

Biostratygraficzne i geochemiczne problemy identyfikacji granicy fran-famen w południowej Polsce

Grzegorz Racki*, Hanna Matyja**, Maria Racka*, Michael Joachimski***

*W trakcie dokładnych badań konodontowych reperowych profili pogranicza fran-famen (F-F) w Górach Świętokrzyskich (Kowala) i rejonie Krakowa (Dębnik) natrafiono na trudności w biostratygraficznym rozpoznaniu tej naturalnej granicy pięter, odpowiadającej zdarzeniu wielkiego wymierania, jak i dokumentowaniu jej geochemicznej specyfiki. Sukcesja zespołów konodontowych przez krytyczny poziom F-F wykazuje zaskakująco stopniowy charakter, manifestujący się głównie we współwystępowaniu typowo frańskich palmatolepidów i ancyrodellidów z diagnostycznym dla famenu, bardzo zmiennym gatunkiem *Palmatolepis triangularis* (obejmującym morfotyp *praetriangularis*). Profile pierwiastków śladowych oraz izotopów węgla, tak węglanowego, jak i organicznego, wskazują na przeważnie „spokojny”, pozbawiony ważniejszych zdarzeń interwał pogranicza F-F sensu stricto, choć być może odpowiadający najwyższym poziomom produktywności. Największe zmiany oceanograficzne miały miejsce w pierwszej fazie sedymentacji górnego poziomu Kellwasser w dobie *linguiformis*, a więc przed kryzysem konodontów. Dane te wzmocniają scenariusz rozciągniętego w czasie, złożonego kryzysu biotycznego wskutek oddziaływania czynników ziemskich, ale nie globalnej katastrofy kosmicznej.*

Słowa kluczowe: dewon, granica fran-famen, masowe wymieranie, kryzys Kellwasser, biostratygrafia konodontowa, izotopy węgla, pierwiastki śladowe

Grzegorz Racki, Hanna Matyja, Maria Racka & Michael Joachimski — **Biostratigraphical and geochemical problems with identification of the Frasnian-Famennian boundary in the southern Poland.** *Prz. Geol.*, 47: 369–372.

Summary. High-resolution conodont studies of reference Frasnian-Famennian (F-F) sections in the Holy Cross Mts (Kowala) and Cracow area (Dębnik) revealed difficulties in the biostratigraphical recognition of this natural stage boundary corresponding to the major extinction event, as well as documentation of its supposed geochemical peculiarity. Surprisingly graded pattern of the conodont succession across the critical level is documented, manifested primarily in co-occurrence of typical Frasnian palmatolepids and ancyrodellids with the broadly variable diagnostic Famennian species *Palmatolepis triangularis* (encompassing *praetriangularis* morphotype). Carbon isotopic (both carbonate and organic) and trace element profiles of the F-F boundary sensu stricto point to generally "quiet", uneventful aspect of the interval, but maybe marked by highest productivity levels. Most significant oceanographic changes are linked with onset of the transgressive-hypoxic Kellwasser Event, still within the latest Frasnian *linguiformis* Chron, i.e. well before the conodont collapse. All the data support an extended in time, multicausal Earth-bound causation instead of a worldwide cosmic catastrophe.

Key words: Devonian, Frasnian-Famennian boundary, mass extinction, Kellwasser crisis, conodont biostratigraphy, carbon isotopes, trace elements

Granica fran-famen (F-F) jest powszechnie uważana za poziom jednego z największych wymierań w fanerozoiku, nawet jeśli ostatnio wiąże się ją tylko z kulminacją długotrwałego kryzysu biotycznego (kryzysu Kellwasser, KW; Schindler, 1990; McGhee, 1996; Hallam & Wignall, 1997), zarejestrowanego przede wszystkim w wielkiej redukcji biomasy biocenoz pelagicznych (Sandberg i in., 1988). Spełniałaby ona zatem warunki granicy naturalnej, łatwej do wyznaczenia już w trakcie prac terenowych (Walliser, 1985). Wbrew tym oczekiwaniom, badania reprezentatywnych i nieskondensowanych profili szelfu węglanowego południowej Polski w Górach Świętokrzyskich i rejonie Krakowa (patrz Narkiewicz & Hoffman, 1989; Matyja & Narkiewicz, 1992; Baliński, 1995; Racki & Baliński, 1998) ujawniły zasadnicze trudności z rozpoznaniem tej granicy (w kategoriach biochronologii konodontowej wysokiej rozdzielczości; *high resolution biochronology*), jak i z udokumentowaniem w zapisie geochemicznym hipotetycznej przebudowy ekosystemów morskich.

