

Kopalne zygospory glonów Zygnemataceae (Chlorophyta) z osadów górnego miocenu KWB Belchatów

Elżbieta Worobiec¹, Grzegorz Worobiec¹



E. Worobiec



G. Worobiec

Fossil zygospores of Zygnemataceae algae (Chlorophyta) from the Upper Miocene of the Belchatów Lignite Mine. *Prz. Geol.*, 56: 1000–1004.

Abstract. The Zygnemataceae are an extant family of freshwater filamentous green algae which produce acid-resistant zygospores. Palynomorphs of probable zygnematacean affinity occur in sediments of the Carboniferous to Holocene age (van Geel & Grenfell, 1996). These algae reproduce using four types of spores, but only zygospores and probably aplanospores are acid-resistant and can be preserved in the fossil record. The majority of recent species have zygospores of constant form of three types: elliptical (occurring in genera *Debarya* and *Spirogyra*), square (occurring in *Mougeotia*) or circular (occurring in *Zygnema*). The zygospores normally have a three-layered wall (exospore, mesospore and endospore), but only mesospore contains a decay and acid-resistant substance (most probably algaenans), so usually only this

layer is preserved in fossil state, and is of interest to palynologists. The mesospore layer is smooth or ornamented with various sculptures (Kadłubowska, 1972; Grenfell, 1995). The shape and sculpture are very important features for determination of both the recent and fossil species. Two samples from the Belchatów Lignite Mine were palynologically examined and two types of probable fossil zygnematacean zygospores, differing in shape, were encountered. The following species have been distinguished: *Tetraporina* sp., *Spintetrapidites quadriformis* Krutzsch & Pacltová as well as *Ovoidites elongatus* (Hunger) Krutzsch, and *O. ligneolus* Potonié ex Krutzsch. The fossil genus *Tetraporina* is usually related to the recent zygnematacean algae zygospores of *Mougeotia* genus, fossil *Ovoidites* is the nearest the recent zygospores of *Spirogyra* and *Sirogonium*, while *Spintetrapidites* is similar to both zygospores of *Zygnemataceae* and *Tetraedron* green algae. Species of recent genera *Mougeotia* and *Spirogyra* are usually found in shallow, freshwater, oxygen-rich environments such as ponds, lake margins (paludal or low gradient fluvial), ditches and very slowly moving streams (Kadłubowska, 1972). Occurrence of *Tetraporina* and *Ovoidites* zygnematacean zygospores in the material studied from Belchatów points out at presence of water basin(s) during sedimentation time. That confirms the previous geological results that formation of examined sediments took place in the environment of a meandering river (including ox-bow lakes).

Key words: pollen analysis, freshwater algae, zygospores, Zygnemataceae, taphonomy, paleoecology, Upper Miocene, Belchatów

Kopalne glony słodkowodne (*Botryococcus*, *Pediastrum* i *Zygnemataceae*) są niejednokrotnie znajdowane w trakcie analizy palinologicznej, jednak *Zygnemataceae* (sprzężnice) są często pomijane w opisach wyników analizy pyłkowej. Glony te występują obecnie prawie wyłącznie w zbiornikach słodkowodnych, bogatych w tlen. Można zatem przypuszczać, że kopalne *Zygnemataceae* preferowały podobne warunki. Ze względu na odporność zygospór sprzężnic na acetolizę możliwe jest ich pozyskiwanie podczas standardowej maceracji palinologicznej. Należy więc zwrócić większą uwagę na te mikroskamieniałości, gdyż mogą się one okazać przydatne do interpretacji wyników analizy pyłkowej oraz wzbogacić wiedzę o warunkach sedymentacji badanych osadów.

Zygospory *Zygnemataceae*, jako formy przetrwalnikowe, zachowują się w osadach od karbonu do dziś (van Geel & Grenfell, 1996) dzięki obecności wysoce odpornych chemicznie biopolimerów, najprawdopodobniej algenanów. Najczęściej występują kopalne rodzaje *Tetraporina* i *Ovoidites*. Znajdowano je w wielu osadach trzeciorzędowych (por. Grenfell, 1995).

