

ODZWIERCIEDLENIE STRESU ŚRODOWISKOWEGO W PALINOFLORZE PÓŹNEGO PERMU W POLSCE

IMPACT OF THE ENVIRONMENTAL STRESS ON THE LATE PERMIAN PALYNOFLORA FROM POLAND

ANNA FIJAŁKOWSKA-MADER¹

Abstrakt. Analizując materiał pochodzący z utworów cechsztynu Polski zaobserwowano pojawienie się zmienionych morfologicznie ziaren pyłku z gatunku *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus, stanowiącego główny składnik późnopermskich zespołów mikroflorystycznych. Zmiany te już wcześniej odnotował Visscher w zachodniej Europie (1971, 1972), nazywając zmienione formy normami. Dotyczyły one zwiększenia lub redukcji liczby worków powietrznych, zmiany ich kształtu i wielkości, pogrubienia egzyny ciała centralnego i zagęszczenia jej struktury. Przyczyną powstania zmienionych form najprawdopodobniej był stres środowiskowy wywołany katastroficznymi zmianami klimatu w późnym permie, będącymi następstwem wzmożonej działalności wulkanicznej (Foster, Afonin, 2005).

Słowa kluczowe: zmienione ziarna pyłku, stres środowiskowy, późny perm, Polska.

Abstract. The abnormal pollen grains of the *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus species were recorded in the Late Permian microfloristic assemblages from Poland. These morphologically mutated miospores were already described by Visscher in the Permian succession of Western Europe and became interpreted as evolutionary forms called norms (1971, 1972). The most probable reason of such aberration was the environmental stress accompanied the catastrophic climatic changes in the Late Permian resulted from the high volcanic activity (Foster, Afonin, 2005).

Key words: abnormal pollen grains, environmental stress, Late Permian, Poland.

WSTĘP

Dużą zmienność morfologiczną w obrębie późnopermskiego gatunku *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus odnotował Visscher (1971, 1972), nazywając zmienione formy normami morfologicznymi, a sam gatunek określił mianem palinodemu, rozumianego jako grupę równocześnie rozproszonych sporomorf, reprezentujących tę samą roślinę macierzystą. Do powstawania kolejnych norm (oznaczonych symboliką od Aa – forma niezmieniona – do E) dochodziło, zdaniem Visschera, na drodze stopniowych, ewolucyjnych zmian. Dotyczyły one zwiększenia lub redukcji liczby worków powietrznych, zmiany ich kształtu i wielkości, pogrubienia egzyny ciała centralnego i zagęszczenia jej struktury.

Inne późnopermskie gatunki ziaren pyłku nie wykazują tak dużych zmian. W obrębie gatunku *Jugasporites delasaucei* (Potonié et Klaus) Leschik zmienność dotyczy kształtu ziarna, liczby i kształtu worków oraz kształtu znaku zrostowego (Potonié, Schweitzer, 1960; Grebe, Schweitzer, 1962). Na podstawie tych cech Visscher (1971) wyróżnił normy morfologiczne A i B.

Kolejnym przykładem zmienionego ziarna pyłku jest gatunek *Triadipsora visscheri* (Visscher) Fijałkowska o trzech workach. Podobny okaz, jako zmienione ziarno pyłku *Alisporites* sp. opisali Foster i Afonin (2005 – fig. 4f) z górnego permu Chin.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce; e-mail: anna.mader@pgi.gov.pl

Zmienność ta była również obserwowana w późnopermskich zespołach mikroflorystycznych z obszaru Polski (Fijałkowska, 1994, 1995; Dybova-Jachowicz, Chłopek, 2003; Fijałkowska-Mader, 2011).

Impulsem dla autorki do rewizji poglądów na temat przyczyn powstawania norm morfologicznych w obrębie późnopermskich ziaren pyłku i odstąpienia od teorii stopniowych zmian ewolucyjnych oraz zmienności osobniczej była praca

Fostera i Afonina (2005), obrazująca zmiany w morfologii ziaren pyłku z gatunku *Klausipollenites schaubegeri* (Potonié et Klaus) Jansonius i *Alisporites* sp. z obszaru Rosji i Chin. Zmiany te polegały na zwiększeniu liczby worków powietrznych albo jej redukcji. Jako przyczynę tych zmian autorzy podają stres środowiskowy wywołany katastroficznymi zmianami klimatu pod koniec permu.