Zagadki biostratygrafii konodontowej

Na pogranicze F-F przypada wielki kryzys („prawie-wymarcie”; *near-extinction*) konodontów, zapisany w

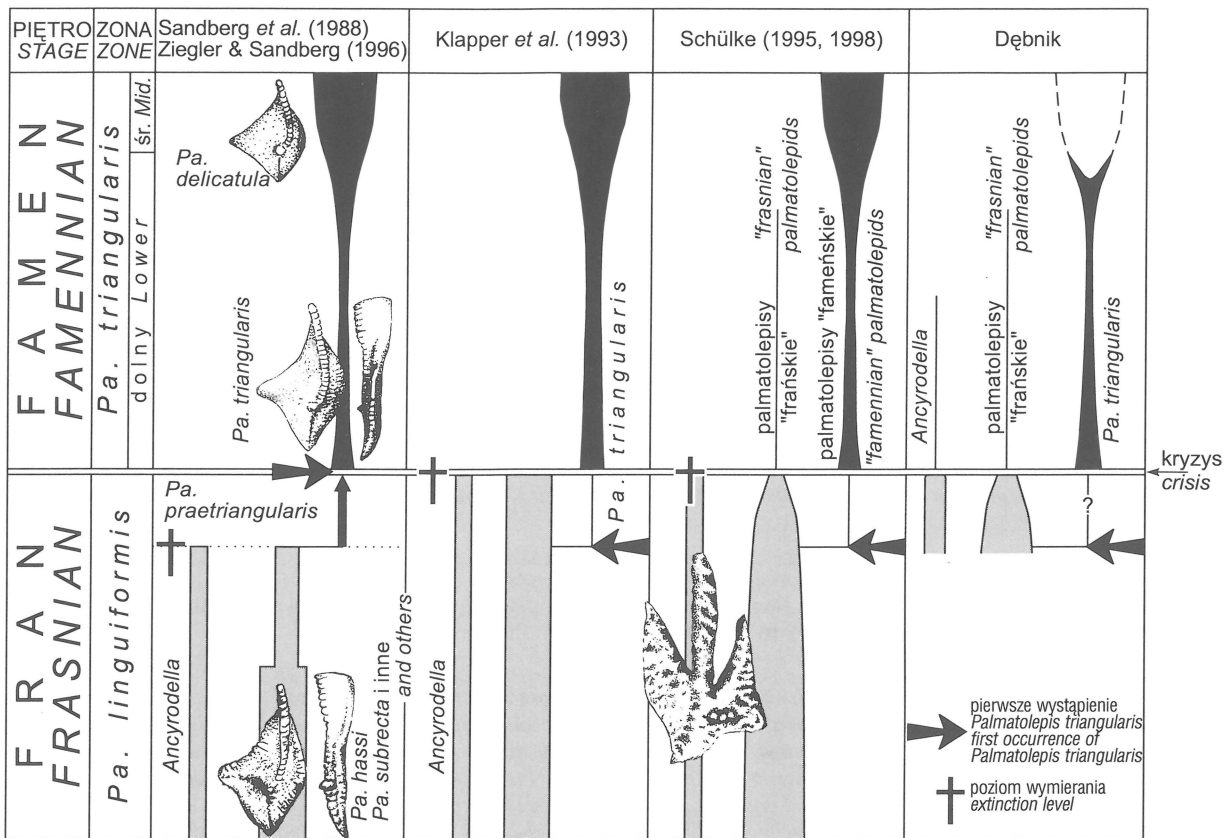
pierwszym rzędzie zanikiem ancyrodellidów oraz większości palmatolepidów — poza jednym gatunkiem — *Palmatolepis praetriangularis* (Sandberg i in., 1988; Ziegler & Sandberg, 1990, 1996). Zgodnie z definicją przyjętą przez Międzynarodową Podkomisję ds. Stratygrafii Dewonu, stawiana jest granica F-F właśnie w obrębie linii ewolucyjnej palmatolepidów, na pierwszym pojawieniu się gatunku *Palmatolepis triangularis* Sannemann, 1955 (patrz Klapper i in., 1993).

