

Nowa baza danych konodontowego wskaźnika przeobrażeń termicznych (CAI)

Katarzyna Narkiewicz*, Jan Malec*



K. Narkiewicz



J. Malec

Przez wiele lat konodonta były stosowane jako precyzyjne narzędzie biostratygraficzne dla morskich utworów, głównie węglanowych, od kambru do triasu. W latach czterdziestych odkry-

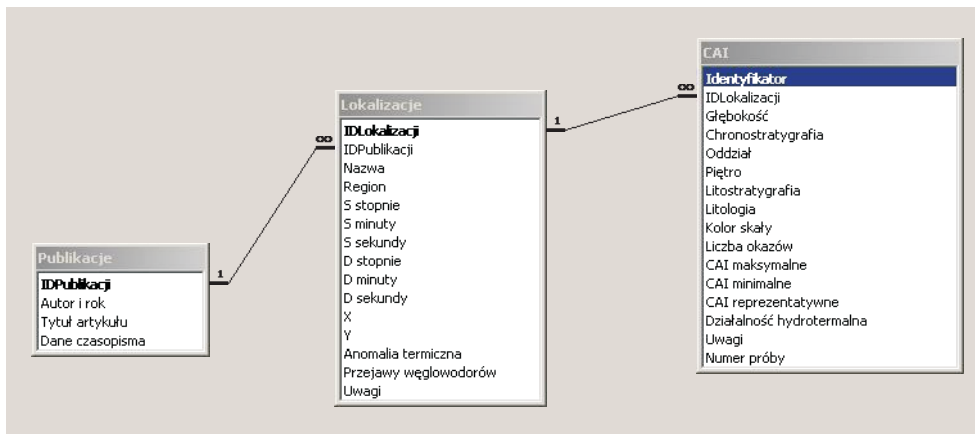
to, że konodonta mają zróżnicowaną barwę. Zbudowane są one z warstewek apatyty, pomiędzy którymi uwieczona jest substancja organiczna. W wyniku podgrzewania zmienia ona trwale barwę i ta właściwość została wykorzystana do analizowania paleotemperatur i poszukiwań węglowodorów (Epstein i in., 1977).

Oznaczanie dojrzałości termicznej skał różnego wieku na drodze obserwacji barwy konodontów (wskaźnik CAI — *colour alteration index*) ma ugruntowaną pozycję wśród zespołu metod paleotermicznych w badaniach podstawowych oraz przy ocenie potencjału naftowego skał macierzystych (Narkiewicz & Nehring-Lefeld, 1993). Metoda

CAI ma charakter półilościowy i jest mniej precyzyjna od szeroko stosowanych oznaczeń stopnia refleksyjności wityritu (% Ro) lub indeksów biomarkerowych. Jej wadą jest jednak względna łatwość stosowania, niskie koszty i możliwość wykorzystania dla utworów pozbawionych uwęglonej materii organicznej pochodzenia lądowego, a więc dla morskich skał węglanowych i utworów starszego paleozoiku. Ponadto konodonta w odróżnieniu od wityritu wykazują dużą odporność na wietrzenie i diagenzę, zatem lepiej zachowują zapis paleotemperaturowy. Rzetelność i porównywalność oznaczeń zapewnia stosowanie odpowiednich wzorców — wykalibrowanych kolekcji konodontów różnego wieku i o różnej morfologii. Liczne prace krajowe i zagraniczne dowiodły przydatności badań CAI w różnej skali — od lokalnej po regionalną. Szczególnie istotne znaczenie mają one przy poszukiwaniu złóż ropy i gazu i są stosowane przez firmy naftowe (AMOCO-BP, APACHE). W Polsce, od pionierskiej pracy Bełki (1982) wykonano już wiele opracowań przyczynkowych i regionalnych wykorzystujących badania CAI dla celów analizy basenów sedymentacyjnych (Bełka, 1990, 1993; Bełka & Siewniak-Madej, 1996; Nehring-Lefeld i in., 1997; Narkiewicz i in., 1998; Grotek i in., 1998; Poprawa i in., 2001), w opracowaniach tektoniki i paleomagnetyzmu (Grabowski i in., 1999), a także w badaniach intruzji magmowych (Bełka, 1982; Narkiewicz & Nehring-Lefeld, 1993).

