



## Mezozoiczne pożary – ich rozprzestrzenienie i znaczenie w trakcie zdarzeń globalnych

Leszek Marynowski<sup>1</sup>



**Mesozoic wildfires: distribution and importance for global events.** *Prz. Geol.*, 60: 148–154.

*Abstract.* The present paper summarizes the issues related with occurrence and distribution of wildfires in the Mesozoic. The main focus is put on occurrence of palaeowildfires during the Mesozoic global events, including Permian-Triassic (P/T), Triassic-Jurassic (T/J) and Cretaceous-Palaeogene (C/P) boundary. The other problems are connected with controversies over oxygen curve during Mesozoic, with special emphasis on Jurassic wildfires and theoretical predictions of low concentrations of atmospheric oxygen.

**Keywords:** wildfires, charcoal, PAH, oxygen curve, mass extinctions, Mesozoic

Stosunkowo niedawno na łamach Przeglądu Geologicznego ukazała się przeglądowa praca Haydukiewicz i Muszer (2008), w której opisano ogólną charakterystykę pożarów i sposoby ich detekcji w skałach osadowych oraz bliżej omówiono pożary paleozoiczne – od momentu ich najstarszych wystąpień w późnym sylurze do najwcześniejszego permu. W opinii autora niniejszego artykułu równie interesująco przedstawia się historia pożarów mezozoicznych, zwłaszcza że zainteresowanie tą problematyką jest ostatnimi czasy wyjątkowo duże (np. Belcher & McElwain, 2008; Belcher i in., 2009, 2010; Marynowski & Simoneit, 2009; Nabbefeld i in., 2010; Scott, 2010; Marynowski i in., 2011). Uwaga badaczy zwrócona jest z jednej strony na zagadnienia zdarzeń masowych wymierań, z których trzy miały miejsce w trakcie mezozoiku: na granicy permu z triasem (P/T), triasu z jurą (T/J) i kredy z paleogenem (C/Pg). Z drugiej strony bardzo intensywnie rozwijają się badania polegające na korelacji i weryfikacji krzywej tlenowej na podstawie obecności dowodów świadczących o pożarach (np. Belcher & McElwain, 2008; Glasspool & Scott, 2010; Marynowski i in., 2011). Na podkreślenie zasługuje fakt, że w nurt światowej dyskusji na temat występowania i detekcji mezozoicznych pożarów wpisują się prace bazujące na materiałach z obszaru Polski, ze szczególnym uwzględnieniem utworów hetangu Gór Świętokrzyskich (Marynowski & Simoneit, 2009) i granicy T/J z otworu Kamień Pomorski 1 na terenie Pomorza (Pieńkowski & Waksmundzka, 2009; Marynowski & Simoneit, 2009; Pieńkowski i in., 2012).

W zapisie kopalnym głównym dowodem świadczącym o paleopożarach jest obecność w skałach osadowych węgla drzewnego, którego wstępna makroskopowa identyfikacja może być przeprowadzona już w terenie. Jednak, ze względu na podobieństwo do węgla kamiennego czy sfosylizowanego drewna, stuprocentowa identyfikacja możliwa jest dopiero przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (ryc. 1a; patrz Scott, 2000). Węgiel drzewny można rozpoznać również za pomocą petrograficznego mikroskopu do światła odbitego (ryc. 1b), macerałami odpowiadającymi węglom drzewnym będą wtedy pirofuzynyty (Kruszewska

& Dybowa-Jachowicz, 1997). Według Scotta i Glasspoola (2007) dowodem na paleopożary jest pojawienie się jakichkolwiek macerałów z grupy inertynitu. Jako metodę uzupełniającą, szczególnie w przypadku skał, w których węgle drzewne są bardzo drobne i mocno obtoczone, wykorzystuje się obecność wysokich stężeń niepodstawionych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), stosując metodę chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS) (przykład na ryc. 2; patrz np. Finkelstein i in., 2005; Marynowski & Filipiak, 2007; Marynowski i in., 2010; Scott i in., 2010). Należy jednak pamiętać, że podobna dystrybucja WWA może być także wynikiem innych niż pożary procesów pirolitycznych, jak np. kontakt wylewów wulkanicznych ze skałami osadowymi bogatymi w węgiel organiczny (van de Schootbrugge i in., 2009).

W niniejszej pracy podsumowano kluczowe zagadnienia związane z występowaniem i rozprzestrzenieniem pożarów mezozoicznych, koncentrując się zwłaszcza na tej problematyce, która jest najszerszej opisywana w literaturze światowej i jednocześnie wiąże się z zagadnieniami paleopożarów.

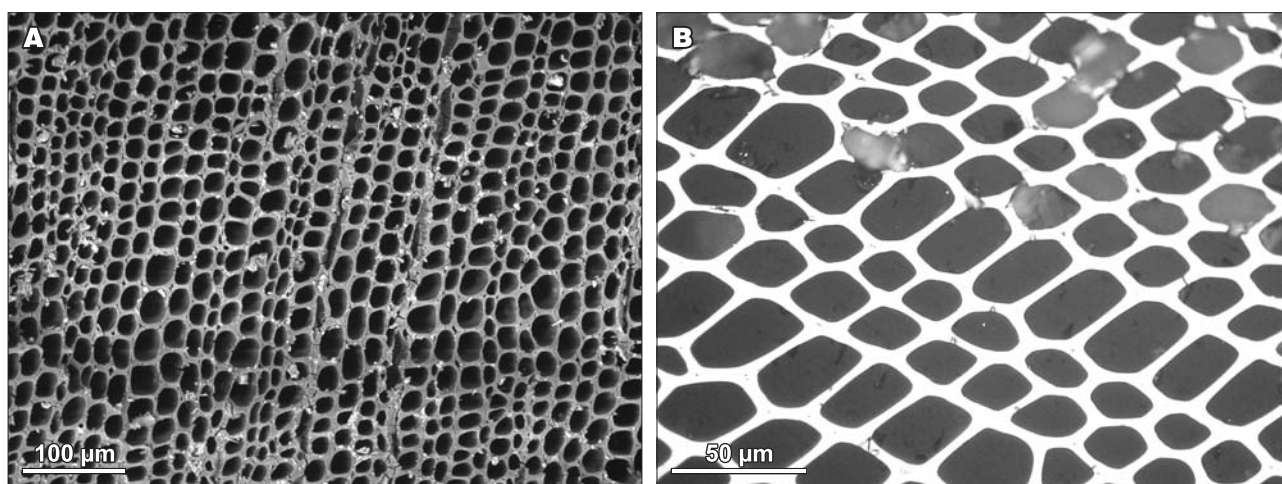
### ROZPRZESTRZENIENIE WĘGLA DRZEWNEGO I NIEPODSTAWIONYCH WWA W UTWORACH MEZOZOIKU

Na rycinie 3 przedstawiono opisane w literaturze wystąpienia węgla drzewnego i/lub wysokich stężeń wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w mezozoiku, przy czym ze względu na bardzo duże nagromadzenie tego typu danych dla okresu kredy ograniczono się tylko do przedstawienia niektórych spośród nich.