Powszechnie znana przebudowa zespołów konodontowych (np. nagły spadek zróżnicowania i frekwencji, pik ikriodusowy, redukcja wielkości palmatolepidów; Sandberg i in., 1988; Girard & Renaud, 1996) jest dobrze udokumentowana w profilach polskich (np. Matyja & Narkiewicz, 1992; Racki, 1996). Szczegółowa analiza fauny konodontowej pogranicza F-F z sekwencji usytuowanych zarówno w obrębie facji hemipelagicznych Gór Świętokrzyskich (Kowala, Janczyce), jak i platformowych obszaru krakowskiego (Dębnik, nowy szurf badawczy uzupełniający profil Balińskiego, 1995), nie pozwala — z różnych powodów — na jednoznaczne rozpoznanie granicy między tymi piętrami. Zmienność w obrębie bogatych populacji palmatolepidów diagnostycznych dla pogranicza franu i famenu (w typologicznym rozumieniu Zieglera & Sandberga, 1990, 1996), nie dostarcza przesłanek do rozróżniania gatunków *Pa. praetriangularis* Sandberg & Ziegler, 1988 i *Pa. triangularis*: większość badanych okazów wykazuje różnicowany stopień wygięcia tylnej zewnętrznej części platformy (patrz ryc. 1). W profilu Dębnika, w interwale co najmniej 0,8 m, pierwsze egzemplarze zbliżone do *Pa. triangularis* i bardzo liczne *Pa. praetriangularis* są głównym elementem „mieszanego” zespołu konodontów

*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

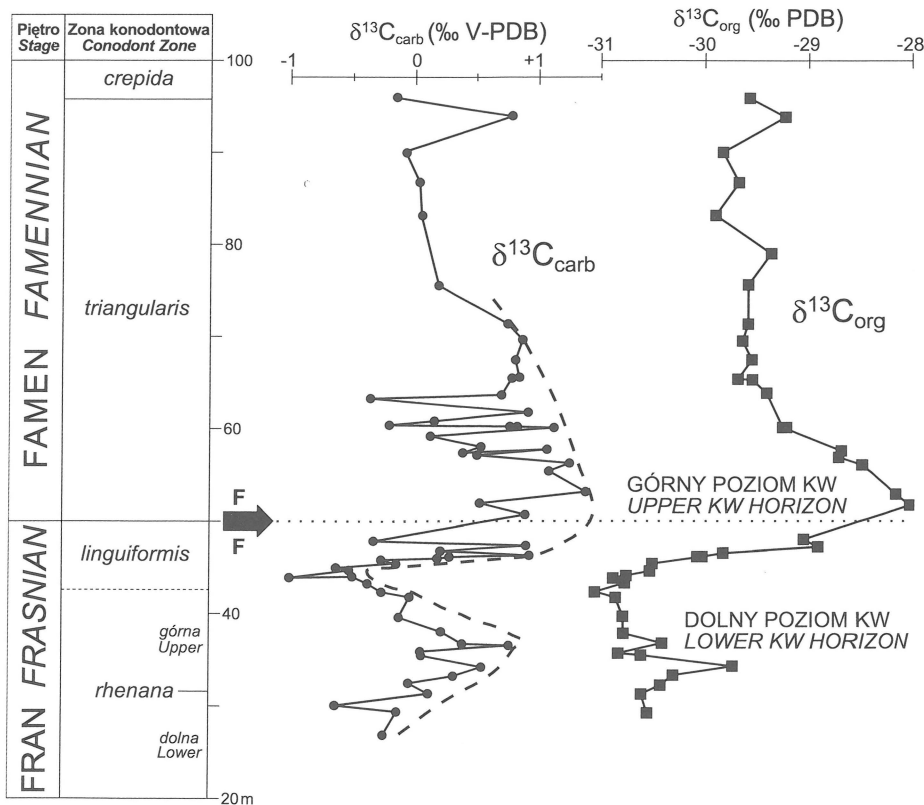
**Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

