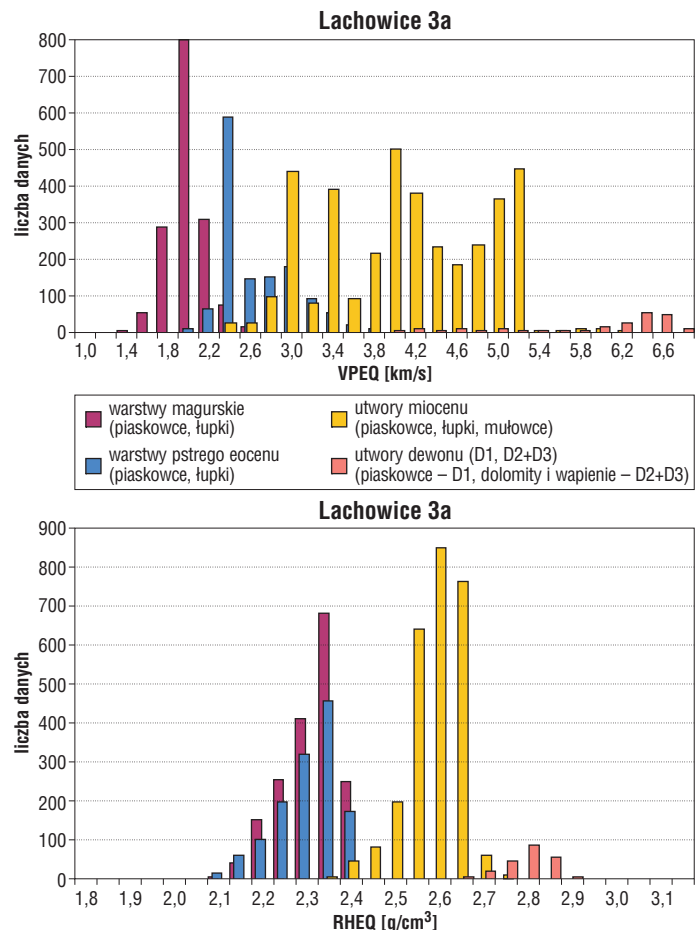
**Ryc. 5. A** — Obraz sejsmicznej dekompozycji spektralnej 30 Hz i 40 Hz, pokazujący lineamenty utworów korytowych dolnego sarmatu. Poziomy przekrój sejsmiczny 1268 ms. Jaśniejszymi kolorami oznaczono większe wartości amplitudy dla 30 Hz (mocniejsza czerwień wartości mniejsze). Czarny relief podkreśla największy gradient amplitudy dla 40 Hz. Na osiach zaznaczono numery profili sejsmicznych: 0–700 linie punktów wzbudzenia (*crossline*), 0–1200 linie punktów odbioru (*inline*). Liczby 1500–2500 ms oznaczają miąższość czasową (Dzwinel i in., 2008); **B** — Atrybut *Sweetness* (amplituda chwilowa podzielona przez pierwiastek kwadratowy częstotliwości chwilowej) przedstawiony na cięciu warstwowym, przydatny do wyróżniania obszarów zapieszczonych w formacjach klastycznych; kolor żółty oznacza wyższą wartość parametru, czyli większy udział litologii piaszczystej. Na osiach zaznaczono numery profili sejsmicznych: 0–700 linie punktów wzbudzenia (*crossline*), 0–1200 linie punktów odbioru (*inline*) (Dzwinel i in., 2008)

danych sejsmicznych z wykorzystaniem oprogramowania *GeoProbe* należy do ważnych i ciekawych metod przyspieszających prace interpretacyjne (Nikiel-Tshabangu & Nebelska, 2008). Oprogramowanie *GeoProbe* umożliwia szybką i dokładną interpretację danych i jest w pełni zintegrowane z innymi programami firmy *Landmark Graphix Co.* Za pomocą tego oprogramowania uzyskano nowe informacje o budowie strukturalnotektonicznej rejonu zdjęcia sejsmicznego 3D Sokołów–Pogwizdów na przedgórzu Karpat. Dzięki nowym technikom interpretacyjnym (wyznaczenie impedancji, AVO, wykorzystanie wolumenów atrybutów sejsmicznych) udało się również wyodrębnić interesujące poszukiwawczo miejsca w osadach ewaporatowych badenu środkowego i warstw baranowskich badenu dolnego (Czerwińska & Zubrzycka, 2008, zob. też art. Zubrzyckiej i in. w tym numerze *Przeglądu Geologicznego*).

Pomiary pionowego profilowania sejsmicznego (PPS) umożliwiają rejestrację sygnałów sejsmicznych o częstotliwościach wyższych od rejestrowanych w tradycyjnej sejsmice powierzchniowej, ponieważ energia propagujących fal sprężystych tylko raz przechodzi przez strefę małych prędkości, a odległość między nadajnikiem i odbiornikiem oraz punktem odbicia i odbiornikiem jest znacznie mniejsza. Większy zakres częstotliwości pozwala rejestrować obiekty geologiczne z lepszą rozdzielczością. Połączenie pionowego profilowania sejsmicznego o podwyższonej częstotliwości i obrazu sejsmicznego o dużym zasięgu przestrzennym zwiększa rozdzielczość metody sejsmicznej. Zwiększenie rozdzielczości sejsmiki powierzchniowej uzyskano przez wprowadzenie do tras sekcji sejsmicznej zapisów o wyższych częstotliwościach pochodzących z pomiarów PPS. Do tego celu wykorzystano charakterystyki widma amplitudowo-częstotliwościowego (Bartoń i in., 2008; Jędrzejowska-Tyczkowska & Żukowska, 1999).