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

**Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce



Ryc. 1. Zależności relacyjne między tabelami w bazie danych CAI

Dane CAI były zbierane przez K. Narkiewicz od połowy lat 90. W celu uporządkowania danych sporządzono prosty program bazy danych w systemie dBase. Obejmował on następujące informacje: nazwa otworu, współrzędne geograficzne, głębokość pobrania próbek, litologię skał, stratygrafię, wskaźnik CAI dla poszczególnych próbek. Następnie, po zgromadzeniu w bazie danych ok. 100 profili otworów i odsłoneń, dokonano konwersji do wcześniejszej wersji (2.0) programu Microsoft Access. Tak sporządzona, prowizoryczna baza danych obejmowała dane (i to nie wszystkie) opublikowane przed 1998 r. Ponadto, miała ona wiele niedociągnięć informatycznych oraz luk dotyczących m.in. lokalizacji punktów pomiarowych, stratygrafii i litologii badanych otworów. Duża ilość oznaczeń CAI z różnych części Polski, potrzeba ich systematyzacji i udostępnienia sprawiła, że konieczne okazało się opracowanie nowoczesnej komputerowej bazy danych dla potrzeb przyszłych badań regionalnych i w celu łatwiejszego zestawiania ciągle pojawiających nowych danych.

Struktura bazy i tematyczny zakres danych

Baza danych została sporządzona w środowisku Microsoft Access 2000. Dane są przechowywane w postaci trzech tabel: „Publikacje”, „Lokalizacja” i „CAI” powiązanych zależnościami relacyjnymi. Każda z tabel zawiera określone pola (ryc. 1).

Tabela „Publikacje” obejmuje następujące pola: autor, rok publikacji, tytuł publikacji i dane czasopisma. Zadaniem tej tabeli jest wskazanie źródła informacji. Daje to możliwość szybkiego porównywania danych i skorygowania ewentualnych nieścisłości. Tabela „Publikacje” zawiera dane z 11 publikacji, a także dane niepublikowane, które wskazują tylko na autora źródła informacji.