Ponieważ dokładniejsza charakterystyka poziomów odpowiadających wielkim wymieraniom będzie omówiona bardziej szczegółowo w dalszej części artykułu, tutaj autor tylko sygnalizuje obecność świadectw pożarów w ww. interwałach.

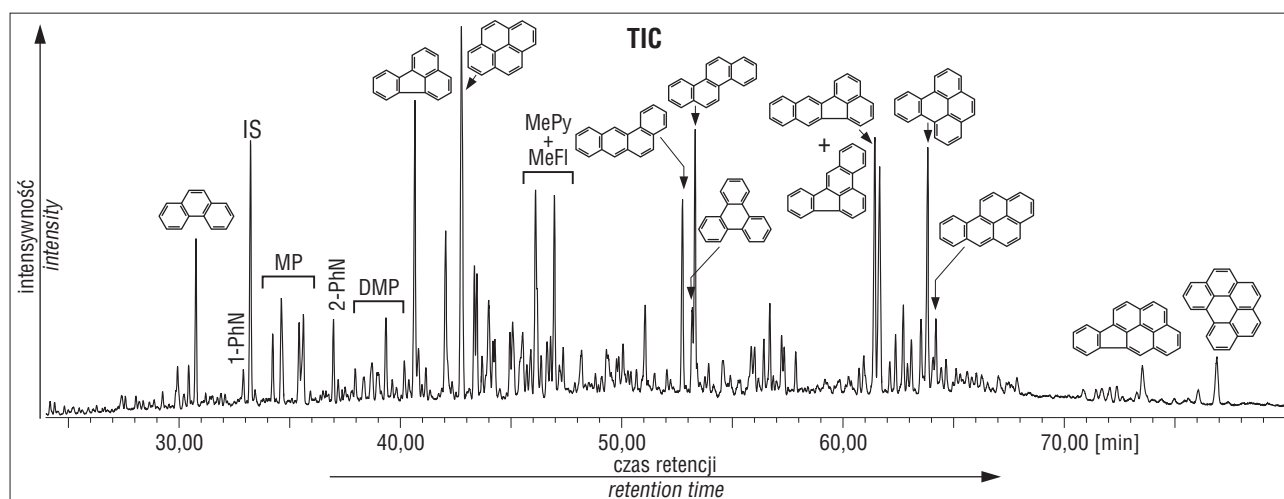
Znaleziska węgla drzewnego z dolnego i środkowego triasu należą do rzadkości (Scott, 2000; Uhl i in., 2008).

<sup>1</sup>Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; marynows@wnoz.us.edu.pl.



**Ryc. 1.** Przykład fotografii SEM środkowojurajskiego węgla drzewnego z basenu Neuquén, profil Rincón del Águila w Argentynie (A) oraz fotografii spod mikroskopu do światła odbitego górnotriasowego fuzynitu pochodzącego z zielonych ilów z odsłonięcia w Porębie koło Zawiercia (Polska) (B)

**Fig. 1.** Example of the SEM photography of Middle Jurassic charcoal from Rincón del Águila section, Neuquén Basin, Argentina (A) and reflectance micrographs of Upper Triassic charcoal (fusain) from the green clays of Poręba outcrop near Zawiercie in Poland (B)



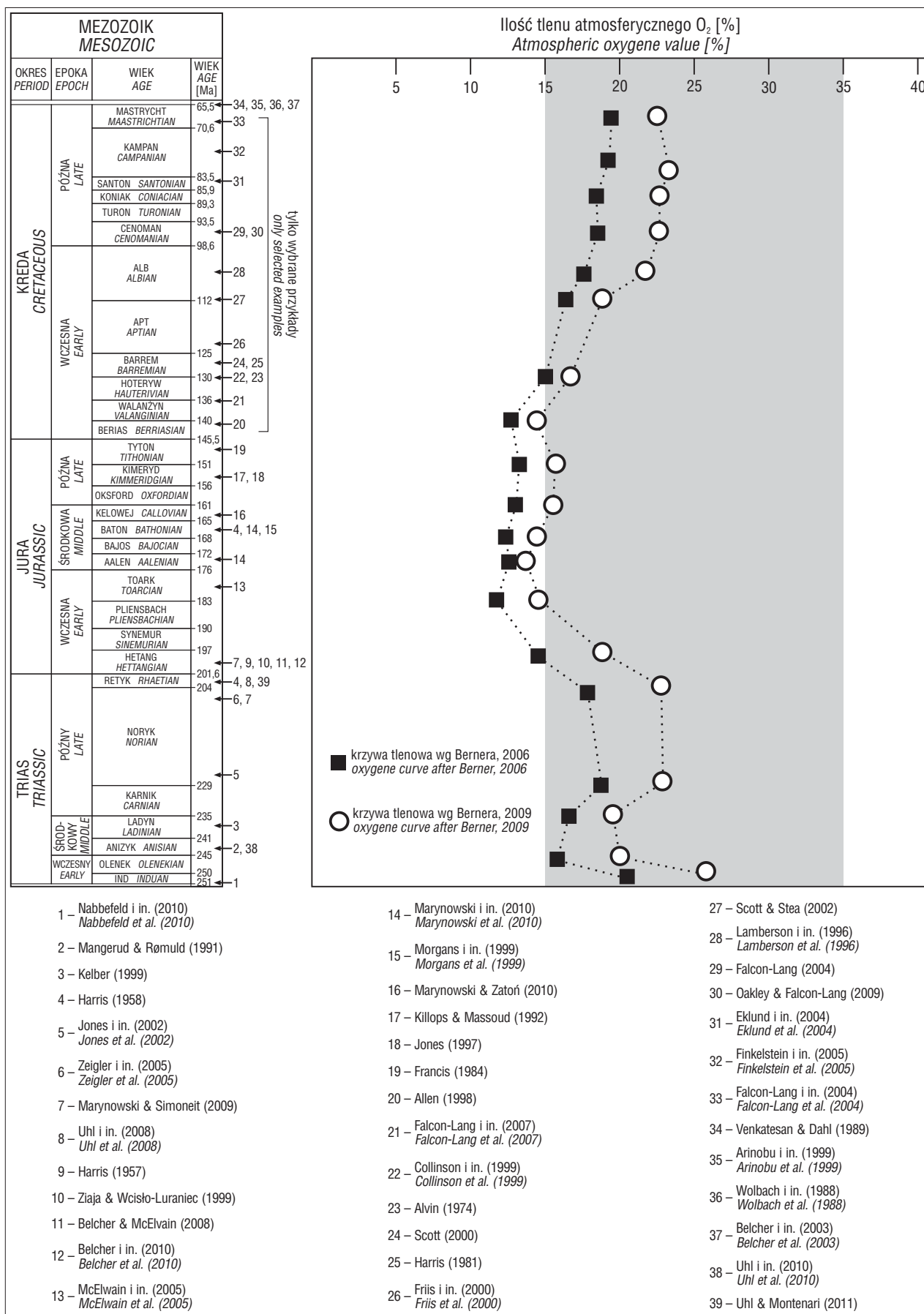
**Ryc. 2.** Przykładowy chromatograf GC-MS (TIC), na którym widoczna jest dystrybucja pirolitycznych WWA pochodzących z warstwy zasobnej w węgiel drzewny. Jura dolna, hetang, formacja zagajska, Sołtyków, Polska. Objasnienia: PhN – fenylnaftaleny, MP – metylofenantreny, DMP – dimetylofenantreny, MePy – metylopireny, MeFl – metylofluoranteny, IS – wzorec wewnętrzny. Rozdział na kolumnie DB-35MS