***Institut für Geologie der Universität Erlangen-Nürnberg, Schlossgarten 5, D-91054 Erlangen, RFN



Ryc. 1. Różne koncepcje biostratygraficznej definicji granicy fran-famenn, w zestawieniu z coraz dokładniej dokumentowanym przebiegiem wymierania wśród konodontów. Zauważ coraz bardziej stopniowy obraz tego zdarzenia, uwypuklony danymi z nowego profilu Dębника k. Krakowa

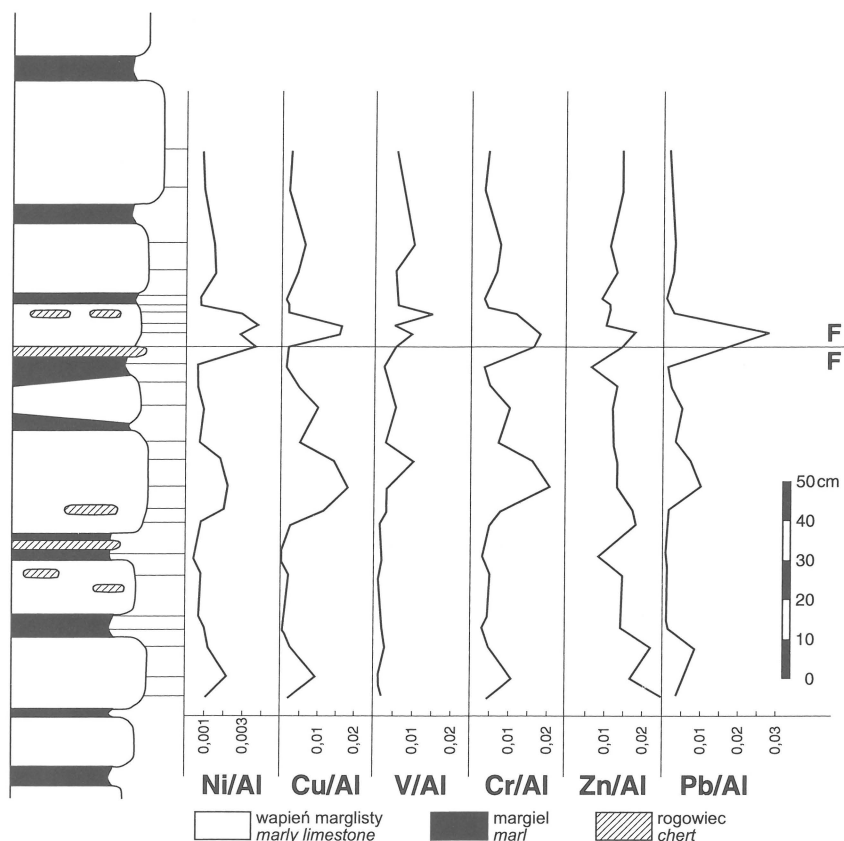
Fig. 1. Various concepts of biostratigraphic definition of the Frasnian-Famennian boundary, against more and more refined extinction pattern among conodonts. Note progressively more gradual record of this changeover, emphasized by the data from the new Dębnik



Ryc. 2. Zmienność izotopów węgla węglanowego i organicznego w górnej części franu i dolnej famennu profilu Kowali (Góry Świętokrzyskie) (częściowo wg Joachimski i in., 1999, ryc. 10). Zauważ liczne negatywne wahnięcia izotopowych stosunków węgla nieorganicznego wskutek procesów wczesnodiagenetycznych w zneomorfizowanych wapieniach bitumicznych, zgodnie z modelem Coniglio (1989)