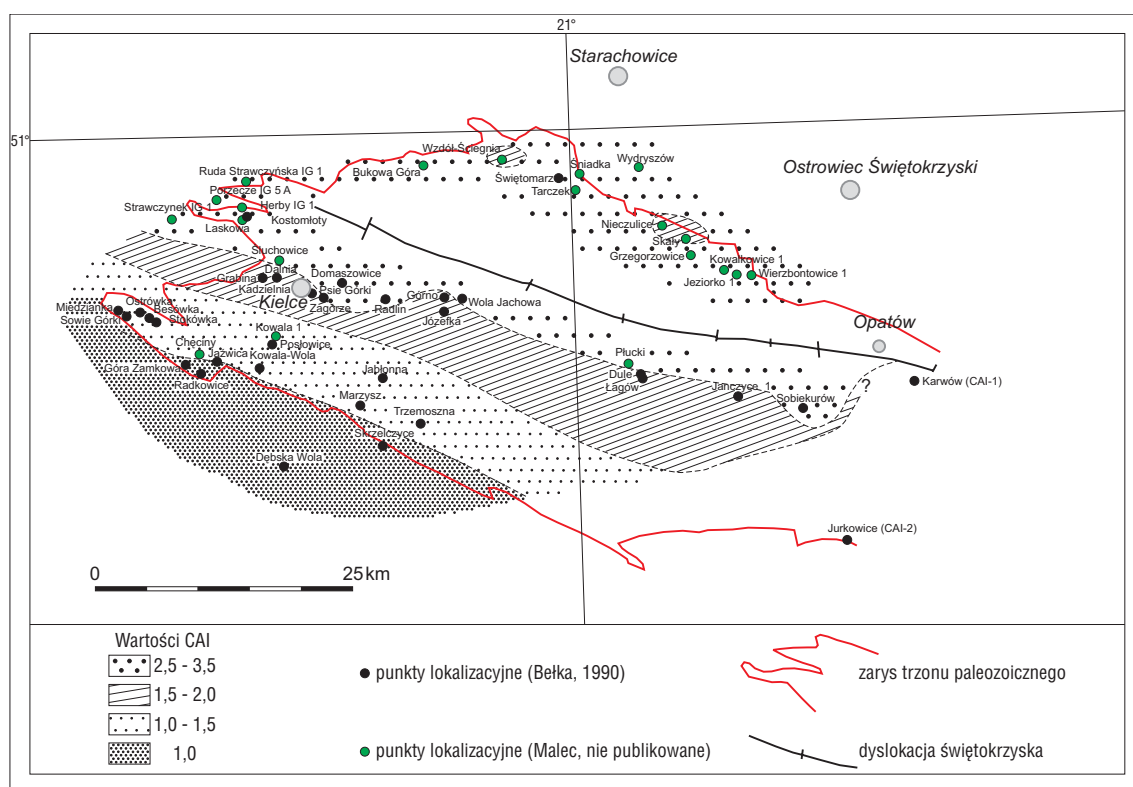
Tabela „Lokalizacja” obejmuje pola: nazwa otworu wiertniczego lub odsłoneńca, publikacja, z której pochodzą dane, region, w którym określona lokalizacja występuje, współrzędne geograficzne, anomalia termiczna oraz przejawy węglowodorów i uwagi. Ponieważ dane CAI pochodzą z różnych obszarów przyjęto umowną rejonizację w celu praktycznego wykorzystania tych danych. Wydzielono następujące regiony: Pomorze, Góry Świętokrzyskie, Lubelszczyzna, region radomski, podłoże niecki Nidy, śląsko-krakowski i Karpat. W celu łatwiejszego ustalenia lokalizacji wszystkie odsłoneńca osobno odnotowano w uwagach. Dane dotyczące nazw lokalizacji, współrzędnych i regionu są niezbędne do graficznego przedstawienia wskaźników CAI w postaci map wyzna-

czających obszary o tym samym wskaźniku. Anomalie termiczne wskazują na wyraźne odchylenia wartości CAI w stosunku do tła charakterystycznego dla określonego regionu lub obszaru w obrębie tego regionu. Natomiast przejawy węglowodorów wskazują bezpośrednio na ewentualną relację dojrzałości termicznej skał macierzystych do stadiów generowania węglowodorów (okno ropne i gazowe).

Tabela „CAI” obejmuje następujące pola: głębokość (w przypadku otworu wiertniczego), chronostratygrafia (system, oddział i piętro), litostratygrafia, kolor skały, liczba okazów, wartości CAI minimalne, maksymalne i reprezentatywne oraz przejawy aktywności hydrotermalnej i uwagi. Wartości głębokości i chronostratygrafia lokalizują próbkę w profilu. Dane CAI są stosowane do określania paleotemperatur i analizy historii pogrzebania utworów zawierających konodonty. Kolor konodontów może zależeć nie tylko od maksymalnej temperatury podgrzania osadów ale także od litologii skał, jak również od przejawów działalności hydrotermalnej. Dane o kolorze skały i przejawach aktywności hydrotermalnej umożliwiają ocenę błędów oznaczenia CAI. Ustalono bowiem, że typ skały i jej kolor mogą wpływać na zmianę wartości CAI w zakresie do pół jednostki (Bełka, 1990). Zjawiska hydrotermalne mogą bardziej skomplikować ocenę tego wskaźnika. Na przykład tzw. „szara patyna” — wynik działania roztworów o bardzo wysokiej temperaturze może całkowicie zatrzeć pierwotny kolor konodontów, znacznie zmieniając wartość wskaźnika CAI (Rejebian i in., 1987).

W uwagach zawarto informacje, które dotyczą procesów mających wpływ na ostateczne zabarwienie konodontów, a nie zostały uwzględnione w odpowiednich polach ze względu na rzadkość ich pojawiania się. Zaliczamy do nich procesy diagenetyczne, takie jak dolomityzacja czy sylifikacja, a także typu badanego zespołu konodontowego. Jeśli zawiera on tylko osobniki młodociane, wskaźniki CAI są na ogół zaniżone, a zatem niereprezentatywne. Zauważono także, że okazy z dewońskiego rodzaju *Palmatolepis* wykazują niższe wartości CAI niż występujące w tych samych próbkach osobniki z rodzaju *Icriodus* lub *Polygnathus*.