**Fig. 2.** Total ion current (TIC) traces of pyrolytic polycyclic aromatic hydrocarbons from the Lower Jurassic, Hettangian, Zagaje Formation, Sołtyków, Poland. Explanations: PhN – phenylanthracene, MP – methylphenanthrenes, DMP – dimethylphenanthrenes, MePy – methylpyrenes, MeFl – methylfluoranthenes, IS – internal standard. A DB-35MS column was used

Jak dotychczas, tylko w jednej pracy w sposób kompleksowy udokumentowano ślady paleopożarów w piaskowcach formacji Grès à Voltzia wczesnego środkowego triasu południowo-zachodnich Niemiec (Uhl i in., 2010), a w pracach Mangerud i Rømulda (1991) oraz Kelbera (1999) wystąpienia takie były tylko wzmiankowane (ryc. 3). Według Uhla i in. (2008) przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać zarówno w zniszczeniu ekosystemów lądowych w trakcie wymierania na granicy P/T, jak i w warunkach klimatycznych, których wynikiem była sedimentacja czerwonych, mocno utlenionych osadów, niesprzyjających konserwacji węgla drzewnego. Nieco więcej dobrze udokumentowanych danych o pożarach pojawia się w pracach dotyczących górnego triasu (ryc. 3). Dane te pochodzą z Arizony i z Nowego Meksyku w USA (Jones i in., 2002; Zeigler i in., 2005), ze wschodniej Grenlandii (Harris, 1958), z Niemiec (Uhl & Montenari, 2011) i z Polski (Lipie

Śląskie; patrz Marynowski & Simoneit, 2009). Jednak ze względu na problemy ze stratygrafią utworów lądowych górnego triasu dokładny wiek tych znalezisk jest często nieznan lub kontrowersyjny.

Podobnie jak w przypadku triasu, jurajskie dowody na paleopożary należą wciąż do rzadkości, mimo że w ostatnich latach pojawia się coraz więcej prac dokumentujących takie znaleziska (np. Belcher i in., 2010; Marynowski i in., 2011 – patrz ryc. 3). Pożary najniższej dolnej jury są stosunkowo dobrze rozpoznane (patrz kolejny rozdział), natomiast opisane dane pochodzą z hetangu, a następnie dopiero z toarku (ryc. 3). Według Glasspoola i Scotta (2010) zawartość tlenu atmosferycznego była wysoka na granicy T/J (w przeciwieństwie do krzywych zawartości O<sub>2</sub> proponowanych przez Bernera, 2006, 2009 – ryc. 3), po czym spadała i osiągnęła minimum w toarku.



Ryc. 3. Krzywe tlenowe wg Bernera (2006, 2009) na tle stratygrafii mezozoiku. Strzałkami zaznaczono najważniejsze wystąpienia węgla drzewnego i/lub podwyższonych stężeń pirolitycznych WWA. Szarym kolorem zaznaczono tzw. okno ognia

Fig. 3. Oxygen curves according to Berner (2006, 2009) on the background of the Mesozoic stratigraphy. The main charcoal and/or pyrolytic PAHs occurrence are marked by arrows. "Fire window" range is marked by grey



Dla jury środkowej dane dotyczące pożarów pochodzą z obszaru środkowo-zachodniej Argentyny (prowincja Neuquén), skąd opisano obecność węgla drzewnego i pirolitycznych WWA w utworach aalenu i górnego bajosu-batonu (Marynowski i in., 2011). Jest to jednocześnie jedyne stanowisko, w którym udokumentowano jurajskie pożary na kontynencie Gondwany. Górnobajoskie-batońskie świadectwa pożarów były też notowane z basenu Cleveland w północnym Yorkshire w Anglii (Harris, 1958; Morgans i in., 1999) i z Rønne Graben w Danii (Nielsen i in., 2010), a według najnowszych danych Tannera i in. (2012) na nagromadzenia węgla drzewnych natrafiono również w utworach allenu-bajosu basenu Ordos (Chiny). Dowody na obecność pożarów w keloweju znane są z formacji Papilè (Litwa) wykształconej głównie w postaci lądowych utworów fluwialnych, gdzie stwierdzono dobrze obtoczone fragmenty węgla drzewnego oraz związki grupy WWA o pirolitycznej genezie (Marynowski & Zatoń, 2010).