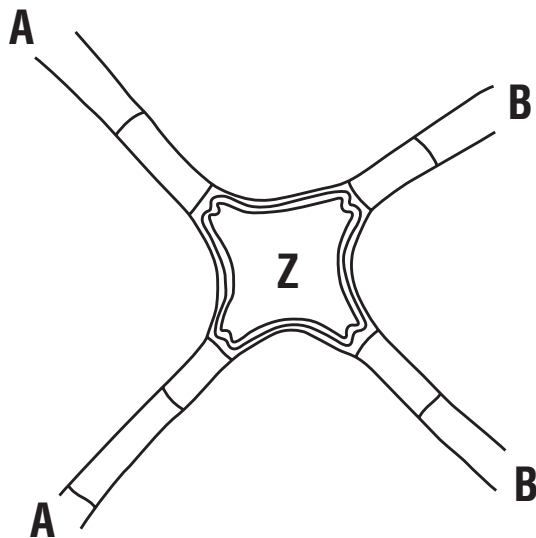
Biologia i ekologia glonów z rodziny Zygnemataceae

Zygnemataceae (sprzężnice) liczą 12 rodzajów i kilka tysięcy gatunków. Do rodziny tej należą najbardziej rozpo-

wszechnione na świecie słodkowodne zielone glony nitkowate. Występują one w płytkich, stojących lub wolno płynących, czystych, bogatych w tlen wodach, gdzie tworzą zieloną, splecioną masę. Rodzaj *Mougeotia* jest kosmopolityczny — występuje wzdłuż brzegów stawów i jezior, w strumieniach, rowach, a nawet na wilgotnej glebie. Często tworzy nitkowatą masę obrastającą rośliny wodne. Rodzaj *Spirogyra* często występuje w płytkich jeziorach (Kadłubowska, 1972). *Zygnemataceae* są glonami słodkowodnymi, jedynie pojedyncze okazy zygospór *Zygnemataceae* (np. *Ovoidites*) mogą być transportowane do strefy przybrzeżnej morza (Zippi, 1998), stąd w morskich osadach są one rzadko spotykane i wtedy bardzo nieliczne.

Glony z rodziny *Zygnemataceae* tworzą zygospory, które umożliwiają im przetrwanie niekorzystnych warunków, jak wysychanie czasowych zbiorników wodnych i wilgotnych gleb latem lub zamarzanie zimą (Kadłubowska, 1972; van Geel & Grenfell, 1996). Tworzą one 4 rodzaje spor, jednak w materiale kopalnym zachowują się tylko zygospory, które powstają w wyniku koniugacji (ryc. 1, 2), i być może aplanospory. Grenfell (1995) wydzielił wśród współczesnych zygospór *Zygnemataceae* trzy grupy różniące się kształtem: eliptyczne (występujące u rodzajów *Debarya* i *Spirogyra*), kwadratowe (występujące u *Mougeotia*) i okrągłe (występujące u *Zygnema*). Dojrzała zygospora jest otoczona przeważnie trójwarstwową ścianą komórkową (egzospór, mezospór i endospór). Jedynie mezospór jest odporny chemicznie i zachowuje się podczas fosylizacji i acetolizy (Head, 1992). Mezospór może być

¹Institut Botaniki im. Władysława Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków; E.Worobiec@botany.pl; g.worobiec@botany.pl



Ryc. 1. Koniugacja i powstawanie zygospory u współczesnego rodzaju *Mougeotia* (wg Kadłubowskiej, 1972): A, B — koniugujące nici; Z — zygospora

Fig. 1. Conjugation and zygospore formation of the extant genus *Mougeotia* (after Kadłubowska, 1972): A, B — conjugating filaments; Z — zygospore

gładki lub może mieć rzeźbę w postaci różnej wielkości dołczków, żeber, listew lub ząbków (Kadłubowska, 1972). Rzeźba mezospory jest ważną cechą taksonomiczną, zarówno gatunków współczesnych, jak i kopalnych.