MATERIAŁ I METODY

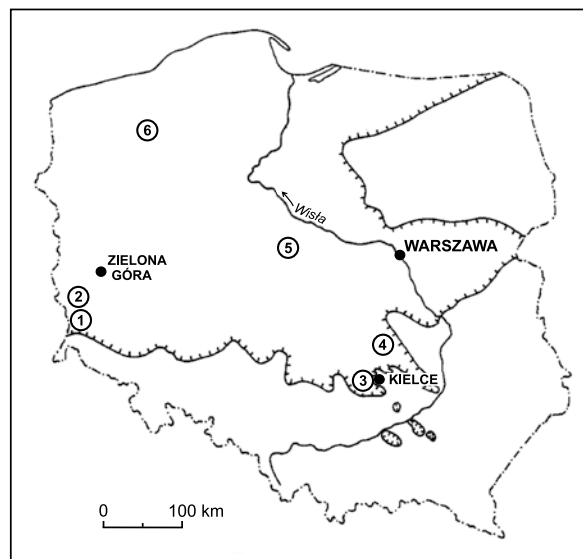
Materiał do badań pochodził z utworów cechsztynu z następujących obszarów: NW obrzeżenie Gór Świętokrzyskich (23 otwory wiertnicze), niecka Nidy (4 otwory wiertnicze), niecka północnosudecka (2 otwory wiertnicze, 1 odsłonięcie), monoklina przedsudecka, wał kujawski i wał pomorski (1 otwór wiertniczy) – [figury 1, 2, tabela 1](#).

Próby macerowano metodą fluorowodorową na zimno według przepisu Orłowskiej-Zwolińskiej (1983). Łącznie uzyskano 278 prób pozytywnych. Analizy palinologiczne i dokumentację fotograficzną przeprowadzono przy użyciu mikroskopu Laborlux-S firmy Leica.

Zarówno maceraty, jak i preparaty są przechowywane w Oddziale Świętokrzyskim Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Kielcach.

Badania zmienionych ziaren pyłku dotyczyły następujących cech: kształtu, liczby i kształtu worków powietrznych, grubości egzyny ciała centralnego oraz kształtu znaku zrostowego.

Podczas interpretacji przyczyn zmienności morfologicznej oparto się na wynikach badań nad współczesnymi zmienionymi ziarnami pyłku, przeprowadzonych na obszarze Stanów Zjednoczonych, Rosji, Ukrainy i Słowacji. Zmiany te dotyczą występowania ziaren w tetradach, zwiększenia liczby worków, zaniku terminalnej apertury, pogrubienia egzyny i zmniejszenia wielkości ziarna. Za progową liczbę zmienionych ziaren pyłku, jako wskaźnika



współczesny zasięg osadów pierwszego cyklotemu cechsztynu PZ1 (wg Wagnera, 1994)
present limit of the Zechstein First Cyclothem deposits PZ1 (after Wagner, 1994)

badane obszary: 1 – niecka północnosudecka, 2 – monoklina przedsudecka, 3 – NW obrzeżenie Gór Świętokrzyskich, 4 – niecka Nidy, 5 – kopalnia soli Kłodawa, 6 – otwór Piła IG 1
studied areas: 1 – North Sudetic Trough, 2 – Fore-Sudetic Monocline, 3 – NW margin of the Holy Cross Mountains, 4 – Nida Basin, 5 – salt mine Kłodawa, 6 – Piła IG 1 borehole