W sejsmice do przeliczenia skali czasowej na głębokościową można wykorzystać modele prędkościowe uzyskane za pomocą profilowania akustycznego lub obliczeń teoretycznych (Bała & Witek, 2008). Dzięki aplikacjom *Fala* i *FalaFWS* interpretacja akustycznych obrazów falowych w systemie *GeoWin* umożliwia automatyczne wyznaczenie prędkości fal P i S oraz Stoneleya w funkcji głębokości w warunkach *in situ* (Jarzyna i in., 2008). Włączony do systemu *GeoWin* program *Estymacja* (Bała & Cichy, 2006) pozwala na wyznaczenie prędkości fal P i S oraz gęstości objętościowej na podstawie obliczeń z wykorzystaniem wzorów łączących parametry sprężyste z objętościowym udziałem składników mineralnych skał oraz współczynników porowatości i nasycenia wodą i węglowodorami (ryc. 6). Dane te uzyskujemy z interpretacji ilościowej profilowań geofizyki otworowej.

System *GeoWin* powstał dzięki współpracy zespołów Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH i Spółki *Geofizyka Kraków*, które zajmują się kompleksową interpretacją profilowań geofizyki wiertniczej. W najnowszej wersji został on wyposażony w zmodyfikowaną aplikację *Satun*, służącą do wyznaczania nasycenia wodą lub też węglowodorami cienkowarstwowych formacji skalnych, z automatyczną procedurą wyznaczania warstw, oraz w nową wersję aplikacji *Interlog* — do wyznaczania porowatości, składu



Ryc. 6. Histogram częstotliwościowy estymowanych prędkości VPEQ (estymowana prędkość fali P) oraz gęstości RHEQ (estymowana gęstość objętościowa) dla wybranych serii w otworze Lachowice 3a (Bała & Witek, 2008)

mineralnego i nasycenia skał. W systemie funkcjonuje także aplikacja *PA2PPS*, umożliwiająca korektę czasów interwałowych wyznaczonych z profilowania akustycznego na podstawie rejestracji prędkości średnich podczas PPS lub za pomocą tzw. *check shots*. Nowe aplikacje wejścia i wyjścia: *Geo2sys* i *Sys2geo*, ułatwiają pracę z systemem dzięki wprowadzaniu i wyprowadzaniu plików w formacie Geo (które np. zawierają dane archiwalne i mogą być edytowane przez program graficzny *ProGeo*). Dodatkowe funkcje systemu obejmują także zamianę plików ASCII na profilowania dzięki aplikacji *ASCIIconverter* oraz obliczanie kąta i azymutu odchylenia osi otworu w aplikacji *Inklinometr*. System *GeoWin* umożliwia również wprowadzenie poprawki na wpływ otworu do wyników profilowania oporności wykonanego laterologiem LL3. Dzięki temu oraz dzięki aplikacji *OporWin* w systemie *GeoWin* możliwe jest uzyskanie wiarygodnych wartości oporności stref wokół otworu na podstawie profilowań oporności — potencjałowych i gradientowych — oraz laterologu LL3. Komplet aplikacji obejmuje jeszcze *Wykresy krzyżowe*, *Dekonwolucję* i *Upad*, a także aplikacje wejścia (*LAS2sys* i *LIS2sys*) oraz wyjścia (*Sys2LAS* i *Sys2LIS*). Dzięki bogatemu zestawowi funkcji w aplikacjach *Poprawki* oraz *FunMat* i *Edycja* w systemie tym mogą być wykonane wszystkie czynności potrzebne do przetwarzania (Jarzyna i in., 2008).

Geofizyka otworowa poszerza swoje możliwości dzięki najnowszym metodom pomiarowym i metodykom interpretacyjnym. Profilowanie upadu warstw (PUW), od lat 20. XX wieku stosowane do rozpoznania kąta upadu i rozciągłości struktur oraz środowisk sedymentacyjnych, może być także wykorzystane do rozpoznania elektrycznych właściwości cienkowarstwowego ośrodka skalnego (Zorski, 2009) oraz do wyznaczania stref szczelinowatych (Romaniuk, 2008). Doświadczenie zdobyte podczas przetwarzania i interpretacji PUW jest obecnie wykorzystywane do opracowania pomiarów wykonywanych sondą do elektrycznego obrazowania ściany otworu — XRMI (*X-tended Range Micro Imager*), którą kupiła Spółka *Geofizyka Toruń* (Godlewski, 2008). Sonda ta jest ulepszoną wersją sondy EMI (*Electric Micro Imaging*). Uzyskiwany za jej pomocą obraz oporności ściany otworu jest bardzo dobrej jakości, nawet w otworach wypełnionych słoną płuczką (o oporności niższej od 0,1 omm) i w formacjach o wysokiej oporności (rzędu 2000 omm).

Badania laboratoryjne próbek skał wyciętych z rdzeni wiertniczych są naturalnym uzupełnieniem i rozszerzeniem wyników uzyskiwanych z pomiarów i kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej. Laboratoryjne pomiary magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) i porozymetrii rtęciowej są wykorzystywane do charakterystyki przestrzeni porowej skał oraz określania ich właściwości zbiornikowych i filtracyjnych (Kłaja i in., 2008; Puskarczyk i in., 2008). Badania anizotropii prędkości propagacji fal sprężystych, elektrycznych parametrów skał oraz przepuszczalności znajdują praktyczne zastosowanie w doborze optymalnego modelu geologiczno-prędkościowego, koniecznego do odwzorowania geologicznych struktur wgłębnych w sejsmice (Zalewska i in., 2008). Bogaty zestaw badań laboratoryjnych umożliwia klasyfikację skał o odmiennych właściwościach petrofizycznych, ułatwiającą i precyzującą kompleksową interpretację profilowań geofizyki otworowej.

Laboratoryjne oznaczenia parametrów zbiornikowych skał oraz wyniki kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej wykorzystano do obliczenia wskaźnika FZI (*Flow Zone Index*), charakteryzującego zdolność skały do przewodzenia mediów w przestrzeni porowej (Ha Quang & Jarzyna, 2008). Uzyskane wyniki wykorzystano do podzielenia profilu przewierconych utworów w złożu gazu ziemnego na przedgórzu Karpat na jednostki o podobnych zdolnościach do przepływu (patrz art. Jarzyna & Ha Quanga w tym zeszycie *Przeglądu Geologicznego*).