Tafonomia zygospór Zygnemataceae

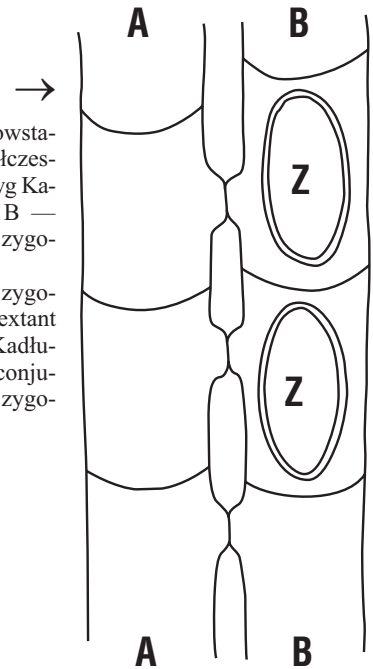
Zygospory Zygnemataceae zwykle są bardzo dobrze zachowane i znane z osadów od późnego paleozoiku (van Geel & Grenfell, 1996). Wskazuje to na ich wysoki potencjał fosylizacyjny, przyczyną którego jest obecność w ścianach komórkowych substancji odpornych na rozkład biologiczny i chemiczny. U przedstawicieli Zygnemataceae nie były one dotychczas dokładnie badane. Autorzy niektórych doniesień (Blokker, 2000 [W:] De Leeuw i in., 2006; Pouličková i in., 2007) wskazują, że są to substancje określane mianem algenanów (ang. *algaenans*, Tegelaar i in., 1989; De Leeuw & Largeau, 1993; Versteegh & Blokker, 2004; De Leeuw i in., 2006), wchodzące w skład ścian komórkowych niektórych glonów. Do algenanów należą wysoce alifatyczne, wielkocząsteczkowe biopolimery. Są one nierozpuszczalne w wodzie, odporne na hydrolizę, acetolizę oraz procesy rozkładu zachodzące w trakcie fosylizacji. Algenany różnią się pod względem chemicznym od sporopollenin (wchodzących w skład ścian ziaren pyłku i zarodników), które są biopolimerami aromatycznymi (De Leeuw i in., 2006). Algenany zostały stosunkowo dobrze poznane u niektórych współczesnych przedstawicieli glonów z gromady zielenic (Chlorophyta), głównie rodzajów *Pediastrum*, *Scenedesmus* i *Tetraedron* (Blokker i in., 1998). Algenany są ważnymi substancjami wyjściowymi, które uczestniczą w formowaniu się kerogenu (Tegelaar i in., 1989 [W:] van Bergen i in., 1995).

Materiał i metody

Próby do analizy pyłkowej zostały pobrane z fragmentów skały z makrocząstkami roślin (głównie uwęglonymi

Ryc. 2. Koniugacja i powstawanie zygospory u współczesnego rodzaju *Spirogyra* (wg Kadłubowskiej, 1972): A, B — koniugujące nici; Z — zygospora

Fig. 2. Conjugation and zygospore formation of the extant genus *Spirogyra* (after Kadłubowska, 1972): A, B — conjugating filaments; Z — zygospore