W celu pogrupowania danych, w zależności od potrzeb użytkownika, utworzono następujące kwerendy: chronostratygraficzną, regionalno/chronostratygraficzną (reg./chron), anomalii, CAI i współrzędnych lokalizacji. Kwerenda chronostratygraficzna umożliwia wybranie danych według kryteriów systemów (ordowik-trias). Każde zestawienie odniesione do określonego systemu zawiera następujące pola: głębokość, nazwa lokalizacji, chronostratygrafia (system, oddział, piętro), litologia, kolor skały, liczba oka-



Ryc. 2. Mapa wartości konodontowego wskaźnika CAI dla dewońskich skał Gór Świętokrzyskich (na podstawie danych Bełki, 1990 i Malca, nie publikowane); opracowanie graficzne mapy L. Skowroński

zów, CAI minimalne, maksymalne i reprezentatywne, działalność hydrotermalna i uwagi. Celem regionalno/chronostratygraficznej kwerendy jest ograniczenie danych do jednego regionu i systemu. Zestawienie danych możemy uzyskać np. dla regionu Góry Świętokrzyskie i systemu dewon. Takie zestawienie obejmuje następujące pola: głębokość, nazwa lokalizacji, region, system, oddział oraz CAI reprezentatywne. Kwerenda anomalii ma za zadanie przedstawienie wszystkich lokalizacji, w których stwierdzono anomalnie wysokie lub niskie wartości CAI w stosunku do otaczającego tła. Kwerenda ta zawiera następujące pola: głębokość, nazwa lokalizacji, region, system, oddział, litologia, kolor skały, CAI reprezentatywne i działalność hydrotermalna. Celem kwerendy CAI jest wyszczególnienie określonej reprezentatywnej wartości CAI na całym obszarze objętym badaniami CAI. W jej zakres wchodzi pola: głębokość, nazwa lokalizacji, region, oddział, CAI maksymalne, CAI minimalne i CAI reprezentatywne. Podstawowym zadaniem kwerendy współrzędnych lokalizacji jest wyodrębnienie danych niezbędnych do rysowania map. Dane ograniczono do regionu i systemu. Zestawienia odniesione do systemu i regionu zawierają następujące pola: nazwa lokalizacji oraz ich współrzędne geograficzne.

Interfejs graficzny

Baza danych jest bardzo łatwa w obsłudze. Po jej uruchomieniu wyświetla się główny formularz, który umożliwia nawigację między formularzami zawierającymi dane oraz łatwy, bezpośredni dostęp do kwerend.

Formularz „Lokalizacje” — zawiera wszystkie dane o lokalizacji otworów wiertniczych i odsłonięć (patrz tabela

„CAI”). Nazwy lokalizacyjne zostały uporządkowane alfabetycznie. Ich przegląd i wybór umożliwia zainstalowana na dole formularza roleta „Wybór lokalizacji”. Zawiera ona spis wszystkich otworów wiertniczych i odsłonięć ułożonych alfabetycznie. Pod roletą okno „rekord” informuje ile lokalizacji zawiera baza danych (liczba z prawej strony), a także podaje numer porządkowy określonej lokalizacji wybranej z rolety „Wybór lokalizacji”. Próbkę w otworach wiertniczych i odsłonięciach uporządkowano według głębokości, od wartości najmniejszych do największych. Liczby w oknie „rekord” pod tabelą CAI odpowiadają kolejnym próbkom ustawionym według głębokości. Całkowita ilość próbek w odniesieniu do określonej lokalizacji jest przedstawiona z prawej strony okna „rekord”. Formularz „Lokalizacje” zawiera także uproszczone dane publikacji źródłowej, tzn. nazwisko autora oraz rok wydania.