Zastosowanie do przetwarzania wyników profilowań geofizyki otworowej wybranych metod statystycznych umożliwia ograniczenie liczby opracowywanych pomiarów bez utraty znaczącej części informacji (analiza składowych głównych), wyróżnienie poziomów piaszczystych wśród ilastych (analiza skupień), a także wskazanie horyzontów gazonośnych wśród nasyconych wodą (analiza dyskryminacyjna) (Kaźmierczuk & Jarzyna, 2008). Analizom tego typu poddano poziom piaszczystych dzikowskich występujących w zapadlisku przedkarpackim, wykształconych w postaci grubych pakietów piaszczystych, które wyraźnie odróżniają się od wyżej leżących piaszczystych cienkowarstwowanych, typowych dla utworów miocenu zapadliska przedkarpackiego (patrz art. Kaźmierczuk w tym numerze *Przeglądu Geologicznego*).

## Geofizyka inżynierska

Niektóre metody geofizyczne są wykorzystywane podczas prac geologiczno-inżynierskich do kontroli szczelności wałów przeciwpowodziowych. Obwałowania przeciwpowodziowe przeważnie są wykonywane z miejscowego materiału piaszczysto-żwirowego i w trakcie dłuższych wezbrań powodziowych często dochodzi do przecieków. Wymagają więc uszczelnienia. Jedną ze stosowanych w tym przypadku metod jest iniekcja roztworu glin polimineralnych do otworów usytuowanych wzdłuż korony obwałowania. Po iniekcji w korpusie obwałowania powstaje nieprzepuszczalna przesłona. Z powodu niejednorodności materiału obwałowania przesłona nie zawsze spełnia założone wymagania. Ocena skuteczności prac uszczelniających polega na sprawdzeniu jednorodności wykonanej przesłony. Do takiego badania wykorzystuje się metody geoelektryczne z tomograficznym odwzorowaniem rozkładu oporności w płaszczyźnie przesłony. Na odwzorowaniu obszary niedostatecznie uszczelnione charakteryzują się podwyższonymi opornościami (Bestyński i in., 2008).

W geologii inżynierskiej stosowana jest również metoda georadarowa — szczególnie przydatna do badania aktywnych osuwisk, które stanowią istotne zagrożenie dla infrastruktury znajdującej się na ich powierzchni. Do przeciwdziałania skutkom ruchu osuwiska potrzebna jest wiedza na temat jego wewnętrznej budowy. W korzystnych warunkach geologicznych metoda georadarowa pozwala na szybkie i precyzyjne rozpoznanie powierzchni strukturalnych osuwiska. Przykładem tego może być echogram zarejestrowany w Krynicy w rejonie hotelu *Panorama* (ryc. 7), na którym są widoczne płaszczyzny strukturalne osuwiska i prawdopodobnie fliszowego podłoża (Karczewski & Ziętek, 2008).

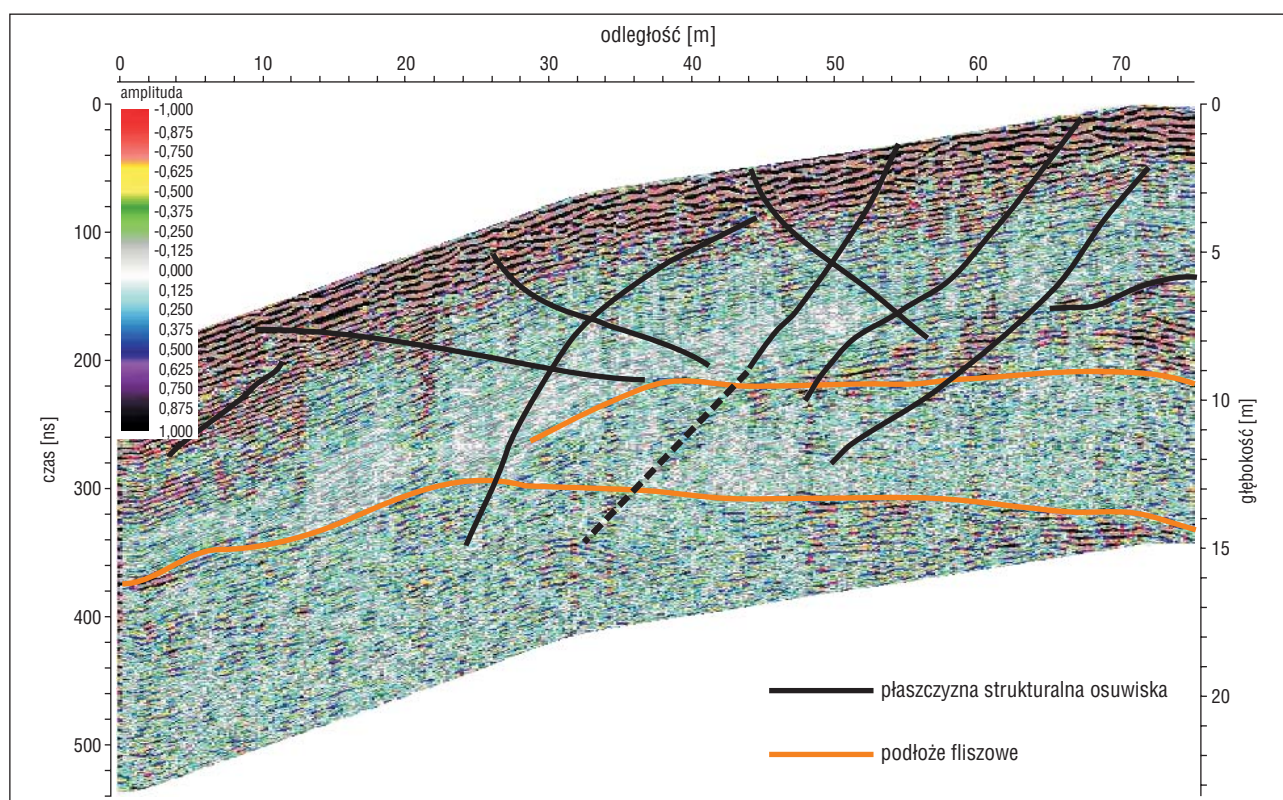
Pomiary sejsmiczne, geoelektryczne oraz pomiary koncentracji gazów promieniotwórczych (radonu i toronu) okazały się przydatne do lokalizowania przyuskokowych stref wodonośnych w utworach fliszu karpackiego (Chrzanowska i in., 2008). W wyniku kompleksowej interpretacji danych geofizycznych uzyskanych w dolinie rzeki Koszarawy, w rejonie Jeleśni wytypowano przebieg przyuskokowej strefy wodonośnej i lokalizację ujęcia wody — należy zaznaczyć, że wyniki tych badań posłużyły do odwiercenia otworu, z którego uzyskano znaczny wypływ wody.