Fig. 2. Variation of carbonate and organic carbon isotopes in the upper Frasnian and lower part of Famennian at Kowala section (Holy Cross Mts) (partly after Joachimski et al., in press, Fig. 10). Note frequent negative shifts of inorganic carbon isotopic ratios due to early diagenetic processes in neomorphosed bituminous limestones, in the pattern described by Coniglio (1989)

Zapis geochemiczny



Ryc. 3. Zmiany zawartości pierwiastków śladowych, odniesione do glinu (odzwierciedlającym zawartość substancji ilastej), w interwale pogranicza franu i famenu w basenowej sekwencji Kowali w Górach Świętokrzyskich. Zauważ obecność rogowców wokół granicy pięter; linia pozioma oznacza miejsce pobrania próbek

Fig. 3. Changes of trace element contents, normalized to aluminium (representing clay content), across the Frasnian-Famennian boundary in the Kowala basin sequence, Holy Cross Mts. Note presence of cherts around this stage boundary; horizontal lines show location of samples

wskazujących prawdopodobnie na dolny poziom *triangularis*, z nie przekraczającym 10% udziałem frańskich gatunków palmatolepidów i ancyrodellidów oraz *Polygnathus praecursor*, gatunku znanego do tej pory począwszy od famenu (Matyja, 1993). Natomiast uwzględniając zmienność wewnątrzpopulacyjną, należałoby przyjąć, że typowi przedstawiciele *Pa. triangularis* pojawili się dopiero w środkowej strefie *triangularis*, a więc znacznie powyżej zakładanego poziomu wymierania gatunków frańskich.

Obserwacje nasze potwierdzają coraz szerzej akceptowaną (por. Klapper i in., 1993; Schülke, 1995) konieczność uznania *Pa. praetriangularis* za synonim (lub co najwyżej morfotyp) *Pa. triangularis*. Tak rozumiany gatunek *Pa. triangularis* pojawiałyby się już w obrębie frańskiej strefy *linguiformis*, a granica F-F wiązałaby się raczej z dolną granicą poziomu rozkwitu tego gatunku i nie zawsze pokrywałaby się z górną granicą zasięgu zespołu konodontów typowo frańskich. Wniosek taki przedstawił już Schülke (1995, 1998) na podstawie badań sekwencji Reńskich Gór Łupkowych, przy czym obecność frańskich konodontów na wtórnym złożu jest tam mało prawdopodobna. Sukcesja konodontowa obserwowana w przeważnie niskoenergetycznych wapieniach (biomikrytach) Dębniaka po raz pierwszy wskazuje, że możliwość ta dotyczy nie tylko typowo frańskich palmatolepidów (np. *Pa. subrecta*, *Pa. rhenana*, *Pa. hassi*), ale i ancyrodellidów (ryc. 1).

Polskie sekwencje pogranicza F-F były już opracowywane pod kątem pierwiastków śladowych i składu kerogenu (Cebulak i in., 1993; Joachimski i in., 1999), jak i izotopów węgla, siarki i tlenu (Hałas i in. 1992; Bednarczyk, 1995). Obecne prace zmierzają do bardziej wszechstronnej dokumentacji zapisu geochemicznego w reperowych profilach Kowali i Dębniaka poprzez zbadanie szerokiego spektrum pierwiastków śladowych (w tym pierwiastków ziem rzadkich w biogenicznych fosforanach) oraz stosunków izotopowych dla węgla węglanowego i organicznego.