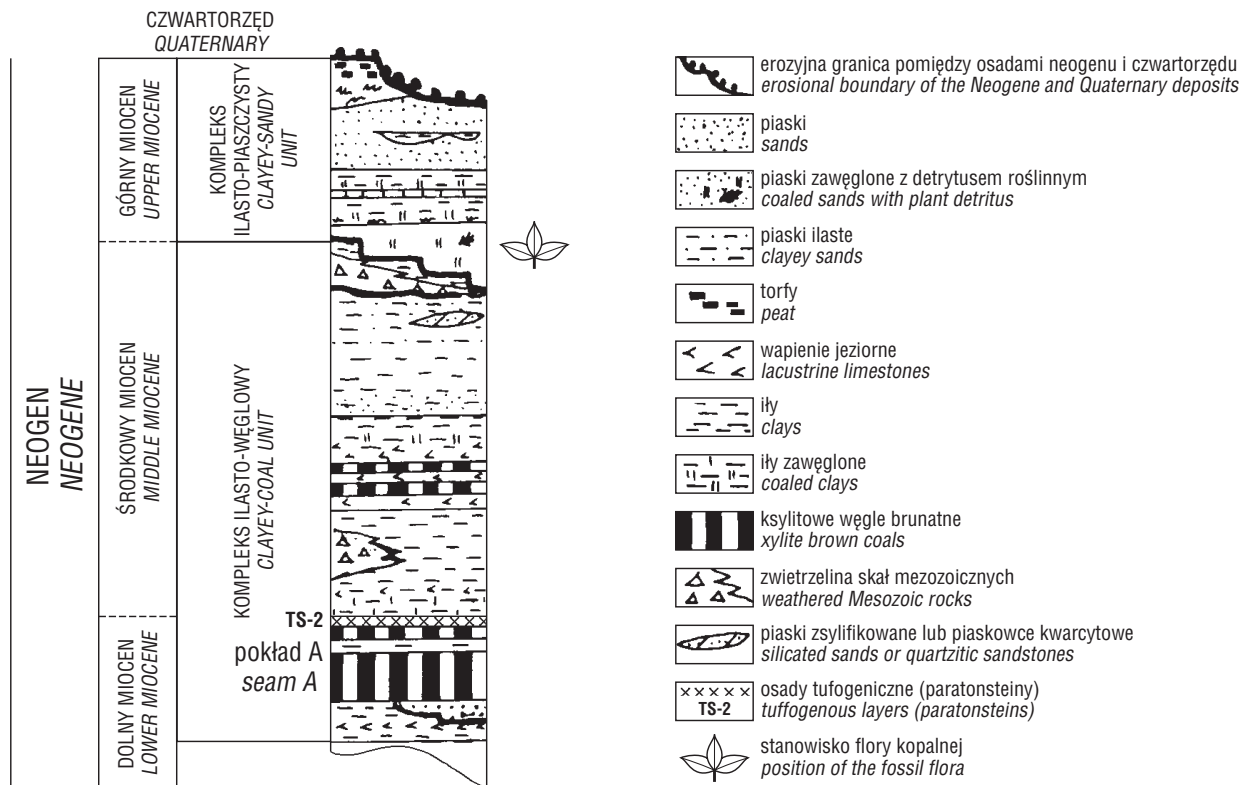


liśćmi) zebranych w wyrobisku Kopalni Węgla Brunatnego BOT *Bełchatów* S.A. (ryc. 3) w październiku 1996 roku. Il z florą kopalną leżał na piaskach z brukami erozyjnymi podścielonymi przez piaski, piaski zailone i piaszczyste ily, a przykrywały go piaski z mułkami. Pozycja geologiczna flory kopalnej odpowiada ogólnie spągowi kompleksu ilasto-piaszczystego (ryc. 4), wyróżnionego w profilu litostatygraficznym osadów neogenu KWB *Bełchatów* (Czarnecki i in., 1992; Stuchlik & Szykiewicz, 1998; Matl, 2000).



Ryc. 3. Lokalizacja terenu badań
Fig. 3. Location of the study area

W spągu kompleksu ilasto-piaszczystego stwierdzono dotychczas występowanie wielu stanowisk obfitujących w makroczątki roślinne (Stuchlik i in., 1990; Szykiewicz, 2000; Worobiec, 2003). Wiek tej części kompleksu ilasto-piaszczystego odpowiada późnemu mioceniowi (Szyn-



Ryc. 4. Fragment profilu litostratygraficznego trzeciorzędowych osadów w Kopalni Węgla Brunatnego *Belchatów* (wg Stuchlik i in., 1990; Szykiewicz, 2000; Worobiec, 2003; zmienione) z lokalizacją stanowiska flory kopalnej

Fig. 4. Part of the lithostratigraphic profile of the Neogene deposits in the *Belchatów* Lignite Mine (after Stuchlik et al., 1990; Szykiewicz, 2000; Worobiec 2003; changed) with position of the fossil flora

kiewicz, 2000; Worobiec, 2003). Z dolnej części kompleksu ilasto-piaszczystego przebadano palinologicznie kilka prób (profil VI — Stuchlik i in., 1990), jednak we florze pyłkowej tego kompleksu nie opisano dotychczas zygospor *Zygnemataceae*.

Materiał do badań pochodził z kolekcji makroszczątków roślin przechowywanych w Muzeum Paleobotanicznym Instytutu Botaniki im. Władysława Szafera PAN w Krakowie (KRAM-P 225). Dwie próby pobrane z 2 fragmentów skały przygotowano do analizy mikroskopowej przy użyciu zmodyfikowanej metody acetolizy Erdtmanna (Faegri & Iversen, 1978). Sporomorfy były w większości bardzo dobrze zachowane. Zarówno we florze sporo-wo-pyłkowej, jak i liściowej występowały taksony roślin bagiennych, łęgowych i mezofilnych. Wśród sporomorf dominował pyłek roślin łęgowych (*Alnus*, *Carya*, *Pterocarya* i *Ulmus*).