Metodę tomografii elektrooporowej zastosowano do badania budowy geologicznej warstw czwartorzędowych, głównie piasków i glin zlodowacenia wisły i zlodowaceń środkowopolskich (Krawiec & Rudzki, 2008). W wyniku automatycznej inwersji 2D uzyskano model opornościowy ośrodka, czyli rozkład oporności w płaszczyźnie przekroju. Poprawność rozwiązania zadania odwrotnego sprawdzano na podstawie błędu dopasowania modelu do danych pomiarowych. Często model opornościowy obciążony niewielkim błędem nie jest możliwy do zaakceptowania, gdyż przedstawia nierzeczywistą sytuację geologiczną. Uniknięcie takiego wyniku możliwe jest poprzez odpowiednie zadanie warunków początkowych i brzegowych w procesie inwersji.

## Geofizyka górnicza

Podczas Pierwszego Polskiego Kongresu Geologicznego zostały również zaprezentowane nowoczesne metody





Ryc. 7. Echogram zarejestrowany na osuwisku w Krynicy. Aparatura RAMAC/GPR, anteny nieekranowane 200 MHz (Karczewski & Ziętek, 2008)

geofizyczne stosowane w górnictwie, np. weryfikowane za pomocą mikrograwimetrii, georadaru i metod geoelektrycznych modelowanie numeryczne oraz prędkościowa tomografia sejsmiczna.

Modelowanie numeryczne wykorzystano do badania procesu niszczenia górotworu prowadzącego do wytworzenia na powierzchni terenu zapadliska (Pilecki i in., 2008). W górotworze wyróżniono dwie strefy decydujące o typie i wielkości deformacji nieciągłych: warstwę skał związanych, w których występuje pustka (górotwór zasadniczy), oraz warstwę luźnych gruntów nadkładu. Decydujący wpływ na powstanie zapadliska ma osiągnięcie przez pustkę przemieszczającą się ku powierzchni terenu granicy nadkładu. Jeżeli w nadkładzie występują grunty luźne, wymiary zapadliska w przekroju poziomym mogą być większe od wymiarów pustki propagującej w górotworze zasadniczym. Wielkość zapadliska zależy od miąższości luźnego nadkładu, jego parametrów wytrzymałościowych i warunków wodnych. Mikrograwimetria, georadar oraz metody geoelektryczne mogą być wykorzystane do zweryfikowania wyników modelowania przemieszczającej się deformacji przez pomiary w założonym czasie na zadanym poligonie pomiarowym.

Celem prędkościowej tomografii sejsmicznej jest odtworzenie przestrzennego rozkładu niejednorodności prędkości fal sejsmicznych. Wstępne wyniki tomografii pasywnej wykorzystującej wstrząsy indukowane pracami górniczymi na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wskazują na zróżnicowanie otrzymanych rozkładów prędkości w obszarach o różnej aktywności sejsmicznej (Dębski, 2008). Wynik ten sugeruje zróżnicowanie fizycznych mechanizmów sejsmiczności indukowanej w obszarze badań. Rozwiązanie zagadnienia tomograficznego

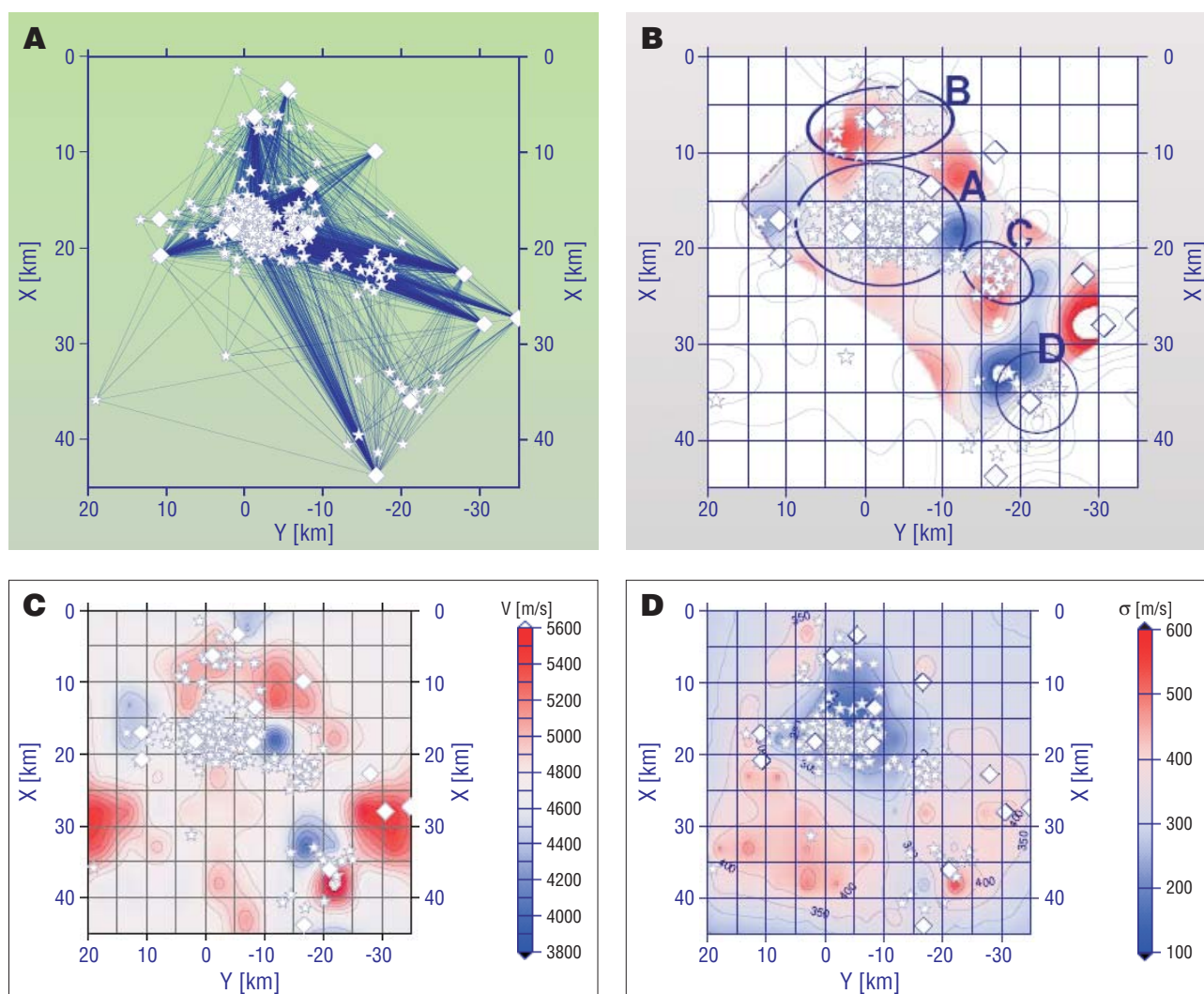
wykonano stosując inwersję bayesowską. Podjęto także próbę oceny dokładności otrzymanych wyników. Na ryc. 8 przedstawiono konfigurację stacji sejsmicznych i lokalizację epicentrow wstrząsów zgrupowanych w klastry na tle konturowej mapy prędkości uzyskanej z inwersji tomograficznej.