Również w przypadku jury górnej mamy do czynienia z małą liczbą prac omawiających istnienie dowodów na paleopożary. Dość powiedzieć, że brak jest takich danych dla oksfordu, a w kimerydzie i tytonie udokumentowano zaledwie trzy wystąpienia (ryc. 3), przy czym Killops i Massoud (1992) opisali wyłącznie pirolityczne WWA, których źródłem mogą być również ropy hydrotermalne czy zanieczyszczenia antropogeniczne (np. Marynowski & Simoneit, 2009).

Kreda, zwłaszcza począwszy od hoterywu i baremu, jest okresem, dla którego gwałtownie rośnie ilość doniesień dotyczących paleopożarów (ryc. 3). Wyniki badań tych utworów dostarczają wielu informacji na temat detekcji i charakterystyki węgla drzewnych (np. Scott, 2000, 2010; Belcher & McElwain, 2008), a ilość prac znacznie przewyższa te wymienione na rycinie 3. Bardzo często dokumentowane były np. uwęglone fragmenty kwiatów i ziaren roślin okrytozalążkowych (np. Friis i in., 2000, 2006; Scott, 2010). Tak obfite występowanie śladów świadczących o pożarach w okresie kredy jest związane przede wszystkim ze wzrostem zawartości tlenu w atmosferze (ryc. 3; np. Scott, 2010). Co interesujące, najnowsze dane sugerują, że intensywne pożary kredowe przyczyniły się do szybkiego rozwoju roślin okrytozalążkowych, gdyż ich wczesne formy szybciej niż rośliny nagonasienne przystosowywały się do środowisk nękanych pożarami (Bond & Scott, 2010), stanowiąc roślinność pionierską na takich obszarach.

### WĘGIEL DRZEWNY I PODWYŻSZONE ZAWARTOŚCI WWA NA GRANICACH P/T I T/J

Występowanie pożarów na granicy P/T jeszcze do niedawna było zagadnieniem nieznanym, a badania z zakresu geochemii organicznej koncentrowały się na problematyce związanej z obecnością anoksji (Grice i in., 2005), rozkwitem cyjanobakterii (Xie i in., 2005, 2010) czy identyfikacją w osadach morskich diagenetycznych pochodnych polisacharydów, będących wskaźnikami intensywnej erozji gleb (np. Sephton i in., 2005). Ostatnio jednak Nabbefeld i in. (2010) oraz Shen i in. (2011) opisali podwyższone stężenia WWA na granicy P/T. W warstwie granicznej profilu w Meishan (Chiny) zidentyfikowano duże koncentracje WWA o pirolitycznej genezie współ-

występujących z pyłem wulkanicznym. Co ciekawe, bezpośrednio w warstwach granicznych stężenie związków organicznych genetycznie związanych z celulozą gwałtownie spada na rzecz perylenu, którego pochodzenie wiązane jest z grzybami degradującymi drewno (Grice i in., 2009). Powyższe fakty tłumaczone są jako skutki pożarów wywołanych wulkanizmem, intensywnej erozji, a w konsekwencji gwałtownego niszczenia flory lądowej (Nabbefeld i in., 2010; Shen i in., 2011).

Nieco więcej jest danych na temat pożarów obecnych na granicy T/J, choć i w tym przypadku są to głównie bardzo świeże doniesienia. Węgłe drzewne oraz pirolityczne WWA zostały udokumentowane z osadów najniższej jury północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (Marynowski & Simoneit, 2009; patrz też Ziaja & Wcisło-Luraniec, 1999), a także na granicy T/J z rejonu Pomorza (otwór Kamień Pomorski 1; Marynowski & Simoneit, 2009; Pieńkowski & Waksmundzka, 2009). Jak zauważyli Marynowski i Simoneit (2009), intensywność pożarów na granicy T/J i w najniższym hetangu była bardzo wysoka, po czym w trakcie hetangu sukcesywnie spadała. Ostatnio Belcher i in. (2010) wykazali obecność pożarów na granicy T/J z rejonu wschodniej Grenlandii, gdzie stwierdzili zarówno liczne węgle drzewne, jak i związki organiczne z grupy WWA. Intensywne, powtarzające się wielokrotnie pożary w tym okresie ww. autorzy wiążą ze wzrostem zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze, znacznym ociepleniem klimatu, a co za tym idzie – dużo większą częstotliwością wyładowań atmosferycznych, które są uważane za główny czynnik inicjujący naturalne pożary (Scott, 2000). Według tych autorów do rozprzestrzenienia pożarów we wczesnej jurze w istotny sposób przyczyniła się zmiana charakteru roślinności z szerokolistnej na wąskolistną, która jest łatwiej palna (Belcher i in., 2010). Kolejne, na razie wstępne doniesienie o pożarach na granicy T/J pochodzi z rejonu Chin (Wu, 2010). Materiał ten jest obecnie na etapie analiz, gdyż jak dotąd w badanych skałach stwierdzono jedynie podwyższone stężenia pirolitycznych WWA. Wiadomo już, że brak w nich dużych, makroskopowo widocznych węgla drzewnych, natomiast badania nad obecnością fragmentów drobnego węgla drzewnego są w toku. Inne spojrzenie na genezę pirolitycznych WWA na granicy T/J proponują van de Schootbrugge i in. (2009), którzy obecność tych związków przy jednoczesnym braku węgla drzewnego w próbkach pochodzących z otworów wiertniczych Niemiec i Szwecji tłumaczą termicznym oddziaływaniem bazaltów z prowincji magmowej centralnego Atlantyku (*Central Atlantic Magmatic Province – CAMP*) na skały osadowe zasobne w węgiel organiczny. Spora ilość doniesień o paleopożarach w tym interwale czasowym, oparta także na powszechności węgla drzewnych, pozwala określić genezę pirolitycznych WWA identyfikowanych na granicy T/J jako głównie pożarową, ale z kolei inne argumenty przytoczone przez van de Schootbrugge'a i in. (2009), np. wyraźne pociemnienie miospor w tym przedziale, a także anomalie systemu izotopowego osmu interpretowane jako efekt opadu wulkanicznego (Pieńkowski i in., 2012), nakazują poważnie rozważać także wulkaniczną genezę pirolitycznych WWA. Jest wielce prawdopodobne, że oba czynniki ze sobą współwystępowały, tym bardziej że zdegradowane przez kwaśne deszcze lasy były z kolei bardziej podatne na pożary.