Fig. 1. Lokalizacja badanych obszarów

Location of study areas

Tabela 1

Pochodzenie badanego materiału

Provenance of the material studied

Badany obszar	Liczba otworów wiertniczych, odsłonięć i kopalń	Otwory wiertnicze/odsłonięcia*/kopalnie** (liczba prób pozytywnych)
Niecka północnosudecka	3	Czerwona Woda IG 1 (13), Kościelna Wieś IG 1 (5), Nivnice* (2)
Monoklina przedsudecka	2	Rudna Północna** (7), Lubin Główny** (2)
NW obrzeżenie Gór Świętokrzyskich	23	Cierchy IG 1 (6), Goleniawy IG 1 (8), Jaworze IG 1 (16), Jaworzna IG 1 (7), Lekomín IG 1 (14), Łączna-Zasosie IG 1 (1), Łopuszno IG 1 (24), Opoczno PIG 2 (5), Ostalów PIG 2 (3), Ostojów IG 1 (6), Podgacze IG 1 (6), Radwanów IG 1 (40), Ruda Strawczyńska IG 1 (8), Siodła IG 1 (3), Sitkówka IG 1 (2), Stachura IG 1 (12), Tumlin 1 (3), Tumlin 2 (4), Tumlin-Podgrodzie IG1 (17), Zabłocie IG 1 (12), Zabłocie IG 2 (1), Zachełmie IG 1 (5), Zaciszowice IG 1 (7)
Niecka Nidy	4	Biała Wielka IG 1 (3), Brzegi IG 1 (4), Milianów IG 1 (8), Pagów IG 1 (5)
Wał kujawski	1	Kłodawa** (15)
Wał pomorski	1	Piła IG 1 (4)