#### Inne zastosowania metod geofizycznych

Tomografia procesowa jest nową, dynamicznie rozwijającą się metodą diagnostyki obiektowej. Technologia ta ma na celu obrazowanie zjawisk zachodzących w danej chwili w wybranych punktach na powierzchni lub w przestrzeni pomiarowej. Daje ona możliwość nieinwazyjnego monitorowania i wizualizacji struktury obiektu, również w czasie rzeczywistym (Szaraniec, 2008).

W grupie elektrycznych metod impedancyjnych, wykorzystujących elektryczne właściwości materiałów badanych obiektów, silnie rozbudowane zostały metody tomografii rezystancyjnej i pojemnościowej. Od początku tomografia rezystancyjna rozwijała się w nawiązaniu do geofizycznych metod opornościowych. Te związki są nadal aktualne, a ich implikacje mogą być obustronne.

Nowoczesne technologie „rewitalizacji” otworów ropo- nośnych oraz intensyfikacji wydobywania ropy naftowej z nowo odkrytych złóż są przedmiotem intensywnych badań w związku z ciągle wzrastającym popytem na węglowodory. Podstawą skutecznego ich stosowania w poszukiwaniu i wydobywaniu ropy i gazu jest analiza zjawisk fizycznych powodujących obniżenie wydajności otworów wydobywczych oraz dobór metod geofizycznych do przywrócenia początkowej przepuszczalności strefy hydrodynamicznego przepływu otworu (Sobotka, 2008).

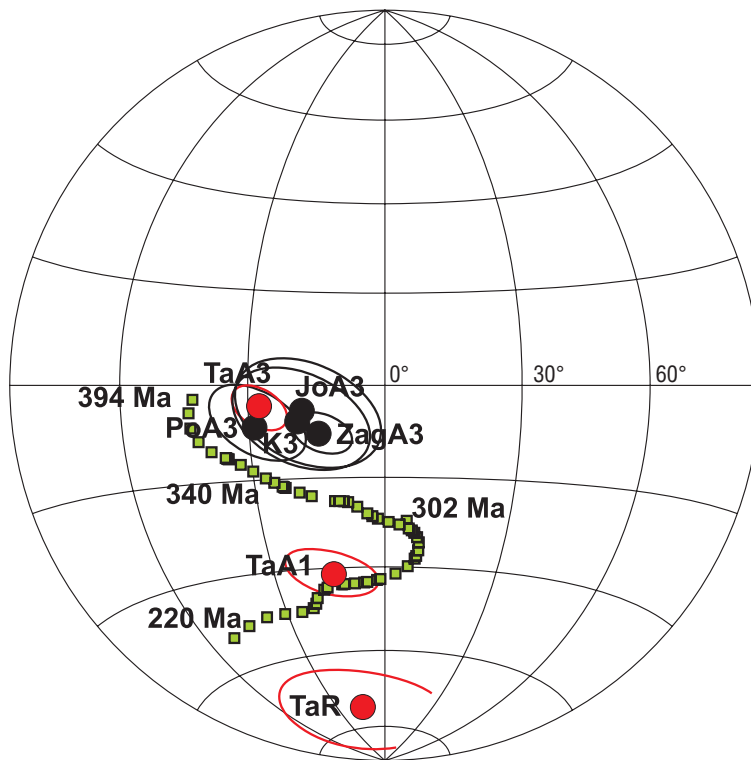


**Ryc. 8A** — Konfiguracja stacji sejsmicznych (kwadraty) i lokalizacja epicentrow wstrząsów (gwiazdki) oraz bieg promieni analizowanego zbioru danych pomiarowych; **B** — Rozkład epicentrow wstrząsów zgrupowanych w klastry (A, B, C, D) na tle konturowej mapy prędkości uzyskanej z inwersji tomograficznej. Kolorem czerwonym zaznaczono obszary o wysokich prędkościach, kolorem niebieskim — o niskich; skala prędkości jak na ryc. 8C; **C** — Najbardziej prawdopodobny rozkład prędkości w badanym obszarze GZW na podstawie pasywnej tomografii; **D** — Rozkład błęd obrazowania tomograficznego w badanym obszarze GZW (Dębski, 2008)

Metody obrazowania dna zbiorników wodnych, wykorzystujące fale sprężyste o częstotliwościach akustycznych, mają zastosowanie do rozszerzenia zakresu analiz sedimentologicznych współczesnych osadów morskoglacjalnych i limnoglacialnych (Giżejewski, 2008). Posługując się standardowymi echosondami nawigacyjnymi można uzyskać profile morfologiczne powierzchni dna, lokalizację niewielkich basenów sedimentacyjnych oraz podwodnych kemów. Uzyskane z zastosowaniem sonaru bocznego obrazy dna umożliwiają odtworzenie drobnych elementów rzeźby powierzchni dna, identyfikację struktur sedimentacyjnych typu zmarszczek i pręg oraz określenie kierunków ich przemieszczania. Wyniki takich badań, połączone z analizą osadów o nienaruszonej strukturze, rozszerzają szczegółową charakterystykę środowiska sedimentacji badanych zbiorników.