Opis oznaczonych zygospor

Tetraporina Naumova 1939 ex Bolkhovitina 1953

Rodzaj *Tetraporina* został opisany dla form paleozoicznych (Naumova 1939 [W:] Bolkhovitina, 1953), natomiast dla form młodszych stosowana jest niekiedy nazwa *Tetrapidites* Klaus ex Meyer 1956 (Krutzschn & Pacltová, 1990). Kopalny rodzaj *Tetraporina* wykazuje bardzo duże podobieństwo do zygospor współczesnego rodzaju *Mougeotia* z rodziny *Zygnemataceae* (Krutzschn & Pacltová, 1990; Grenfell, 1995). Poza kształtem za pokrewieństwem tych rodzajów przemawiają również takie

cechy, jak rozmiary, grubość ściany i obecność w niej warstw zbudowanych z odpornych chemicznie substancji (Zippi, 1998). Różnicowanie morfologiczne *Tetraporina* (np. modyfikacja naroży) odzwierciedla być może różne stadia rozwojowe zygospor (Grenfell, 1995), świadczy o tym porównanie z zygosporami współczesnego rodzaju *Mougeotia*. W Polsce rodzaj *Tetraporina* znany jest z kenozoiku z osadów od eocenu do pliocenu (Grabowska, 1996).

Tetraporina sp. (ryc. 5A) — zygospora czworokątna w zarysie, z nieco wklęsłymi bokami, wielkości ok. 30–40 μm. W narożach obecne pseudopory. Ściana cienka, gładka lub delikatnie dołkowana.

Spintetrapidites Krutzschn & Pacltová 1990

Do kopalnego rodzaju *Spintetrapidites* należą formy o budowie zbliżonej do *Tetraporina*, różniące się od nich brakiem modyfikacji naroży (Krutzschn & Pacltová, 1990).

Spintetrapidites quadriformis Krutzschn & Pacltová 1990 (ryc. 5B) — zygospora czworokątna w zarysie, z wklęsłymi bokami, bez pseudopor, wielkości ok. 35 μm. Ściana cienka, gładka. Mikroskamieniałość ta przypomina zarówno zygospor *Zygnemataceae*, jak i glony z rodzaju *Tetradron*.

Ovoidites Potonié 1951 ex Krutzschn 1959

Cechy morfologiczne *Ovoidites* wskazują na związek tego kopalnego rodzaju ze współczesnymi glonami z rodziny *Zygnemataceae* (Krutzschn & Pacltová, 1990). Kształt, wielowarstwowa ściana (widoczna tylko u bardzo dobrze zachowanych okazów), rodzaj skulptury, a nawet kolor



Ryc. 5. Kopalne zygospori Zygnemataceae z górnego miocenu KWB Belchatów: **A** — *Tetraporina* sp.; **B** — *Spintetrapidites quadriformis* Krutzsch & Pacltová; **C** — *Ovoidites elongatus* (Hunger) Krutzsch; **D** — *Ovoidites ligneolus* Potonié ex Krutzsch

Fig. 5. Fossil zygospores of Zygnemataceae from the Upper Miocene of the Belchatów Lignite Mine: **A** — *Tetraporina* sp.; **B** — *Spintetrapidites quadriformis* Krutzsch & Pacltová; **C** — *Ovoidites elongatus* (Hunger) Krutzsch; **D** — *Ovoidites ligneolus* Potonié ex Krutzsch

ściany *Ovoidites* są identyczne jak u współczesnych rodzajów *Spirogyra* i *Sirogonium* z rodziny Zygnemataceae (Zippi, 1998). W Polsce rodzaj *Ovoidites* podawany jest z kenozoiku z osadów od eocenu do pliocenu (Grabowska, 1996).

Ovoidites elongatus (Hunger 1952) Krutzsch 1959 [= *Ovoidites parvus* (Cookson & Dettmann 1959) Nakoman 1966] (ryc. 5C) — zygospori owalne w zarysie, wielkości 65–100 µm. Ściana gładka, grubości około 2 µm. U niektórych okazów widoczna szczelina.