Dotychczasowe wyniki potwierdzają ponadregionalne prawidłowości (patrz Joachimski & Buggisch, 1996): w profilu Kowali (ryc. 2) pozytywne anomalie węglowe zostały stwierdzone dwukrotnie, w górnej strefie *rhenana* i na pograniczu poziomów *linguiformis* i *triangularis*. Ich pozycja stratygraficzna pokrywa się w czasie z dwoma globalnymi, transgresywno-hypoksycznymi zdarzeniami Kellwasser, dolnym i górnym (por. ryc. 5 [W:] Racki & Baliński, 1998). Brak przeobrażeń termicznych kerogenu (CAI = 1–1,5) umożliwił po raz pierwszy udokumentowanie tak znacznych fluktuacji $\delta^{13}\text{C}$ (o 3‰) dla izotopów węgla organicznego (Joachimski i in., 1999), nie podlegających zmianom diagenetycznym (ryc. 2). Zdarzenie „ciężkiego“ węgla (wzrost $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ o ponad 2‰) zostało dokładnie rozpoznane również dla pogranicza F-F Dębniaka, co potwierdziło wcześniejsze wyniki Hałas

i in. (1992). Co ciekawe, w utworach Kowali wykazano obecność biomarkerów diagnostycznych dla zielonych bakterii siarkowych (*Chlorobiaceae*), co wskazuje na występowanie warunków beztlenowych nawet w strefie fotycznej (Joachimski i in., 1999).

Z drugiej strony, pogranicze F-F *sensu stricto* nie wyróżnia się niczym szczególnym pod względem geochemicznym. W szczególności, zintegrowane wyniki badań izotopów węgla nie potwierdzają negatywnego wahnięcia w tym interwale, wykrytego w Kowali przez Bednarczyk (1995). Podwyższone zawartości niektórych metali (szczególnie Ni i Pb; patrz ryc. 3) na granicy F-F stanowią przypuszczalnie częsty przypadek w obrębie tej rytmicznej sekwencji bitumiczo-marglistej (por. Cebulak i in., 1993; Joachimski i in., 1999). Znacznie ciekawsze wnioski mogą wynikać ze zmian zawartości cyrkonu.

Uwagi końcowe

Mimo dobrze wyrażonych zasadniczych zmian w zespołach konodontowych w pobliżu granicy F-F, wyniki badań geochemicznych w profilach polskich nie wskazują na zasadnicze zaburzenia w systemie ocean-atmosfera, i to nawet w szerszym rozumianym — z wyżej podanych przyczyn metodologicznych — interwale czasowym pogranicza F-F. W profilu Kowali nagłe zastąpienie biocenozy wapiennych przez krzemionkowe, tak w środowiskach bentonicznych (gąbki), jak i pelagicznych (radiolarie), zaznaczyło się znacznie poniżej granicy F-F (Racki, 1996,

1998; Racki & Baliński, 1998). Brak też dowodów na załamanie produkcji pierwotnej (tzw. efektu „oceanu Strangelove”) na początku famenu, sugerowane przez Bednarczyk (1995). Nie stwierdzono ponadto większych zmian w palinofacjach, zdominowanych niezmiennie przez cienkobłonne leiosferidja (Filipiak, 1999). Wspólnie z danymi geochemicznymi wskazuje to na ogólnie wysoką glonowo-bakteryjną produkcję węgla organicznego w późnym famenie i wczesnym famenie (Joachimski i in., 1999). Występowanie rogowców tylko w pobliżu granicy F-F, skorelowane z pozytywną anomalią węglową (ryc. 2, 3), może odzwierciedlać epizod bardziej intensywnej cyrkulacji mas wodnych, dopływu pierwiastków biogenych i okresowo szczególnie wysokiej produktywności w strefie przypowierzchniowej (Bartolini i in., 1999).