Paleomagnetyzm ma bardzo szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach geologii, np. tektonice, stratygrafii, geologii naftowej (zob. np. Morris & Tarling, 1996; Opdyke & Channell, 1996; Turner & Turner, 1995; Tarling & Turner, 1999). Badania paleomagnetyczne prowadzone w Sudetach mają m.in. na celu poznanie geodynamiki tego

obszaru. Fragment ścieżki pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego w Sudetach Zachodnich, sięgający 394 mln lat (ryc. 9), został przedstawiony przez Jeleńską i in. (2003). Kądziałko-Hofmökler i in. (2006) zaprezentowała wyniki badań paleomagnetycznych ultramafitów z Gór Sowich i fragmentu ofiolitu sudeckiego o wieku serpentynizacji ok. 400 mln lat (Dubieńska i in., 2004). Położenie bieguna paleomagnetycznego, ocenione jako dolnodewońskie (A3), sugeruje, że w tym czasie badana mikroplata nie była jeszcze złączona z masywem Sudetów Zachodnich. Nośnikiem składowej pozostałości magnetycznej związanej z tym biegunem magnetycznym jest magnetyt. Wyodrębniono także dwa młodsze położenia bieguna, A1 — permskie i R — kenozoiczne, związane ze składowymi pozostałościami, których nośnikami są minerały o temperaturach odblokowujących 530°C oraz 200–450°C. Badania mineralogiczne wskazały na obecność w dunitach, obok magnetytu, również chromitów, które mają właściwości magnetyczne tylko przy znacznym udziale części magnetytovej (ferrichromity). Właściwości magnetyczne nośników składowych A1 i R wskazały ferrichromity o różnej zawartości części magne-



tytowej, które powstawały i uzyskały pozostałość w wyniku końcowego stadium magmatyzmu waryscyjskiego (składowa A1) i procesów alpejskich (składowa R). Rozróżnienie pomiędzy nośnikami składowych naturalnej pozostałości magnetycznej A3 oraz A1 potwierdza hipotezę dosunięcia badanej mikroplaty do Sudetów Zachodnich po wczesnym dewonie (Kądziałko-Hofmokr i in., 2008a, b).

### Posumowanie

Metody geofizyczne pokazują anomalny obraz dzięki zróżnicowaniu właściwości fizycznych obiektu badań i otoczenia, które odzwierciedla się w pomiarze wybranego parametru pola fizycznego leżącego u podstaw metody. Stałe doskonałe techniki pomiaru i przetwarzania danych geofizycznych umożliwiają obecnie wielowymiarowe badanie obiektu, a zaawansowane metody interpretacji pozwalają pozyskać lepsze odwzorowanie rzeczywistości w zarejestrowanym obrazie geofizycznym. Ciągły rozwój teorii metod i zwiększone zdolności rozwiązywania prostego zadania geofizycznego, czyli modelowania, dzięki praktycznie nieograniczonym możliwościom komputerów, dają geofizykom coraz lepsze narzędzia do współpracy z innymi przedstawicielami nauk o Ziemi w celu rozwiązywania coraz trudniejszych zadań poznawczych, prospekcyjnych i środowiskowych. Krótki rys tematyki prezentowanej na sesji geofizycznej Pierwszego Polskiego Kongresu Geologicznego miał na celu zwrócenie uwagi na szerokie możliwości geofizyki stosowanej. Niestety, zacytowanie wszystkich prac istotnych dla wybranych zagadnień geofizyki stosowanej nie było możliwe. Większość wymienionych w tym artykule prac została opublikowana w materiałach konferencyjnych I PKG (Pierwszy..., 2008).

Dziękuję Autorom prac wymienionych w tym artykule za przygotowanie i prezentację referatów podczas I Polskiego Kongresu Geologicznego, dzięki czemu szerokie grono odbiorców prac geofizycznych mogło poznać najnowsze wyniki badań.



**Ryc. 9.** Położenie biegunów paleomagnetycznych w ultramafitach Gór Sowich i masywu serpentynitowego Jordanów–Gogolów na tle referencyjnej ścieżki pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego (APWP) w Sudetach w okresie dewon–perm (wg Jeleńskiej i in., 2003). Wzdłuż APWP zaznaczono wiek w milionach lat: A3 — położenie bieguna w dolnym dewonie, nośnikiem tej składowej pozostałości magnetycznej we wszystkich odsłonięciach jest magnetyt. Widać, że badany obszar znajdował się w tym czasie poza obszarem Sudetów; A1 — położenie bieguna w permie, R — położenie bieguna w kenozoiku. Nośnikami obu składowych pozostałości magnetycznej są magnetyty i ferrichromity. Kolorem czerwonym zaznaczono wyniki uzyskane z dunitów z Tapadeł, w których stwierdzono obecność znacznych ilości ferrichromitów; Ta — Tapadła, Zag — Zagórze, Po — Potoczek, Jor — Jordanów, K — Kielczyn. Potoczek i Zagórze znajdują się w obrębie Gór Sowich, pozostałe odsłonięcia w obrębie masywu serpentynitowego Jordanów–Gogolów (Hofmokr i in., 2008)

Dziękuję także za zgodę na opublikowanie w niniejszym artykule wybranych rysunków.