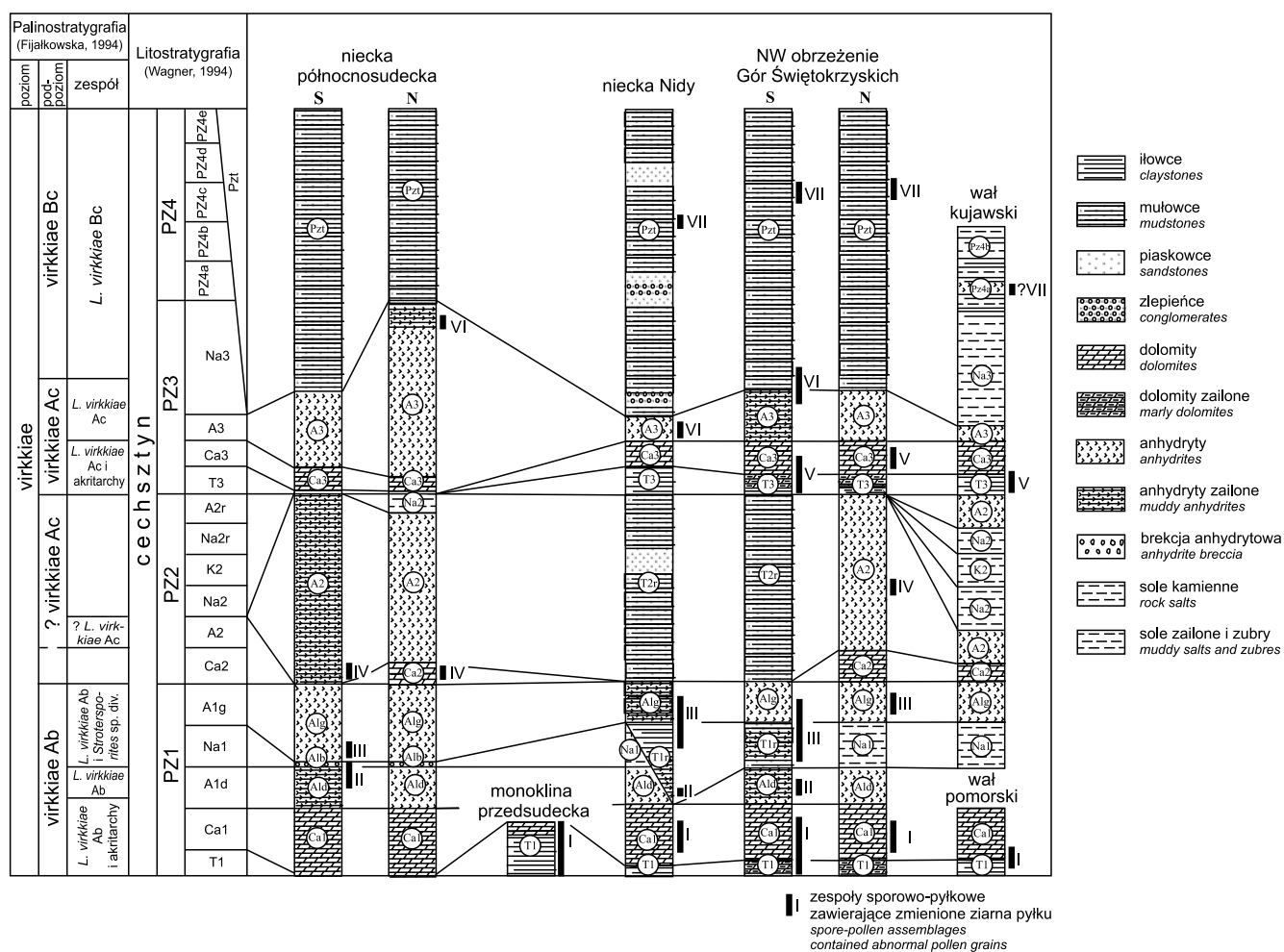


Fig. 2. Występowanie zmienionych ziaren pyłku w profilach cechsztynu z obszaru Polski

Occurrence of abnormal pollen grains in the Zechstein sections of Poland

stresu środowiskowego, przyjęto >3% (por. Foster, Afonin, 2005). Współczesne czynniki naturalne i antropogeniczne wywołujące zmiany w ziarnach pyłku to przede wszystkim silne wiatry, niskie temperatury, promieniowanie radioaktywne, promieniowanie UV, kwaśne deszcze, wzrost ilości

CO₂ toksyny przemysłowe i metale ciężkie (Wilson, 1965; Shkarlet, 1972; Tevini, 1993; Kormut'ák i in., 1994; Ostrolúcka i in., 1995; Kormut'ák, 1996; Dzyuba, 1998; Sirenko, 2001).

WYNIKI

Przeanalizowano ponad 10 000 okazów z gatunku *Lueckisporites virkkiae*, 700 okazów z gatunku *Jugasporites delasaueci* oraz 50 okazów z rodzaju *Triadispora*. W przypadku gatunku *L. virkkiae* kształt ziaren pyłku zmieniał się od dwuworkowego – normy Aa, Ab, Ac, Ba, Bb i Bc (tabl. I, fig. 1–6), po trójworkowy – norma E (tabl. I, fig. 8) lub pozbawiony worków – norma C (tabl. I, fig. 7). Kształt i wielkość worków zmieniały się od całkowicie rozwiniętych – normy Aa, Ab, Ac (tabl. I, fig. 1–3), po silnie zredukowane – normy Ba, i Bb (tabl. I, fig. 4, 5). Struktura egzyny ciążka centralnego ulegała zagęszczeniu, co powodowało jej zgrubienie od 1–1,5 μm w normie Aa do 3 μm w normach Ac, Bc.

Podobnie zmieniała się grubość egzyny worków: od bardzo cienkiej, poniżej 1 μm w normie Aa, do 2 μm w normie Bc.

Za formy niezmiennione autorka przyjęła normy Aa i Ab, które wyraźnie dominują w starszych zespołach mikroflorystycznych górnego permu (fig. 3). W zespole I (*L. virkkiae* Ab i akritarchy) udział poszczególnych norm w obrębie gatunku *L. virkkiae* przedstawia się następująco: N Aa i Ab – 67,9%, Ac – 3,2%, Ba i Bb – 15,8%, Bc – 4,7%, C – 7,9% oraz E – 0,5%. W młodszych zespołach obserwuje się wzrost liczby okazów zmienionych i w najmłodszym zespole VII (*L. virkkiae* Bc) stanowią one 68,2%: N Ac – 19,8%, Ba, Bb – 25,1%, Bc – 12,3%, C – 8% i E – 3%.