## PALEOPOŻARY NA GRANICY C/Pg I KONTROWERSJE WOKÓŁ GLOBALNYCH POŻARÓW

Jedną z większych kontrowersji dotyczących paleo-pożarów stanowi ich globalny charakter w trakcie wielkiego wymierania na granicy kredy i paleogenu. Na podstawie znalezisk jednorodnej izotopowo sadzy (tzw. *black carbon*) w osadach na granicy C/Pg (Wolbach i in., 1985, 1988; Melosh i in., 1990) oraz wysokich koncentracji pirolitycznych WWA (Venkatesan & Dahl, 1989; Arinobu i in., 1999) sugerowano, że impakt był powodem globalnych pożarów u schyłku kredy, które z kolei wywołały efekt cieplarniany i były jedną z przyczyn wielkiego wymierania. Jednak nowsze prace obejmujące szczegółowe badania petrograficzne (Scott i in., 2000; Belcher i in., 2003, 2005) i obliczenia termicznej energii wywołanej upadkiem bolidu (Belcher i in., 2003, 2005) nie potwierdziły tej tezy. Po pierwsze, w wielu stanowiskach stwierdzono dużą ilość drewna, które nie uległo spaleniowi na granicy C/Pg, a analizy petrograficzne nie wykazały dominacji inertynitu (Scott i in., 2000). W przypadku globalnych pożarów tak duże ilości niespalonego materiału roślinnego nie mogłyby przetrwać. Ponadto szczegółowe badania fragmentów węgla drzewnego udowodniły, że większa jego część powstała przez spalanie drewna zbiodegradowanego i nadpróchniałego (Jones & Lim, 2000), co oznacza, że płonęło głównie drewno martwe i suche. Po drugie, intensywne pożary powinny spowodować wzmogłą erozję, czego również nie potwierdzono (Scott, 2000). Wreszcie, po trzecie, obliczenia dowiodły, że impakt Chicxulub nie był w stanie wygenerować mocy termicznej niezbędnej do powstania globalnych pożarów (Belcher i in., 2005). Temperatury w większości lokalizacji usytuowanych stosunkowo blisko impaktu nie przekroczyły 325°C, podczas gdy do wzniesienia pożaru roślinności wegetatywnej niezbędne są temperatury wyższe niż 545°C (Belcher i in., 2005). Co ciekawe, autorzy najnowszych prac – bazując na obecności cenosfer i dystrybucji WWA – sugerują, że źródłem sadzy i podwyższonych stężeń związków aromatycznych były gwałtowne reakcje termiczne powodujące spalanie węglowodorów (Harvey i in., 2008; Belcher i in., 2009). Autorzy ci uważają, że impakt uderzył w złożę węglowodorów, które pod wpływem intensywnego spalania „produkowało” ogromne ilości cenosfer, sadzy i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, stwierdzanych w wielu oddalonych od siebie profilach granicy C/Pg na całym świecie.

### OBECNOŚĆ MEZOZOICZNYCH POŻARÓW A MODYFIKACJE KRZYWEJ TLENOWEJ

Najczęściej wykorzystywanym modelem zawartości tlenu atmosferycznego w fanerozoiku jest GEOCARBSULF zaproponowany przez Bernera i wielokrotnie modyfikowany (patrz Berner, 2006). Według tego modelu zawartość tlenu atmosferycznego w okresie jury wynosiła 12–14%, nie przekraczając nigdy 15% O<sub>2</sub>. Jednak Belcher i McElwain (2008) wykazały na podstawie doświadczeń laboratoryjnych, że naturalne pożary roślinności lądowej nie mogą występować, gdy zawartość tlenu jest mniejsza niż 15% (przy czym jest to absolutne minimum, a bardziej realna

wartość to 17%). Wyniki te poddały w wątpliwość założenia krzywej tlenowej Bernera (2006), na co odzewem była jej modyfikacja (Berner, 2009), zwłaszcza że pojawiły się nowe dane o obecności pożarów w okresie jury (Pieńkowski i Waksmundzka, 2009; Marynowski & Simoneit, 2009; Marynowski & Zatoń, 2010; Belcher i in., 2010; Marynowski i in., 2011; Tanner i in., 2012; patrz ryc. 3). Jednak nawet po modyfikacji krzywej (Berner, 2009) pewne jej zakresy w jurze i dolnej kredzie wykraczają poza obszar stanowiący okno ognia (ryc. 3). To z kolei stoi w sprzeczności z danymi o występowaniu udokumentowanych pożarów w przedziałach czasu obejmujących np. środkową jurę czy najniższą kredę (patrz Allen, 1998; Marynowski i in., 2011). Wynika stąd, że model GEOCARBSULF wciąż wymaga modyfikacji, co również skłania badaczy do tworzenia własnych modeli krzywej tlenowej opartych na odmiennych założeniach teoretycznych (Glasspool & Scott, 2010).

### PODSUMOWANIE

W pierwotnej oddanej do recenzji wersji niniejszego artykułu podsumowanie to nie było planowane, ale bardzo szybko postępujące badania nad rozprzestrzenieniem i intensywnością mezozoicznych pożarów skłoniły autora do napisania kilku kończących zdań. Od momentu złożenia pracy do redakcji do czasu otrzymania recenzji (okres mniej więcej dwóch miesięcy) opublikowano dwie bardzo istotne prace na temat kolejnych odkryć śladów paleo-pożarów w triasie (Uhl i in., 2010; Uhl & Montenari, 2011), a na początku roku ukazał się obszerny i wielowątkowy artykuł dotyczący granicy T/J z otworu Kamień Pomorski (Pieńkowski i in., 2012), w którym poruszono również zagadnienia związane z pożarami. Fakt ten, według opinii autora, jest potencjalnie ciekawą informacją dla czytelnika, świadcząca o wciąż rosnącym zainteresowaniu świata nauki omawianą problematyką. Jednocześnie potwierdza się istotne znaczenie tego zagadnienia dla prawidłowej i ponadregionalnej interpretacji warunków paleoekologicznych i paleoklimatycznych w mezozoiku.