### Literatura

- BAŁA M. & CICHY A. 2006 — Metody obliczania prędkości fal P i S na podstawie modeli teoretycznych i danych geofizyki otworowej — program Estymacja. UWND AGH.
- BAŁA M. & WITEK K. 2008 — Opracowanie modelu prędkościowego fal P i S oraz gęstości objętościowych na podstawie danych geofizyki otworowej i obliczeń programem Estymacja w wybranych otworach w Karpatach Zachodnich. [W:] PPKG Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 8.
- BARTOŃ R., JĘDRZEJOWSKA-TYCZKOWSKA H. & ŻUKOWSKA K. 2008 — Zastosowanie pomiarów pionowego profilowania sejsmicznego — PPS (sejsmiki otworowej) do poprawy rozdzielczości sejsmiki powierzchniowej. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 9.
- BESTYŃSKI Z., HRABOWSKI W. & PACANOWSKI G. 2008 — Ocena skuteczności uszczelnienia obwałowań przeciwpowodziowych metodami geofizycznymi. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 11.
- BOJDYS G., GRABOWSKA T., MARCHEWKA J. & SUCHOŃ B. 2008 — Względne zmiany wiekowe pola magnetycznego Ziemi w okresie 1996–2005 na profilu Zgorzelec–Wiązajny. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 12.
- CHRZANOWSKA E., ŚMISZEK R. & BUGAJSKI A. 2008 — Poszukiwania wodonośnej strefy uskokowej w rejonie Jeleśni przy użyciu metod geofizycznych. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 16.
- CZERWIŃSKA B. & ZUBRZYCKA M. 2008 — Nowe perspektywy poszukiwawcze na bazie reprocessingu danych sejsmicznych 3D z rejonu Sokołów–Pogwizdów. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 21.
- DĘBSKI W. 2008 — Pasywna tomografia obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 23.
- DUBIŃSKA E., BYLINA P., KOZŁOWSKI A., DÖRR W., NEJBERT K., SCHASTOK J. & KULICKI C. 2004 — U-Pb dating of serpentinization: hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland), Chem. Eol., 203: 183–203.
- DZWINEK K., KRAWIEC D. & PORĘBSKI S. 2008 — Obraz sejsmiczny koryt w osadach sarmatu południowej części zapadliska przedkarpaccyjskiego (rejon Pustków–Trzciana–Cierpisz). [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 25.
- FURGAŁ G. 2008 — Zastosowanie parametrów sprężystych skał do obliczania ciśnienia szczelinowania hydraulicznego i określania stabil-