Formularz „Publikacje” — zawiera dane na temat wszystkich publikacji, z których skorzystano przy tworzeniu bazy danych CAI (patrz tabela „Publikacje”). Publikacje zostały uporządkowane alfabetycznie według nazwisk autorów. Przegląd wszystkich publikacji oraz wybór określonej umożliwia roleta „Wybór publikacji” umieszczona na dole tabeli „Publikacje”. Natomiast okno „rekord” informuje o ilości publikacji, wykorzystanych do bazy (liczba z prawej strony) oraz pozwala na wyszukanie publikacji według kolejnego numeru. Ponadto w formularzu „Publikacje” uwzględniono wszystkie lokalizacje (tylko do podglądu) odniesione do określonej publikacji. Liczby w oknie „rekord” odpowiadają kolejności wymienionych lokalizacji, a liczba z prawej strony okna informuje o ilości wszystkich lokalizacji umieszczonych w jednej publikacji.

Kwerendy — umożliwiają przygotowania danych potrzebnych użytkownikowi w formie tabel.

Materiały

Nowa baza danych zawiera 298 rekordów dotyczących lokalizacji, na które składają się otwory wiertnicze i odsłonięcia oraz 916 rekordów dotyczących danych CAI.

Zebrany materiał pochodzi przede wszystkim z 10 publikacji. Dane niepublikowane dostarczone przez J. Malca stanowią 10%. Publikacje, w których dane CAI nie odniesiono do konkretnych lokalizacji, jak np. w pracy Nehring-Lefeld i in. (1997) nie zostały uwzględnione w tworzonej bazie danych. Oznaczenia CAI dotyczą różnych regionów Polski, a także skał różnego wieku: od ordowiku i syluru (Narkiewicz & Nehring-Lefeld, 1993), dewonu (Bełka, 1990, 1993; Narkiewicz & Nehring-Lefeld, 1993; Narkiewicz i in., 1998), karbonu (Bełka Z., 1990, 1993; Bełka & Siewniak-Madej, 1996; Grotek i in., 1998) po trias (Bełka, 1990; Narkiewicz & Nehring-Lefeld, 1993; Repetski & Narkiewicz, 1996; Grabowski i in., 1999; Poprawa i in. 2001). Niektóre dane, takie jak głębokość czy wartości CAI zostały przetworzone dla potrzeb bazy. W przypadku podania w publikacji przedziału głębokościowego, nie przekraczającego 10 m, sprowadzono te dane do jednej głębokości średniej dla danego przedziału. Jeśli zakres głębokości przekraczał 10 m wpisywano kolejno dwie wartości dla skrajnych głębokości przedziału, a w uwagach tabeli „CAI” zaznaczano podany przez autora przedział głębokościowy. W przypadku podania numeru skrzynki rdzeniowej i przedziału głębokościowego do górnego zakresu głębokości dodawano numer skrzynki minus 0,5 m. Numery skrzynek podano również w uwagach tabeli „CAI”. Pola głębokościowe z cyfrą 0,00 oznaczają, że dane pochodzą z odsłoneń, co dodatkowo zostało zaznaczone w uwagach tabeli „Lokalizacje”. W niektórych publikacjach podano tylko zakres wartości CAI np. 1,5–2. W takich przypadkach mniejszą wartość uwzględniano jako CAI minimalne (min.), wyższą jako maksymalne (maks.), a jako wartość reprezentatywną przyjmowano wartość minimalną. Jeśli próbka zawierała tylko okaz lub okazy były wyjątkowo drobne, zostało to odnotowane w uwagach, bowiem w takich przypadkach wartości CAI są niereprezentatywne.

Baza danych zawiera pewne luki. W tabeli „Lokalizacje” brakuje danych współrzędnych geograficznych dla wszystkich odsłoneń zlokalizowanych w regionie śląsko-krakowskim. Brak danych litostratygraficznych w tabeli „CAI”, w większości przypadków wynika z braku dokładnych opracowań na badanym obszarze. Tam gdzie to było możliwe wykorzystano opracowania wcześniejsze (publikacje lub prace archiwalne). Dla wielu odsłoneń i

otworów w tym szczególnie złożowych, brakuje także danych litologicznych i informacji o kolorze skał. Te szczegółowe dane rzadko są podawane przez autorów w pracach dotyczących CAI.