Wykład plenarny zbieżny z tematyką niniejszej pracy został wygłoszony na XXI Konferencji Sekcji Paleontologicznej Polskiego Towarzystwa Geologicznego (Żarki-Letnisko, 13–16 września 2010 r.). Autor pragnie w tym miejscu podziękować organizatorom tego spotkania za zaproszenie i inspirację do napisania powyższego artykułu. Recenzenci Przeglądu Geologicznego, Marek Goła i Grzegorz Pieńkowski, wnieśli do tekstu cenne uwagi i poprawki podnoszące jego merytoryczną i stylistyczną wartość.

### LITERATURA

- ALLEN P. (red.) 1998 – Purbeck–Wealden (early Cretaceous) climates. *Proc. Geol. Assoc.*, 109: 197–236.
- ALVIN K.L. 1974 – Leaf anatomy of *Weichselia* based on fusinized material. *Palaeont.*, 17: 587–598.
- ARINOBU T., ISHIWATARI R., KAIHO K. & LAMOLDA M.A. 1999 – Spike of pyrosynthetic polycyclic aromatic hydrocarbons associated with an abrupt decrease in  $\delta^{13}\text{C}$  of a terrestrial biomarker at the Cretaceous-Tertiary boundary at Caravaca, Spain. *Geology*, 27: 723–726.
- BELCHER C.M., COLLINSON M.E. & SCOTT A.C. 2005 – Constraints on the thermal energy released from the Chicxulub impactor: new evidence from multi-method charcoal analysis. *J. Geol. Soc. London*, 162: 591–602.
- BELCHER C.M., COLLINSON M.E., SWEET A.R., HILDEBRAND A.R. & SCOTT A.C. 2003 – Fireball passes and