- ności ścian otworu wiertniczego. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 27.
- GIŻEJEWSKI J. 2008 — Zastosowanie wybranych metod akustycznych do sedimentologicznej analizy osadów morskogłębokościowych i limnologicznych. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 30.
- GODLEWSKI P. 2008 — Sonda mikroimagingowa XRMI — geologiczne źródło informacji. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 30.
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER G.R., JANIK T., HEGEDÜS E., VOZAR J., ŚLĄCZKA A., TIIRA T. & ILINIEMI J. 2006 — Lithospheric structure beneath trans-Carpathian transect from Precambrian platform to Pannonian basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL05. *J. Geophys. Res.*, 111, B03301, doi:10.1029/2005JB003647.
- JAROSIŃSKI M. 2008 — Wyznaczanie kierunków i wielkości współczesnych naprężeń tektonicznych na podstawie profilowań i testów otworowych. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 42.
- HA QUANG M. & JARZYNA J. 2008 — Dane petrofizyczne w jednostkach o jednakowych własnościach hydraulicznych do modelowania przepływów w złożu gazu w zapadlisku przedkarpackim. [W:] Abstrakty PPKG. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 72.
- JARZYNA J., BAŁA M., CICHY A., GADEK W., KARCZEWSKI J., MARZENCKI K., STADTMÜLLER M. & ZORSKI T. 2008 — Nowe aplikacje systemu GeoWin® — do przetwarzania i interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 43.
- JARZYNA J. & HA QUANG M. 2009 — Podział skały zbiornikowej na jednostki o jednakowych własnościach hydraulicznych dla udokładnienia wyznaczania przepuszczalności przy modelowaniu przepływów w złożu gazu. *Prz. Geol.*, 57: 1007–1014.
- JELEŃSKA M., KADZIAŁKO-HOFMOKL M. & ŻELAŻNIEWICZ A. 2003 — The Devonian-Permian APWP for the West Sudetes, Poland, *Stud. Geophys. Geodet.*, 47: 419–434.
- JĘDRZEJOWSKA-TYCKOWSKA H. & ŻUKOWSKA K. 1999 — Zwiększenie rozdzielczości sekcji sejsmicznej w celu uwiarygodnienia ilościowych ocen parametrów fizycznego ośrodka. *Nafta-Gaz*, 6: 334–346.
- KARCZEWSKI J. & ZIĘTEK J. 2008 — Określenie przydatności metody georadarowej do badania osuwisk. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 46.
- KAŹMIERCZUK M. & JARZYNA J. 2008 — Wykorzystanie wielowymiarowych metod statystycznych w geologicznej interpretacji profilowań geofizyki otworowej dla mioceńskich utworów z rejonu złoża Dzików. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 51.
- KAŹMIERCZUK M. 2009 — Wykorzystanie wielowymiarowych metod statystycznych w geologicznej interpretacji profilowań geofizyki otworowej dla mioceńskich utworów z rejonu złoża Dzików, *Prz. Geol.*, 57: 996–1006.
- KADZIAŁKO-HOFMOKL M., JELEŃSKA M., BYLINA P., DUBIŃSKA E., DELURA K. & NEJBERT K. 2006 — Paleomagnetism of Paleozoic ultrabasic rocks from the Sudetes mts (SW Poland): tectonic implications. *Geophys. J. Internat.*, 167: 24–42.
- KADZIAŁKO-HOFMOKL M., DELURA K., BYLINA P., JELEŃSKA M. & KRUCZYK J. 2008a — Mineralogy and magnetism of Fe-Cr spinel series minerals from podiform chromitites and dunites from Tąpadła (Sudetic ophiolite, SW Poland) and their relationship to paleomagnetic results of the dunites. *Geophys. J. Internat.*, 175: 885–900.
- KADZIAŁKO-HOFMOKL M., DELURA K., BYLINA P., JELEŃSKA M. & KRUCZYK J. 2008b — Paleomagnetyzm paleozoicznych dunitów z ofiolitu sudeckiego zawierających ferrichromity i implikacje tektoniczne. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 51.
- KIJEWSKA S. & KRZYWIEC P. 2008 — Interpretacja profilu sejsmicznego z rejonu Brzeska-Tarnowa — modelowanie sejsmiczne. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 51.
- KLAJA J., KOWALSKA S. & PRZELASKOWSKA A. 2008 — Typy petrofizyczne skał czerwonego spagowca z rejonu południowo-zachodniej części niecki poznańskiej. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 53.
- KOSOBUDZKA I. & WRZESZCZ M. 2008 — Stan rozpoznania pola magnetycznego Ziemi na terytorium Polski. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 56.
- KOSTECKI A., PÓLCHŁOPEK A. & ŻUŁAWIŃSKI K. 2008 — Określenie prędkości propagacji fal z wykorzystaniem metody ekstrapolacji pola falowego w głąb ośrodka (DMVA). [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 57.
- KRAWIEC A. & RUDZKI M. 2008 — Zastosowanie metody tomografii elektrooporowej w rozpoznaniu budowy geologicznej — niejednoznaczność rozwiązań interpretacyjnych. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 59.
- MORRIS A. & TARLING D.H. (eds). 1996 — Palaeomagnetism and tectonics of the Mediterranean Region. *Geol. Soc. Sp. Publ.*, 105.
- NIKIEL-TSHABANGU B. & NEBELSKA U. 2008 — GEOPROBE — Interpretacja i wizualizacja danych sejsmicznych w przestrzeni 3D. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 83.
- OPDYKE N.D. & CHANNELL J.E.T. 1996 — Magnetic stratigraphy. Academic Press, San Diego.
- Pierwszy Polski Kongres Geologiczny.** Kraków 26–28 czerwca 2008. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków, 2008.
- PIETSCH K., TATARATA A. & KOBYLARSKI M. 2008 — Analiza związku sejsmicznego obrazu złoża z wielkością nasycenia gazem. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 90.
- PIETSCH K. & TATARATA A. 2008 — Wykorzystanie atrybutów bazujących na danych sejsmicznych przed składaniem do oceny stopnia nasycenia gazem warstw złożowych, NE część zapadliska przedkarpackiego. *Kwart. AGH Geologia*, 34: 301–320.
- PIETSCH K., NAWIEŚNIAK A., KOBYLARSKI M. & TATARATA A. 2008 — Czy tłumienie fal sejsmicznych może być źródłem informacji o stopniu nasycenia skał zbiornikowych gazem? — studium modelowe. *Prz. Geol.*, 56: 545–552.
- PILECKI Z., KUMOROWSKI M. & KRAWIEC K. 2008 — Rozwój procesu zapadliskowego w świetle symulacji numerycznej metodą DEM. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 90.
- PUSKARCZYK E., JARZYNA J., WÓJCIK A. & SEMYRKA R. 2008 — Połączenie wyników magnetycznego rezonansu jądrowego z innymi metodami badania przestrzeni porowej skał. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 95.
- ROMANIUK W. 2008 — Pomiar profilowania upadu warstw w Geofizyce Toruń Sp. z o.o. na przestrzeni lat 1992–2008. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 100.
- SOBOTKA J. 2008 — Zastosowanie technologii akustycznej „rewitalizacji” otworów i warstw roponośnych w celu zwiększenia wydobywania węglowodorów. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 109.
- STEFANIUK M., KLITYŃSKI W., POKORSKI J., SADA M. & WOJDYŁA M. 2008 a — Regionalne badania magnetotelluryczne struktur centralnej i północno-zachodniej Polski. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 113.
- STEFANIUK M., PROBULSKI J., SADA M. & WOJDYŁA M. 2008b — Szczegółowe badania struktur fliszowych z wykorzystaniem ciągłego profilowania magnetotellurycznego. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 114.
- STEFANIUK M., LEMBERGER M., KLITYŃSKI W., WOJDYŁA M. & TARGOSZ P. 2008c — Mapy magnetotelluryczne Karpat. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 114.
- STEFANIUK M. & JARZYNA J. 2008 — Wykorzystanie danych geofizyki otworowej w interpretacji badań magnetotellurycznych. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 113.
- SZARANIEC E. 2008 — Elektryczna tomografia procesowa. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 118.
- SZEWZYK J. 2008 — Ziemi strumień ciepły a glacialne zmiany klimatyczne późnego plejstocenu na obszarze Polski. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 120.
- TARLING D.H. & TURNER P. (eds). 1999 — Palaeomagnetism and diagenesis in sediments. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 151.
- TURNER P. & TURNER A. (eds) 1995 — Paleomagnetic applications in hydrocarbon exploration and production. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 98.
- WOJDYŁA M., STEFANIUK M. & PASUNIAK P. 2008 — Pierwsze eksperymentalne badania magnetotelluryczne z kontrolowanym źródłem. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 129.
- WRÓBLEWSKA M. 2008 — Charakterystyka termiczna głębokiej litosfery w rejonie Karpat Zachodnich. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 133.
- ZALEWSKA J., SIKORA G. & GAŚSIOR I. 2008 — Laboratoryjne badania anizotropii fizycznych właściwości skał. [W:] PPKG. Abstrakty. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Kraków: 135.
- ZORSKI T. 2009 — Recent improvements in interpretation methodology applied in GeoWin Satun application. *Kwart. AGH Geologia*, 35: 549–557.
- ZUBRZYCKA M., CZERWIŃSKA B., NIKIEL-TSHABANGU B. & ZUBRZYCKI Z. 2009 — Nowe perspektywy poszukiwawcze na bazie reprocessingu danych sejsmicznych 3D z rejonu Sokołów-Pogwizdów. *Prz. Geol.*, 57: 988–995.
- ŻYTKO K., ZAJĄC R. & GUCIK S. 1988–1989 — Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their Foreland, 1 : 500 000. [In:] *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland*, D. Poprawa (Poland) & J. Nemčok (Czechoslovakia) (eds.). Polish Geological Institute, National Research Institute.