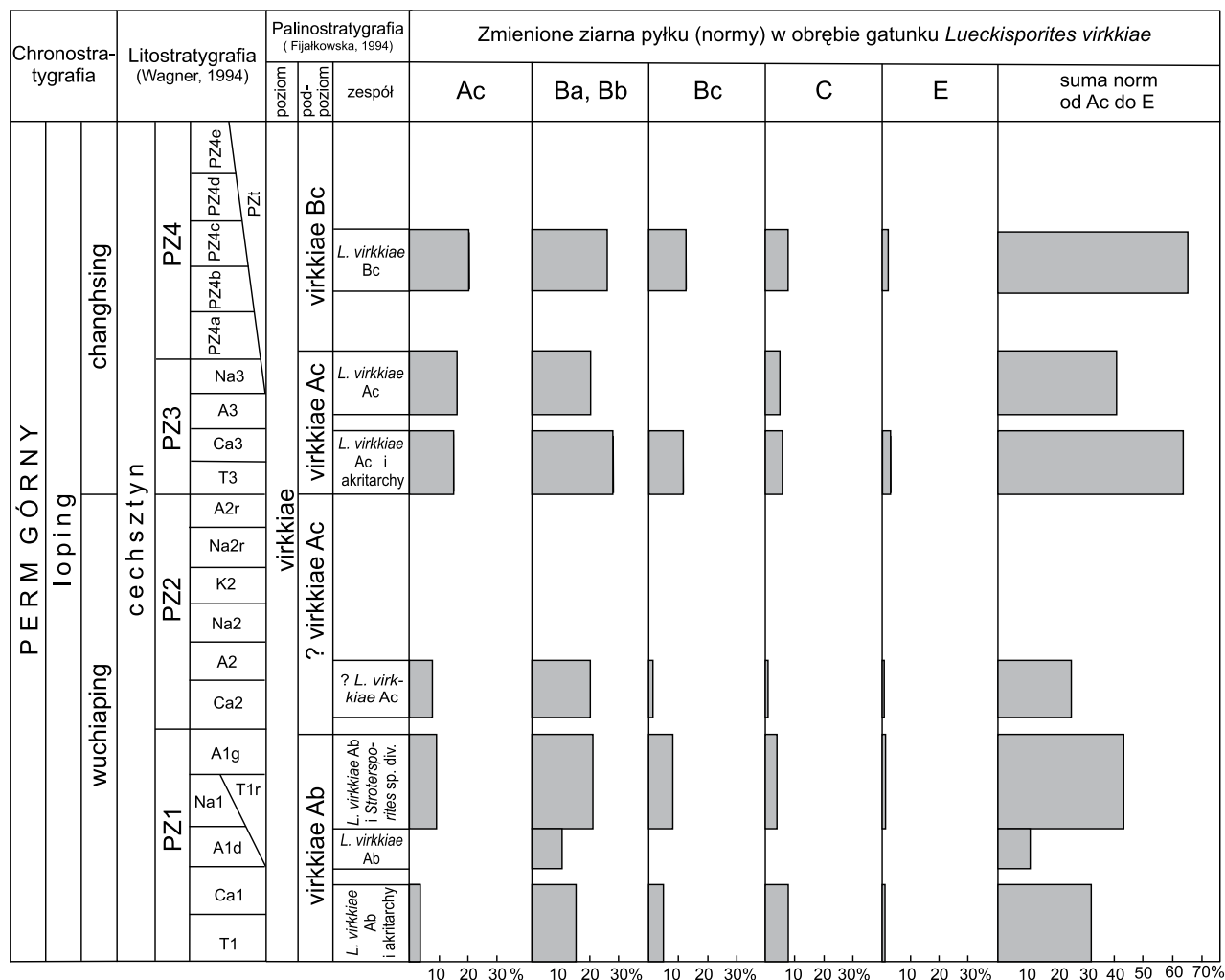


Fig. 3. Procentowy udział zmienionych ziaren pyłku w obrębie gatunku *Lueckisporites virkkiae* w zespołach miosporowych cechsztynu Polski

The percentage content of abnormal pollen grains of the *Lueckisporites virkkiae* species in the miospore assemblages of the Polish Zechstein

Innym przykładem gatunku zawierającego zmienione formy jest dwuworkowe ziarno pyłku *Jugasporites delasaucei*. Okazy niezmienione, tworzące normę A (tabl. I, fig. 9), charakteryzują się dwoma dużymi workami, okrągłym ciałkiem centralnym o cienkiej egzynie oraz obecnością trójramiennego znaku zrostowego o dłuższym, lekko falistym jednym ramieniu. Znak zrostowy leży w centrum okrągłej lub lekko owalnej arei – strefy, gdzie egzyna jest cieńsza, gładka. Formy zmienione, tworzące normę B, mają zmienną liczbę worków (od jednego do trzech, sporadycznie czterech), grubszą egzynę ciałka centralnego o słabo widocznej rzeźbie. Oprócz trójramiennego znaku zrostowego o prostych, krótkich ramionach równej długości może występować znak dilet lub monolet albo w ogóle brak znaku. Kształt arei może ulec wydłużeniu lub area zanika. Czasami występuje rąbek egzyny wokół ciałka centralnego (tabl. I, fig. 12).