Wszystkie te przesłanki nie potwierdzają modelu jednorazowej masowej zagłady (*bedding-plane killing event*), rejestrującej globalną katastrofę kosmiczną dokładnie na granicy F-F (np. McLaren, 1996; Wang i in., 1996). Dodatkowe poparcie zyskują natomiast wnioski o kroczącym (*stepwise*) charakterze wymierania frańsko-fameńskiego, zainicjowanego na dużą skalę kryzysem biocenoza rafowych w trakcie wczesnego zadarzenia KW (Narkiewicz & Hoffman, 1989; Schindler, 1990; McGhee, 1996; Hallam & Wignall, 1997). Z gruntownie przebadanej sekwencji stratotypowej w Montagne Noire (południowa Francja) wynika, że duże zmiany oceanograficzne miały miejsce na początku sedimentacji górnego poziomu KW w dobie *linguiformis*, a więc poprzedzały wielki kryzys konodontów w pobliżu granicy F-F (Girard & Albarède, 1996; Girard & Renaud, 1996). Mogło by to wskazywać na możliwość przynajmniej częściowego zastosowania scenariusza krótkotrwałego załamania się produktywności oceanicznej w początkowej fazie zdarzenia hypoksycznego, proponowanego ostatnio dla katastrofy późnopermskiej (Hallam & Wignall, 1997). Model ten nie wyjaśnia jednak przyczyn przebudowy biocenoza pelagicznych na granicy F-F, w warunkach hipotetycznie rosnącej żywności wód strefy fotycznej (ale patrz Girard & Renaud, 1996). Ogólnie wysoka produktywność podczas hypoksycznych epizodów KW oraz autocykliczne zmiany klimatu i poziomu morza są sugerowane dla późnego franu i wczesnego famenu (Joachimski & Buggisch, 1996; Joachimski i in., 1999). Znaczenie słabo poznanych czynników tektoniczno-wulkanicznych, rzutujących na fluktuacje klimatyczne i hydrochemiczne, a w konsekwencji — między innymi — na eutrofizację wód oraz ponadregionalny zasięg upwellingu (?przewrotu oceanicznego; *oceanic overturn*), wymaga wciąż wyjaśnienia (Racki, 1998). W tym kontekście, podobieństwo do zdarzenia ze środkowej części kredy (*the Mid-Cretaceous Event*) jest godne podkreślenia (Joachimski i in., 1999; Racki, 1999). Z drugiej strony, nie można wykluczyć dużej roli biotycznych uwarunkowań załamania się łańcucha pokarmowego w warunkach podwyższonego stresu, w końcowej fazie kryzysu KW (por. Conway Morris, 1998).

Niniejszy artykuł powstał w wyniku realizacji projektów badawczych KBN nr 6PO4D 050 11 oraz P04D 024 13.