- nothing burns – the role of thermal radiation in the Cretaceous-Tertiary event: evidence from the charcoal record of North America. *Geology*, 31: 1061–1064.
- BELCHER C.M., FINCH P., COLLINSON M.E., SCOTT A.C. & GRASSINEAU N.V. 2009 – Geochemical evidence for combustion of hydrocarbons during the K-T impact event. *PNAS*, 106: 4112–4117.
- BELCHER C.M., MANDER L., REIN G., JERVIS F.X., HAWORTH M., HESSELBO S.P., GLASSPOOL I.J. & MCELWAIN J.C. 2010 – Increased fire activity at the Triassic/Jurassic boundary in Greenland due to climate-driven floral change. *Nature Geosci.*, 3: 426–429.
- BELCHER C.M. & MCELWAIN J.C. 2008 – Limits for combustion in low O<sub>2</sub> redefine paleoatmospheric predictions for the Mesozoic. *Science*, 321: 1197–1200.
- BERNER R.A. 2006 – GEOCARBSULF: a combined model for Phanerozoic atmospheric O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70: 5653–5664.
- BERNER R.A. 2009 – Phanerozoic atmospheric oxygen: new results using the GEOCARBSULF model. *Am. J. Sci.*, 309: 603–606.
- BOND W.J. & SCOTT A.C. 2010 – Fire and the spread of flowering plants in the Cretaceous. *New Phytol.*, 188: 1137–1150.
- COLLINSON M.E., FEATHERSTONE C., CRIPPS J.A., NICHOLS G.J. & SCOTT A.C. 1999 – Charcoal-rich plant debris accumulations in the Lower Cretaceous of the Isle of Wight, England. *Acta Palaeobot. Suppl.*, 2: 93–105.
- EKLUND H., CANTRILL D.J. & FRANCIS J.E. 2004 – Late Cretaceous plant mesofossils from Table Nunatak, Antarctica. *Cretaceous Res.*, 25: 211–228.
- FALCON-LANG H.J. 2004 – A new anatomically preserved ginkgoalean genus from the Upper Cretaceous (Cenomanian) of the Czech Republic. *Palaeont.*, 47: 349–366.
- FALCON-LANG H.J., FENSOME R.A., GIBLING M.R., MALCOLM J., FLETCHER K.R. & HOLLEMAN M. 2007 – Karst-related outliers of the Lower Cretaceous Chaswood Formation of Maritime Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 44: 619–642.
- FALCON-LANG H.J., MACRAE R.A. & CSANK A.Z. 2004 – Palaeoecology of Late Cretaceous polar vegetation preserved in the Hansen Point Volcanics, NW Ellesmere Island, Canada. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 212: 45–64.
- FINKELSTEIN D.B., PRATT L.M., CURTIN T.M. & BRASSELL S.C. 2005 – Wildfires and seasonal aridity recorded in Late Cretaceous strata from south-eastern Arizona, USA. *Sedimentology*, 52: 587–599.
- FRANCIS J.E. 1984 – The seasonal environment of the Purbeck (Upper Jurassic) fossil forests. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 48: 285–307.
- FRIIS E.M., PEDERSEN K.R. & CRANE P.R. 2000 – Reproductive structure and organization of basal angiosperms from the Early Cretaceous (Barremian or Aptian) of Western Portugal. *Int. J. Plant. Sci.*, 161: S169–S182.
- FRIIS E.M., PEDERSEN K.R. & CRANE P.R. 2006 – Cretaceous angiosperm flowers: innovation and evolution in plant reproduction. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 232: 251–293.
- GLASSPOOL I.J. & SCOTT A.C. 2010 – Phanerozoic concentrations of atmospheric oxygen reconstructed from sedimentary charcoal. *Nature Geosci.*, 3: 627–630.
- GRICE K., CAO C., LOVE G.D., BÖTTCHER M.E., TWITCHETT R.J., GROSJEAN E., SUMMONS R.E., TURGEON S.C., DUNNING W. & JIN Y. 2005 – Photic zone euxinia during the Permian-Triassic superanoxic event. *Science*, 307: 706–709.
- GRICE K., LU H., ATAHAN P., ASIF M., HALLMANN C., GREENWOOD P., MASLEN E., TULIPANI S., WILLIFORD K. & DODSON J. 2009 – New insights into the origin of perylene in geological samples. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73: 6531–6543.
- HARRIS T.M. 1957 – A Liasso-Rhaetic flora in South Wales. *Proc. R. Soc. B*, 147: 289–308.
- HARRIS T.M. 1958 – Forest fire in the Mesozoic. *J. Ecol.*, 46: 447–453.
- HARRIS T.M. 1981 – Burnt ferns from the English Wealden. *Proc. Geol. Assoc.*, 92: 47–58.
- HARVEY M.C., BRASSELL S.C., BELCHER C.M. & MONTANARI A. 2008 – Combustion of fossil organic matter at the Cretaceous-Paleogene (K-P) boundary. *Geology*, 36: 355–358.
- HAYDUKIEWICZ J. & MUSZER J. 2008 – Historia paleozoicznych pożarów. *Prz. Geol.*, 56: 41–46.
- JONES T.P. 1997 – Fusain in Late Jurassic sediments from the Witch Ground Graben, North Sea, UK. *Med. Ned. Inst. V Teog. Geowet. TNO*, 58: 93–103.
- JONES T.P., ASH S. & FIGUEIRAL I. 2002 – Late Triassic charcoal from Petrified Forest National Park, Arizona, USA. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 188: 127–139.
- JONES T.P. & LIM B. 2000 – Extraterrestrial impacts and wildfires. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 164: 57–66.
- KELBER K.P. 1999 – Der Nachweis von Paläo-Wildfeuer durch fossile Holzkohlen aus dem süddeutschen Keuper. *Terra Nostra*, 99: 41.
- KILLOPS S.D. & MASSOUD M.S. 1992 – Polycyclic aromatic hydrocarbons of pyrolytic origin in ancient sediments: evidence for Jurassic vegetation fires. *Org. Geochem.*, 18: 1–7.
- KRUSZEWSKA K. & DYBOVA-JACHOWICZ S. 1997 – Zarys petrologii węgla. *Wyd. Uniw. Śl., Katowice*.
- LAMBERSON M.N., BUSTIN R.M., KALKREUTH W.D. & PRATT K.C. 1996 – The formation of inertinite-rich peats in the mid-Cretaceous Gates Formation: implications for the interpretation of mid-Albian history of paleowildfire. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 120: 235–260.
- MANGERUD G. & RØMULD A. 1991 – Spathian-Anisian (Triassic) palynology at the Svalis Dome, southwestern Barents Sea. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 70: 199–216.
- MARYNOWSKI L. & FILIPIAK P. 2007 – Water column euxinia and wildfire evidence during deposition of the Upper Famennian Hangenberg event horizon from the Holy Cross Mountains (central Poland). *Geol. Mag.*, 144: 569–595.
- MARYNOWSKI L., FILIPIAK P. & ZATOŃ M. 2010 – Geochemical and palynological study of the Upper Famennian Dasberg event horizon from the Holy Cross Mountains (central Poland). *Geol. Mag.*, 147: 527–550.
- MARYNOWSKI L., SCOTT A.C., ZATOŃ M., PARENT H. & GARRIDO A.C. 2011 – First multi-proxy record of Jurassic wildfires from Gondwana: evidence from the Middle Jurassic of the Neuquén Basin, Argentina. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 299: 129–136.
- MARYNOWSKI L. & SIMONEIT B.R.T. 2009 – Widespread Upper Triassic to Lower Jurassic wildfire records from Poland: evidence from charcoal and pyrolytic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Palaaios*, 24: 785–798.
- MARYNOWSKI L. & ZATOŃ M. 2010 – Organic matter from the Callovian (Middle Jurassic) deposits of Lithuania: compositions, sources and depositional environments. *Appl. Geochem.*, 25: 933–946.
- MCELWAIN J.C., WADE-MURPHY J. & HESSELBO S.P. 2005 – Changes in carbon dioxide during an oceanic anoxic event linked to intrusion into Gondwana coals. *Nature*, 435: 479–482.
- MELOSH H.J., SCHNEIDER N.M., ZAHNLE K.J. & LATHAM D. 1990 – Ignition of global wildfires at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, 343: 251–254.
- MORGANS H.S., HESSELBO S.P. & SPICER R.A. 1999 – The seasonal climate of the Early-Middle Jurassic, Cleveland Basin, England. *Palaaios*, 14: 261–272.
- NABBefeld B., GRICE K., SUMMONS R.E., HAYS L.E. & CAO C. 2010 – Significance of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Permian/Triassic boundary sections. *Appl. Geochem.*, 25: 1374–1382.
- NIELSEN L.H., PETERSEN H.I., DYBKJÆR K. & SURLYK F. 2010 – Lake-mire deposition, earthquakes and wildfires along a basin margin fault; Rønne Graben, Middle Jurassic, Denmark. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 292: 103–126.
- OAKLEY D. & FALCON-LANG H.J. 2009 – Morphometric analysis of Cretaceous (Cenomanian) angiosperm woods from the Czech Republic. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 153: 375–385.
- PIENKOWSKI G., NIEDŹWIEDZKI G. & WAKSMUNDZKA M. 2012 – Sedimentological, palynological, and geochemical studies of the terrestrial Triassic-Jurassic boundary in north-western Poland. *Geol. Mag.*, 149: 308–332.
- PIENKOWSKI G. & WAKSMUNDZKA M. 2009 – Palynofacies in Lower Jurassic epicontinental deposits of Poland: tool to interpret sedimentary environments. *Episodes*, 32: 21–32.
- SCHOOTBRUGGE B., VAN DE, QUAN T.M., LINDSTRÖM S., PÜTTMANN W., HEUNISCH C., PROSS J., FIEBIG J., PETSCHICK R., RÖHLING H.G., RICHOSZ S., ROSENTHAL Y. & FALKOWSKI P.G. 2009 – Floral changes across the Triassic/Jurassic boundary linked to flood basalt volcanism. *Nature Geosci.*, 2: 589–594.
- SCOTT A.C. 2000 – The pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 164: 281–329.