Ovoidites ligneolus Potonié 1951 ex Krutzsch 1959 (ryc. 5D) — zygospori owalne w zarysie, wielkości ok. 90–200 µm. Ściana grubości ok. 3 µm, na powierzchni widoczna jest charakterystyczna „pofałdowana” (rugulate, foveolate) rzeźba.

Warunki sedymentacji badanych osadów z Belchatowa

Obecność zygospori Zygnemataceae w materiale kopalnym świadczy o istnieniu zbiornika wodnego, w którym przynajmniej przez część roku występowała czysta, bogata w tlen, stojąca lub wolno płynąca, płytka woda słodka, która musiała być wystarczająco ciepła, aby umożliwić tworzenie się zygospori. Stosunkowo wysokie temperatury występują w płytkich wodach poddanych bezpośredniemu promieniowaniu słonecznemu, przynajmniej w pewnych okresach, dlatego pojawienie się zygospori w materiale kopalnym nie świadczy wprost o ociepleniu klimatu, a jedynie o nagrzewaniu się zbiornika, które może być spowodowane przez takie czynniki, jak jego spływanie lub bezpośrednie nasłonecznienie.

Obecność zygospori Zygnemataceae w próbach z Belchatowa, w połączeniu z wynikami analizy pyłkowej oraz badań makroszczątków liści, potwierdza istnienie płytkiego zbiornika lub zbiorników słodkowodnych w czasie tworzenia się badanych osadów. Pozostaje to w zgodzie z wynikami wcześniejszych badań fluwialnych osadów spagowej części kompleksu ilasto-piaszczystego (Wilczyński, 1992; Worobiec, 2003), według których sedymentacja badanych osadów następowała w środowiskach rzek roztokowych oraz meandrujących ze starorzeczami, które są sprzyjającymi siedliskami dla glonów z rodziny Zygnemataceae.

Literatura

- BLOKKER P. 2000 — Structural analysis of resistant polymers in extant algae and ancient sediments. *Geol. Ultraicet.*, 193: 1–145.
 BLOKKER P., SCHOUTEN S., VAN DEN ENDE H., DE LEEUW J. W., HATCHER P. G. & SINNINGHE DAMSTÉ J. S. 1998 — Chemical structure of algaenans from the fresh water algae *Tetraedron minimum*, *Scenedesmus communis* and *Pediastrum boryanum*. *Org. Geochem.*, 29: 1453–1468.
 BOLKHOVITINA N. A. 1953 — Sporovo-pyl'tsevaya kharakteristika melovykh otlozheny tsentralnykh oblasti SSSR (Spores and pollen characteristic of the Cretaceous deposits of central regions of the USSR). *Trudy Geol. Inst. Akad. Nauk SSSR*, 145(61): 1–183.
 CZARNECKI L., FRANKOWSKI R. & KUSZNERUK J. 1992 — Syntetyczny profil litostratygraficzny utworów trzeciorzędu złoża „Belchatów”. [W:] Lipiński I. (red.), *Materiały XV Sympozjum „Geologia formacji węglonośnych Polski”*. Wyd. AGH, Kraków: 19–23.
 DE LEEUW J. W. & LARGEAU C. 1993 — A review of macromolecular compounds that comprise living organisms and their role in krogen, coal and petroleum formation. [W:] Engel M.H. & Macko S.A. (red.), *Org. Geochem. Principles and Applications*. Plenum Press, New York: 23–72.