Udział normy B w obrębie gatunku *J. delasaucei* wzrasta od około 10% w zespole I (*L. virkkiae* Ab i akritarchy) do ponad 50% w zespole VII (*L. virkkiae* Bc).

Kolejnym, zdaniem autorki, gatunkiem wyróżniającym się licznymi formami zmienionymi, jest dwuworkowe ziarno pyłku *Triadispora crassa* Klaus. Forma niezmieniona ma duże, okrągłe ciałko centralne z wyraźnym, trójramiennym znakiem zrostowym o krótkich, prostych ramionach i cienkiej, skrzyżowanej egzynie. Worki są mniejsze od ciałka centralnego, półokrągłe (tabl. I, fig. 10). Formy zmienione występują w literaturze pod innymi nazwami gatunkowymi, jak *Triadispora plicata* Klaus, różniąc się od *T. crassa* zgrubioną i pofałdowaną egzyną ciałka centralnego, czy *Triadispora visscheri* (Visscher) Fijałkowska o trzech workach (tabl. I, fig. 11).

Liczba okazów *T. plicata* i *T. visscheri* zwiększa się z kilku procent w zespole I (*L. virkkiae* Ab i akritarchy) do 10% w zespole VII (*L. virkkiae* Bc).

Sporadycznie w badanym materiale autorka spotykała trójwarkowe ziarna pyłku z rodzaju *Lunatisporites*.

W żadnym z analizowanych zespołów nie stwierdzono obecności spor z rodzajów *Lundbladispora* i *Densporites*.

DYSKUSJA

Obecność zmienionych ziaren pyłku znana jest z profili permu górnego (wuchiaping/changhsing) w Europie i północnych Chinach (tab. 2). Występowanie zmutowanych form na dość ograniczonym obszarze w stosunku do ogólnościowego rozprzestrzenienia rodzajów *Lueckisporites*, *Jugasporites*, *Klausipollenites* i *Alisporites* w późnym permie (por. Balme, 1970; Kremp i in., 1977; Foster, 1979, 1982; Jersey de, 1979; Utting, 1979; Hirsch, Weissbrod, 1988; Sivastava, Jha, 1990), a także charakter zmian prowadzących do zwiększenia liczby worków, pogrubienia egzyny ciała centralnego, zmniejszenia rozmiarów ziarna, zaniku apertury wskazują raczej na stres środowiskowy niż zmiany ewolucyjne czy procesy tafonomiczne (por. Traverse, 2008). Podobne zmiany we współczesnych ziarnach pyłku zachodzą na skutek oddziaływania niekorzystnych czynników, takich jak niskie temperatury, kwaśne deszcze, podwyższona zawartość CO₂ czy promieniowanie UV. Stosując zasadę aktualizmu, można przyjąć, że przyczyny mutacji późnopermskich ziaren pyłku były zbliżone. Spowodowały je katastroficzne zmiany

klimatu na znacznej części kontynentu Laurazji pod koniec permu, będące następstwem wzmożonej działalności wulkanicznej na obszarze dzisiejszej Syberii i południowych Chin. W wyniku tej działalności doszło do częściowego zniszczenia powłoki ozonowej i zwiększonego promieniowania UV, powodującego mutacje roślin (Visscher i in., 2004; Foster, Afonin, 2005; Beerling i in., 2007). Wzrosła także emisja CO₂ do atmosfery, doprowadzając do znacznego ochłodzenia, efekt tzw. zimy wulkanicznej (wuchiaping–changhsing), którego następstwem był spadek ilości CO₂ i szybkie ocieplenie (późny changhsing), prowadzące do tzw. efektu cieplarnianego we wczesnym triasie. Zmiany te doprowadziły do wielkiego kryzysu ekologicznego na granicy ery paleozoicznej i mezozoicznej (Visscher i in., 2004; Racki, Wignall, 2005; Wignall, 2005; McElwain, Punyasena, 2007; Krassilov, Karasev, 2009; Filipiak, Racki, 2010).

Potwierdzenie lub odrzucenie tego scenariusza w przypadku obszaru Polski wymaga dalszych badań, zwłaszcza izotopowych.