- SCOTT A.C. 2010 – Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 291: 11–39.
- SCOTT A.C. & GLASSPOOL I.J. 2007 – Observations and experiments on the origin and formation of inertinite group macerals. *Int. J. Coal Geol.*, 70: 53–66.
- SCOTT A.C., KENIG F., PLOTNICK R.E., GLASSPOOL I.J., CHALONER W.G. & EBLE C.F. 2010 – Evidence of multiple Late Bashkirian to Early Moscovian (Pennsylvanian) fire events preserved in contemporaneous cave fills. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 291: 72–84.
- SCOTT A.C., LOMAX B.H., COLLINSON M.E., UPCHURCH G.R. & BEERLING D.J. 2000 – Fire across the K-T boundary: initial results from the Sugarite Coal, New Mexico, USA. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 164: 381–395.
- SCOTT A.C. & STEA R. 2002 – Fires sweep across the mid-Cretaceous landscapes of Nova Scotia. *Geoscientist*, 12: 4–6.
- SEPHTON M.A., LOOY C.V., BRINKHUIS H., WIGNALL P.B., LEEUW J.W., DE & VISSCHER H. 2005 – Catastrophic soil erosion during the end-Permian biotic crisis. *Geology*, 33: 941–944.
- SHEN W., SUN Y., LIN Y., LIU D. & CHAI P. 2011 – Evidence for wildfire in the Meishan section and implications for Permian-Triassic events. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 75: 1992–2006.
- TANNER L.H., WANG X. & MORABITO A.C. 2012 – Fossil charcoal from the Middle Jurassic of the Ordos Basin, China and its paleoatmospheric implications. *Geosci. Front. (w druku)* [doi:10.1016/j.gsf.2011.12.001].
- UHL D., JASPER A., ABU HAMAD A.M.B. & MONTENARI M. 2008 – Permian and Triassic wildfires and atmospheric oxygen levels. *Proc. of the 1<sup>st</sup> WSEAS Int. Conf. on Environmental and Geological Science and Engineering (EG'08) – Malta*, 11–13 September 2008. *Environment and Geoscience Book Series, Energy and Environmental Engineering Series*: 179–187.
- UHL D., JASPER A., SCHINDLER T. & WUTTKE M. 2010 – Evidence of paleowildfire in the early Middle Triassic (early Anisian) *Voltzia* sandstone: the oldest post-Permian macroscopic evidence of wildfire discovered so far. *Palaios*, 25: 837–842.
- UHL D. & MONTENARI M. 2011 – Charcoal as evidence of palaeo-wildfires in the Late Triassic of SW Germany. *Geol. J.*, 46: 34–41.
- VENKATESAN M.I. & DAHL J. 1989 – Organic geochemical evidence for global fires at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, 338: 57–60.
- WOLBACH W.S., GILMOUR I., ANDERS E., ORTH C.J. & BROOKS R.R. 1988 – Global fire at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*, 334: 665–669.
- WOLBACH W.S., LEWIS R.S. & ANDERS E. 1985 – Cretaceous extinctions: evidence for wildfires and search for meteoritic material. *Science*, 230: 167–170.
- WU W. 2010 – A wildfire record in the Triassic-Jurassic boundary of South China: evidence from pyrolytic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Poster on the 8<sup>th</sup> International Congress on the Jurassic System – Sichuan, China*, 9–13 August 2010.
- XIE S., PANCOST R.D., YIN H., WANG H. & EVERSHED R.P. 2005 – Two episodes of microbial change coupled with Permo/Triassic faunal mass extinction. *Nature*, 434: 494–497.
- XIE S., PANCOST R.D., YIN H., WANG H., YANG H., WIGNALL P.B., LUO G., JIA C. & CHEN L. 2010 – Cyanobacterial blooms tied to volcanism during the 5 m.y. Permo-Triassic biotic crisis. *Geology*, 38: 447–450.
- ZEIGLER K.E., HECKERT A.B. & LUCAS S.G. 2005 – Taphonomic analysis of a fire-related Upper Triassic vertebrate fossil assemblage from North-Central New Mexico. *56<sup>th</sup> Field Conference Guidebook. Geology of the Chama Basin. New Mexico Geol. Soc.*: 341–356.
- ZIAJA J. & WCISŁO-LURANIEC E. 1999 – Are the Lower Liassic plants of Odrowąż (Poland) burnt? *Proceedings of the Fifth European Palaeobotanical and Palynological Conference, Cracow*, 26–30 June 1998. *Acta Palaeobot. Suppl.*, 2: 257–265.

Praca wpłynęła do redakcji 19.11.2010 r.

Po recenzji akceptowano do druku 14.01.2011 r.



# PRZEGLĄD GEOLOGICZNY



Cena 12,60 zł (w tym 5% VAT)

TOM 60 Nr 3 (MARZEC) 2012

Indeks 370908 ISSN-0033-2151

**Požary w mezozoiku**

**Hydrogeologia i ochrona  
ekosystemów w KPN**

**Ciepło radiogeniczne  
w utworach karbonu i permu  
monokliny przedsudeckiej**

**Kamienne zabytki czeskiej Pragi**



**Zdjęcie na okładce:** Niewielki wąwóz w środkowojurajskich zlepieńcach i piaskowcach profilu Rincón del Águila (basen Neuquén, środkowo-zachodnia Argentyna), zawierających węgiel drzewny (zob. Marynowski, str. 148). Fot. L. Marynowski

**Cover photo:** Small ravine within the Middle Jurassic conglomerates and sandstones of the charcoal-bearing Rincón del Águila section, (Neuquén Basin, central-west Argentina) (see Marynowski, p. 148). Photo by L. Marynowski

## Mezozoiczne pożary – ich rozprzestrzenienie i znaczenie w trakcie zdarzeń globalnych (patrz str. 148)



**Ryc. 1.** Leje krasowe w wapieniach permjskich wypełnione piaszczysto-mułowymi osadami keloweju, zawierającymi węgle drzewne (kamieniołom Karpenai, północna Litwa)

**Fig. 1.** Karst funnels within the Permian limestones infilled by Callovian charcoal-bearing sand and mud sediments (Karpenai quarry, north Lithuania)



**Ryc. 2.** Śródkowojurajskie piaskowce i mułowce w profilu Portada Covunco, zawierające drobne fragmenty częściowo zmineralizowanych węgli drzewnych (basen Neuquén, środkowo-zachodnia Argentyna). Obie fot. L. Marynowski

**Fig. 2.** Sandstones and mudstones of the Middle Jurassic Portada Covunco section, containing small, partially mineralized charcoal fragments (Neuquén Basin, central-west Argentina). Both photos by L. Marynowski