- DE LEEUW J.W., VERSTEEGH G.J.M. & VAN BERGEN P.F. 2006 — Biomacromolecules of algae and plants and their fossil analogues. *Plant Ecol.*, 182: 209–233.
- FAEGRI K. & IVERSEN J. 1978 — Podręcznik analizy pyłkowej. Wyd. Geol.
- GRABOWSKA I. 1996 — Gromada Chlorophyta. [W:] Malinowska L. & Piwocki M. (red.), *Budowa Geologiczna Polski. T. 3: Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych, cz. 3a. Kenozoik, trzeciorzęd, neogen. Polska Agencja Ekologiczna: 774–778.*
- GRENFELL H.R. 1995 — Probable fossil zygnematacean algal spore genera. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 84: 201–220.
- HEAD M.J. 1992 — Zygosporangia of Zygnemataceae (Division Chlorophyta) and other freshwater algal spores from the uppermost Pliocene St. Erth Beds of Cornwall, southwestern England. *Micropaleontology*, 38: 237–260.
- KADŁUBOWSKA J.Z. 1972 — Chlorophyta V. Conjugales: Zygnemataceae. Zrośnicowate. [W:] Starmach K. & Siemińska J. (red.), *Flora słodkowodna Polski, T. 12A.* PWN, Kraków.
- KRUTZSCH W. & PACLOVÁ B. 1990 — Die Phytoplankton — Mikroflora aus den Pliozänen Süßwasserablagerungen des Cheb-Bekens (Westböhmen, ČSFR). *Acta Univ. Carolinae — Geologica*, 4: 345–420.
- MATL K. 2000 — Wybrane elementy budowy geologicznej złoża Bełchatów. [W:] Słomka T. & Wagner M. (red.), *Charakter petrograficzny i warunki sedimentacji wybranych kompleksów litologicznych z profilu miocenu w złożu węgla brunatnego Bełchatów.* Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN, 147: 11–19.
- NAUMOVA S. N. 1939 — Spores and pollen of the coals of the USSR. *Int. Geol. Congr. 17 Sess., Moscow, 1937, Rep.*, 1: 353–364.
- POULÍČKOVÁ A., ŽIŽKA Z., HAŠLER P. & BENADA O. 2007 — Zygnematalean zygosporangia: morphological features and use in species identification. *Fol. Microbiol.*, 52(2): 135–145.
- STUCHLIK L. & SZYNKIEWICZ A. 1998 — General geological situation and palynological investigations of the brown coal deposits. [W:] Sadowska A. & Szykiewicz A. (red.), *Guide to Excursion No 2: Tertiary-Quaternary (Pleistocene) floras of Bełchatów (Middle Poland)* and several localities in south-western Poland. The Fifth European Palaeobotanical-Palynological Conference in Cracow, 26–30.06.1998. IB PAN, Kraków: 6–11.
- STUCHLIK L., SZYNKIEWICZ A., ŁAŃCUCKA-ŚRODONIOWA M. & ZASTAWIAK E. 1990 — Wyniki dotychczasowych badań paleobotanicznych trzeciorzędowych węgla brunatnych złoża “Bełchatów”. *Acta Palaeobot.*, 30(1–2): 259–305.
- SZYNKIEWICZ A. 2000 — Wiek węgla brunatnego na tle pozycji geologicznej badanych próbek (KWB „Bełchatów”). *Prz. Geol.*, 48: 1038–1044.
- TEGELAAR E.W., DE LEEUW J.W., DERENNE S. & LARGEAU C. 1989 — A reappraisal of kerogen formation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 3103–3106.
- VAN BERGEN P.F., COLLINSON M.E., BRIGGS D.E.G., DE LEEUW J.W., SCOTT A.C., EVERSLED R.P. & FINCH P. 1995 — Resistant biomacromolecules in the fossil record. *Acta Bot. Neerlandica*, 44: 319–345.
- VAN GEEL B. & GRENFELL H.R. 1996 — Chapter 7A. Spores of Zygnemataceae. [W:] Jansonius J. & McGregor D.C. (red.), *Palynology: principles and applications.* Americ. Assoc. Stratigr. Palynol. Found., 1: 173–179.
- VERSTEEGH G.J.M. & BLOKKER P. 2004 — Resistant macromolecules of extant and fossil microalgae. *Phycological Res.*, 52(4): 325–339.
- WILCZYŃSKI R. 1992 — Dotychczasowe wyniki badań podstawowych serii poznańskiej w świetle geologiczno-inżynierskich problemów prowadzenia robót górniczych w KWB “Bełchatów”. *Acta Univ. Wratisl.*, 1354; *Pr. Geol.-Miner.*, 26: 91–108.
- WOROBIEC G. 2003 — New fossil floras from Neogene deposits in the Bełchatów Lignite Mine. *Acta Palaeobot.*, Suppl., 3: 1–133.
- ZIPPI P. A. 1998 — Freshwater algae from the Mattagami Formation (Albian), Ontario: Paleocology, botanical affinities, and systematic taxonomy. *Micropaleontology*, 44, Suppl., 1: 1–78.

Praca wpłynęła do redakcji 03.12.2007 r.
Po recenzji akceptowano do druku 03.09.2008 r.