Tabela 2

Występowanie zmienionych ziaren pyłku w utworach górnego permu (wuchiaping/changhsing) poza obszarem Polski

Occurrence of abnormal pollen grains in the Upper Permian deposits (Wuchiapingian/Changhsingian) outside Poland

Kraj / region	Litostratygrafia	Autor
Niemcy / Nadrenia	cechsztyn, łupek miedzionośny	Potonié, Schweitzer, 1960; Grebe, Schweitzer, 1962; Visscher, 1971
Niemcy / Frankonia	cechsztyn	Visscher, 1971
Irlandia / Kingscourt	Kingscourt Gypsum Fm.	
Anglia / Westmoreland	Hilton Plant Beds	
Anglia / Durham	Marl Slate Beds	
Holandia / Maris	cechsztyn	
Włochy / Alpy S	Val Gardena Fm., „Bellerophon” Fm.	Foster, Afonin, 2005
Rosja / Wołogda	Nedubrovo Fm.	
Chiny / Dalangkou	Guodikeng Fm.	
Chiny / Lucaogou	Guodikeng Fm.	

WNIOSKI

1. Zaobserwowane zmiany w obrębie gatunków *L. virkkiae* i *J. delasauei* dotyczyły kształtu ziarna, liczby i kształtu worków powietrznych, pogrubienia egzyny ciała centralnego oraz zmiany lub zaniku znaku zrostowego.

2. Zasięg występowania zmienionych form w obrębie późnopermskiego gatunku *L. virkkiae*, nazywanych przez Visschera (1971) normami, na terenie Europy jest ograniczony w stosunku do ogólnościowego rozprzestrzenienia rodzaju *Lueckisporites*.

3. Powstanie zmutowanych ziaren pyłku *L. virkkiae* i *J. delasauei* jest odzwierciedleniem stresu środowiskowego, a nie zmian ewolucyjnych.

4. Stres środowiskowy był spowodowany zmianami klimatu o charakterze katastrofy ekologicznej (zwiększone promieniowanie UV), będącymi następstwem działalności wulkanicznej na obszarze dzisiejszej Syberii i południowych Chin.

5. Analizowane zespoły mikroflorystyczne zawierające zmienione ziarna są starsze w stosunku do zespołów ze zmutowanymi tetradami spor widłaków, opisywanych z wielu miejsc na świecie na granicy permu i triasu (por. Visscher i in., 2004).