Przykład zastosowania bazy danych CAI

W celu przedstawienia praktycznych możliwości wykorzystania bazy danych CAI wykonano mapę konodontowego wskaźnika CAI dla utworów dewonu Gór Świętokrzyskich. Mapa (ryc. 2) została oparta na danych zawartych w pracy Bełki (1990) i nowych danych uzyskanych przez J. Malca. Nowa mapa została wykonana za pomocą programu SURFER, do którego wprowadzono takie dane, jak: lokalizacja, współrzędne geograficzne oraz dane CAI.

Programując kwerendę współrzędnych lokalizacji dla regionu świętokrzyskiego i systemu dewońskiego uzyskano tabelę, która zawierała 53 punkty lokalizacyjne, w tym 34 archiwalne (Bełka, 1990) i 19 nowych wraz ze współrzędnymi geograficznymi. Dla franu z odsłoneń w Pluckach i Śluchowicach dotychczasowe dane CAI zostały zweryfikowane; obecnie ustalone CAI wynosi 2,5. Dla potrzeb programu SURFER współrzędne geograficzne przeliczono na współrzędne prostokątne. Dane CAI dla regionu Gór Świętokrzyskich i systemu dewońskiego uzyskano za pomocą kwerendy regionalno-chronostratygraficznej. CAI reprezentatywne dla systemu dewońskiego zostało ustalone przez wybranie wartości najczęściej występującej w określonej lokalizacji, a następnie osobno wprowadzone do programu SURFER. W końcowym efekcie uzyskano mapę z nazwami lokalizacji i wartościami CAI odniesionymi do tych lokalizacji. Linie pomiędzy obszarami o jednakowej wartości CAI zostały narysowane ręcznie. W celu łatwiejszego porównania map dojrzałości termicznej zastosowano podobną szrafurę jak w opracowaniu Bełki (1990). W obu przypadkach wyszczególniono 4 strefy dojrzałości termicznej. Ogólny rozkład wskaźnika CAI jest prawie taki sam jak w pracy Bełki (1990) zachowując kierunek WNW–ESE. Nowe dane dotyczą przede wszystkim obszaru położonego na północ od dyslokacji świętokrzyskiej, gdzie do tej pory znany był tylko jeden pomiar z odsłoneń Świętomarz (Bełka, 1990). Poza tym uwzględniają dane z utworów odniesionych nie tylko do dewonu górnego, ale także środkowego i dolnego. Dodatkowe wyniki CAI umożliwiły przeprowadzenie analizy dojrzałości termicznej na tym obszarze Gór Świętokrzyskich i porównanie uzyskanych wyników z wcześniejszymi. Najczęstsze wartości CAI, stwierdzone na północ od dyslokacji świętokrzyskiej, mieszczą się w zakresie od 2,5 do 3. Ten zakres dotyczy także strefy o najwyższych wartościach CAI obejmującej obszar położony na północ od dyslokacji świętokrzyskiej i wąski pas przylegający do niej od strony południowej.

Tab. 1. Zestawienie liczby lokalizacji i oznaczeń CAI w regionach

Region	Zakres stratygraficzny	Liczba lokalizacji	Liczba oznaczeń CAI
Góry Świętokrzyskie	O, D, C	67	91
Karpaty	D, C, T	5	15
Lubelszczyzna	D, C	52	183
Obszar radomski	T	1	2
Podłoże niecki Nidy	C, T	7	18
Pomorze	D, C	57	278
Obszar śląsko-krakowski	O, S, D, C, T	109	329
Suma		298	916

Tab. 2. Zestawienie danych bazy CAI dla systemów

System	Liczba lokalizacji	Liczba oznaczeń CAI	Średnia wartość CAI*
Trias	31	55	1
Karbon	102	243	2
Dewon	172	592	2
Sylur	6	16	5
Ordowik	7	10	6

*średnie wartości CAI są podane dla CAI reprezentatywnego i zaokrąglone do liczb całkowitych