Literatura

- BALIŃSKI A. 1995 — Brachiopods and conodont biostratigraphy of the Famennian from the Dębnik Anticline, southern Poland. *Palaeont. Pol.*, 54: 1–85.
- BARTOLINI A., BAUMGARTNER P.O. & GUÉX J. 1999 — Middle and Late Jurassic palaeoecology versus carbon-isotope stratigraphy. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 145: 43–60.
- BEDNARCZYK J.B. 1995 — Frasnian-Famennian extinction — evidence from parallel trends in organic and inorganic carbon isotopes. 1st SEPM Congr. Sedim. Geol. Abstr.: 28.
- CEBULAK S., KARWOWSKI Ł. & RACKI G. 1993 — Geochemical and ecological study around the Frasnian/Famennian boundary at Kowala, Holy Cross Mts. [W:] Global Boundary Events, an Interdisciplinary Conference, Kielce, Poland, Abstr.: 1–11.
- CONIGLIO M. 1989 — Neomorphism and cementation in ancient deep-water limestones, Cow Head Group (Cambro-Ordovician), western Newfoundland, Canada. *Sediment. Geol.*, 65: 15–33.
- CONWAY MORRIS S.C. 1998 — The evolution of diversity in ancient ecosystems: a review. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B 353: 327–345.
- FILIPIAK P. 1999 — Zapis zdarzeń w mikroplanktonie na granicy fran-famenu i w dolnym karbonie G. Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, 47: 387–390.
- GIRARD C. & ALBARÈDE F. 1996 — Trace elements in conodont phosphates from the Frasnian-Famennian boundary. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 126: 195–209.
- GIRARD C. & RENAUD S. 1996 — Size variations in conodonts in response to the Upper Kellwasser crisis (Upper Devonian of the Montagne-Noire, France). *C.R. Acad. Sc. Paris IIa*, 323: 435–442.
- HALLAM A. & WIGNALL P.B. 1997 — Mass extinctions and their Aftermath. Oxford University Press, Oxford.
- HAŁAS S., BALIŃSKI A., GRUSZCZYŃSKI M., HOFFMAN A., MAŁKOWSKI K. & NARKIEWICZ M. 1992 — Stable isotope record at the Frasnian-Famennian boundary in southern Poland. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 1992: 129–138.
- JOACHIMSKI M. & BUGGISCH W. 1996 — The Upper Devonian reef crisis - insights from the carbon isotope record. *Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, Sb. 2: 365–370.
- JOACHIMSKI M., OSTERTAG-HENNING C., PANCOST R.D., FREEMAN K.H., LITTKER R., DAMST J.S. & RACKI G. 1999 (w druku) — Stable isotope, trace element and organic geochemistry of the Frasnian-Famennian boundary section at Kowala (Holy Cross Mts Poland). *Chem. Geol.*
- KLAPPER G., FEIST R., BECKER R.T. & HOUSE M.R. 1993 — Definition of the Frasnian/Famennian stage boundary. *Episodes*, 16: 433–441.
- MATYJA H. 1993 — Upper Devonian of Western Pomerania. *Acta Geol. Pol.*, 43: 27–96.
- MATYJA H. & NARKIEWICZ M. 1992 — Conodont biofacies succession near the Frasnian/Famennian boundary: some Polish examples. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*, 154: 125–147.
- MCGHEE G.R. 1996 — The Late Devonian Mass Extinction. The Frasnian-Famennian Crisis. Columbia Univ. Press, New York.
- MCLAREN D.J. 1996 — Mass extinctions are rapid events. *Palaios*, 11: 409–410.
- NARKIEWICZ M. & HOFFMAN A. 1989 — The Frasnian/Famennian transition: the sequence of events in southern Poland and its implications. *Acta Geol. Pol.*, 31: 1–28.
- RACKI G. 1996 — Stop 4. Kowala railroad cut and quarry, Frasnian-Famennian boundary at Kowala. [W:] Sixth European Conodont Symposium (ECOS VI), Excursion Guide: 30–38.
- RACKI G. 1998 — Frasnian-Famennian biotic crisis: undervalued tectonic control? *Palaeogeogr. Palaeoclim., Palaeoecol.*, 141: 177–198.
- RACKI G. 1999 (w druku) — The Frasnian-Famennian biotic crisis: how many (if any) impacts? *Geol. Rundschau*, 88.
- RACKI G. & BALIŃSKI A. 1998 — Late Frasnian Atrypida (Brachiopoda) from Poland and the Frasnian-Famennian biotic crisis. *Acta Palaeont. Pol.*, 43: 273–304.
- SANDBERG C.A., ZIEGLER W., DREESEN R. & BUTLER J.L. 1988 — Devonian conodont biochronology in geologic time calibration. *Cour. Forsch. Senckenberg*, 102: 263–307.
- SCHINDLER E. 1990 — Die Kellwasser Krise (hohe Frasn-Stufe, Ober-Devon). *Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, 46: 1–115.
- SCHÜLKE I. 1995 — Evolutive Prozesse bei *Palmatolepis* in der fifth Famennian-Stufe (Conodonta, Ober-Devon). *Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, 67: 1–108.
- SCHÜLKE I. 1998 — Conodont community structure around the „Kellwasser mass extinction event“ (Frasnian/Famennian boundary interval). *Senckenberg. Lethaea*, 77: 243–261.
- WALLISER OH. 1985 — Natural boundaries and Commission boundaries in the Devonian. *Cour. Forsch. Senckenberg*, 75: 401–408.
- WANG K., GELDSETZER H.H.J., GOODFELLOW W.D. & KROUSE H.R. 1996 — Carbon and sulfur isotope anomalies across the Frasnian-Famennian extinction boundary, Alberta, Canada. *Geology*, 24: 187–191.
- ZIEGLER W. & SANDBERG C.A. 1990 — The Late Devonian standard conodont zonation. *Cour. Forsch. Senckenberg*, 121: 1–115.
- ZIEGLER W. & SANDBERG C.A. 1996 — Reflexions on Frasnian and Famennian stage boundary decisions as a guide to future deliberations. *Newsl. Stratigr.*, 33: 157–180.