Na mapie Belki (1999) strefa o najwyższych wskaźnikach CAI 3–3,5 odniesiona była tylko do wąskiego pasa położonego bezpośrednio na południe od dyslokacji. Jednakże wartości CAI 3,5 stwierdzono tylko w 2 izolowanych punktach znacznie od siebie odległych, co nie wystarczyło do wyznaczenia ciągłej strefy. Na północ od dyslokacji świętokrzyskiej najwyższe wskaźniki CAI 3 zaobserwowano w północno-zachodniej części regionu łysogórskiego i to niezależnie od wieku badanych utworów w zakresie wczesny–późny dewon. Najniższe wartości CAI 1,5–2 stwierdzono w odsłonięciach Wzdół Ściegna, Nieczulice i Skały. W przypadku dwóch ostatnich, które zlokalizowane są we wschodniej części strefy o najwyższych wartościach, CAI 1,5 zanotowano dla utworów dewonu górnego w Nieczulicach, a CAI 2 dla utworów dewonu środkowego w Skałach. Wartości CAI w pozostałych odsłonięciach z tego obszaru pochodzą z utworów dewonu dolnego i wynoszą 2,5. Taki rozkład sugeruje, że w tej części omawianej strefy, decydujący wpływ na wielkości wskaźnika miała głębokość pogrzebanie osadów. Co ciekawe, w odsłonięciu Wzdół Ściegna, położonym w centralnej części strefy o najwyższych wskaźnikach CAI, wartości te dla utworów franu wynoszą 1,5–2 i są niższe niż dla utworów famenu, gdzie zmieniają się od 2 do 3. Wartości CAI w pozostałych odsłonięciach tego obszaru, pochodzą z osadów starszych, środkowego i dolnego dewonu i wahają się od 2,5 do 3,5. Najprawdopodobniej wpływ na taki rozkład dojrzałości termicznej miało zuskokowanie tego obszaru i krążenie roztworów hydrotermalnych wykorzystujących szczeliny i spękania. Szczególnie przypadek odsłonięcia Wzdół Ściegna, gdzie utwory młodsze są silniej przeobrażone niż utwory starsze, należy tłumaczyć właśnie podgrzaniem przez krążące roztwory.

Na południe od dyslokacji świętokrzyskiej, strefy dojrzałości termicznej wyznaczone przez wartości CAI 2–1,5, 1–1,5 i 1 pozostają prawie niezmienione w stosunku do wcześniej pracy Belki (1990).

Podsumowanie i wnioski

Nowa baza danych CAI obejmuje wszystkie publikowane i część niepublikowanych oznaczeń ze znacznego obszaru kraju i prawie pełnego stratygraficznego zakresu występowania konodontów (patrz tab. 1). Baza uwzględnia 298 lokalizacji usytuowanych w 7 regionach oraz 916 oznaczeń reprezentatywnego CAI. Brak oznaczeń CAI dla permu należy wiązać z występowaniem w tym czasie na obszarze Polski facji ogólnie niekorzystnych dla rozwoju organizmów konodontonośnych. Najpełniejszy zespół danych pod względem zakresu stratygraficznego oraz liczby lokalizacji i oznaczeń CAI dotyczy regionu śląsko-krakowskiego. Znaczną liczbą oznaczeń CAI charakteryzuje się także region Pomorza i Lubelszczyzny. Obliczenie średniej wartości CAI dla poszczególnych systemów (tab. 2) pozwala w przybliżeniu oszacować przeciętne paleotemperatury charakteryzujące poszczególne systemy i określić ich średnią dojrzałość termiczną. Stwierdzono, że jest zachowana ogólna tendencja wzrostu dojrzałości termicznej od utworów młodszych ku coraz starszym. Liczba lokalizacji i oznaczeń CAI wskazuje, jak dalece obliczone średnie wartości CAI są wiarygodne.

Zakres bazy został poszerzony o obserwacje dotyczące objawów węglowodorów i zjawisk hydrotermalnych.

Nowa baza ma czytelną strukturę oraz wiele udogodnień dla użytkowników. Należy do nich:

1) czytelny układ formularzy, co umożliwia łatwiejsze analizowanie przetwarzanych danych, wprowadzanie poprawek i nowych danych;

2) zastosowanie rolet ułatwiających szybki dostęp do danych;

3) możliwość sortowania danych według potrzeb użytkownika przez założenie kwerend.

Tak skonstruowana baza danych jest zbiorem wartościowych informacji, łatwym do uzupełniania (w miarę napływu nowych danych) i wykorzystania w różnorodnych badaniach podstawowych: paleotermicznych, tektonicznych, paleomagnetycznych i petrologicznych. Ogólnie baza będzie przydatna w naftowej analizie basenów sedimentacyjnych, przy badaniach rozprzestrzenienia okien węglowodorowych i, jako metoda wspomagająca/uzupełniająca, przy modelowaniach procesów generowania ropy i gazu.

Prace przeprowadzono w ramach tematu 6.20.9917.00.0 finansowanego z puli badań statutowych Państwowego Instytutu Geologicznego.

Autorzy serdecznie dziękują Adamowi Narkiewiczowi za opracowanie strony informatycznej bazy danych oraz prof. Zdzisławowi Belce za pomoc w skonstruowaniu mapy.

Literatura

- BELKA Z. 1982 — Upper Visean conodonts from Orlej in the Cracow Upland: stratigraphical and paleothermal implications. *Acta Geol. Pol.*, 32: 57–67.
- BELKA Z. 1990 — Thermal maturation and burial history from conodont colour alteration data, Holy Cross Mountains, Poland. *Courier Forsch.-Inst. Senckenberg*, 118: 241–251.
- BELKA Z. 1993 — Thermal and burial history of the Cracow-Silesia region (southern Poland) assessed by conodont CAI analysis. *Tectonophysics*, 277: 161–190.
- BELKA Z. & SIEWNIAK-MADEJ A. 1996 — Thermal maturation of the Lower Palaeozoic strata in the southwestern margin of the Malopolska Massif, southern Poland: no evidence for Caledonian regional metamorphism. *Geol. Rundschau*, 85: 775–781.
- EPSTEIN A. G., EPSTEIN J. B. & HARRIS L. D. 1977 — Conodont color alteration — an index to organic metamorphism. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 995: 1–27.
- GRABOWSKI J., NARKIEWICZ K. & POPRAWA P. 1999 — Pierwsze wyniki badań paleomagnetycznych i paleotermicznych (CAI) najwyższych jednostek reglowych w Tatrach Polskich. *Prz. Geol.*, 47: 153–158.
- GROTEK I., MATYJA H. & SKOMPSKI S. 1998 — Dojrzałość termiczna materii organicznej w osadach karbonu obszaru radomsko-lubelskiego i pomorskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 245–254.
- NARKIEWICZ K., GROTEK I. & MATYJA H. 1998 — Dojrzałość termiczna materii organicznej w utworach górnodewońskich obszaru radomsko-lubelskiego i pomorskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 235–244.
- NARKIEWICZ K. & NEHRING-LEFELD M. 1993 — Zastosowanie wskaźników CAI w analizie basenów sedimentacyjnych. *Prz. Geol.*, 41: 757–763.
- NEHRING-LEFELD M., MODLIŃSKI Z. & SWADOWSKA E. 1997 — Thermal evolution of the Ordovician in the western margin of the East-European Platform: CAI and Ro data. *Geol. Quarter.*, 41: 129–138.
- POPRAWA P., NARKIEWICZ K., SWADOWSKA E. & BRUSZEWSKA B. 2001 — Analiza dojrzałości oraz jednowymiarowe modelowanie historii termicznej utworów potencjalnie macierzystych dla węglowodorów w rejonie Liplasz-Tarnawa. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 174: 173–204.
- REJEBIAN V. A., HARRIS A. G. & HUEBNER J. S. 1987 — Conodont color and textural alteration: An index to regional metamorphism, contact metamorphism, and hydrothermal alteration. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 99: 471–479.
- REPETSKI J. E. & NARKIEWICZ M. 1996 — Conodont color and surface textural alteration in the Muschelkalk (Triassic) of the Silesian-Cracow Zn-Pb district, Poland. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 154: 113–124.