LITERATURA

- BALME B.E., 1970 — Palynology of Permian and Triassic Strata in the Salt Range and Surghar Range, West Pakistan. *W: Stratigraphic boundary problems; Permian and Triassic of West Pakistan* (red. B. Kummel, C. Teichert). *Univ. Kansas Spec. Publ.*, **4**: 360–453.
- BEERLING D.J., HARFOOT M., LOMAX B., PYLE J.A., 2007 — The stability of the stratospheric ozone layer during the end-Permian eruption of the Siberian Traps. *Phil. Trans. R. Soc.*, **365**: 1843–1866.
- DYBOVA-JACHOWICZ S., CHŁOPEK K., 2003 — Palinostatygrafia. Perm. *W: Palinologia* (red. S. Dybova-Jachowicz, A. Sadowska): 120–133. Inst. Botaniki PAN, Kraków.
- DZYUBA O.F., 1998 — Paleocological reconstructions and quality angiosperm pollen grains in stressful environments. *Paleont. J.*, **32**: 97–101.
- FIJAŁKOWSKA A., 1994 — Palynological aspects of the Permian–Triassic succession in the Holy Cross Mountains, Poland. *Documenta Naturae*, **87**.
- FIJAŁKOWSKA A., 1995 — Palynostratigraphy of the Zechstein in the North Sudetic Trough. *Geol. Quart.*, **39**, 2: 207–228.
- FIJAŁKOWSKA-MADER A., 1997 — Correlation of the Zechstein microflora from Southern Poland. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **157**: 229–235.
- FIJAŁKOWSKA-MADER A., 2011 — Palinostatygrafia i palinofacje utworów cechsztynu w Polsce. VI Świętokrzyskie Spotkania Geologiczno-Geomorfologiczne „Rekonstrukcje środowisk depozycyjnych na podstawie badań sedimentologicznych, geochemicznych i stratygraficznych” (red. W. Trela, S. Salwa, A. Fijałkowska-Mader): 24–29. Ameliówka k. Kielc.
- FILIPIAK P., RACKI G., 2010 — Proliferation of abnormal palynoflora during the end-Devonian biotic crisis. *Geol. Quart.*, **54**, 1: 1–14.
- FOSTER C.B., 1979 — Permian plant microfossils from the Blair Athol Coal Measures, Baralaba Coal Measures and Basin Revan Formation of Queensland. *Geol. Surv. Queens. Publ.*, **374**, *Palaeont. Pap.*, 45: 3–244.
- FOSTER C.B., 1982 — Spore-pollen assemblages of the Bowen Basin, Queensland (Australia): Their relationship to the Permian/Triassic boundary. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **36**: 165–183.
- FOSTER C.B., AFONIN S.A., 2005 — Abnormal pollen grains: an outcome of deteriorating atmospheric conditions around the Permian–Triassic boundary. *J. Geol. Soc., London*, **122**: 253–259.
- GREBE H., SCHWEITZER H.J., 1962 — Die Sporae dispersae des niederrheinischen Zechstein. *Fortschr. Geol. Rheinland Westf.*, **12**: 201–224.
- HIRSCH F., WEISSBROD T., 1988 — The Permian–Triassic boundary in Israel. *Mem. Soc. Geol., Ital.*, **34**: 253–255.
- JERSEY de N.J., 1979 — Palynology of the Permian–Triassic transition in the Western Bowen Basin. *Publ. Geol. Surv. Queens.*, **374**: 3–148.
- KORMUT'ÁK A., 1996 — Development and variability of silver fir pollen in air-polluted and non-polluted habitats in Slovakia. *Forest Genetics*, **3**: 147–151.
- KORMUT'ÁK A., SALAJ J., VOODKOVÁ B., 1994 — Pollen variability and seed set of silver fir (*Abies alba* Mill.) in polluted areas of Slovakia. *Silvae Genetica*, **43**: 68–73.
- KRASSILOV V., KARASEV E., 2009 — Paleofloristic evidence of climate change near and beyond the Permian–Triassic boundary. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, **284**: 326–336.
- KREMP E.M., BALME B.E., HELBY R.J., KYLE R.A., PLAYFOTD T., PRICE P.L., 1977 — Carboniferous and Permian palynostratigraphy in Australia and Antarctica: a review. *BMR Journal Australian Geol. Geoph.*, **2**: 177–208.
- KUTZBACH J.E., ZIEGLER A.M., 1994 — Simulation of Late Permian climate and biomes with an atmosphere-ocean model – comparisons with observation. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **B 341**: 327–340.
- McELWAIN J.C., PUNYASENA S.W., 2007 — Mass extinction events and the plant fossil record. *TRENDS in Ecology and Evolution*, **22**: 548–557.
- ORŁOWSKA-ZWOLIŃSKA T., 1983 — Palinostatygrafia epikontynentalnych osadów wyższego triasu w Polsce. *Pr. Inst. Geol.*, **104**.
- OSTROLÚCKA M.G., BOLVANSKÚ M., KOKÁR F., 1995 — Vitality of pine pollen (*Pinus silvestris* L., *Pinus nigra* Arn.) on sites with different ecological conditions. *Biológia* (Bratislava), **50**: 47–51.
- POTONIÉ R., SCHWEITZER H.J., 1960 — Der Pollen von *Ullmania frumentaria*. *Paläont. Z.*, **34**: 27–39.
- RACKI G., WIGNALL P.B., 2005 — Late Permian double-phased mass extinction and volcanism: an oceanographic perspective. *W: Understanding Late Devonian and Permian–Triassic biotic and climatic events: towards an integrated approach over* (red. D.J., Morrow jr., P.B. Wignall). *Develop. Palaeont. Stratigr.*, **20**: 263–297.
- SHKARLET O.D., 1972 — Influence of industrial pollution of atmosphere and soil on the size of pollen grains of the Scots pine. *Ekologia*, **1**: 3–57.
- SIRENKO E.A., 2001 — Palynological data from studies of bottom sediments in water bodies of 30-km Chernobyl Zone. Proc. First Intern. Seminar. Pollen as indicator of environmental state and paleoecological reconstructions (red. M.D. Belonin, A.I. Kirichova): 189–190. VNIGRI, St. Petersburg.
- SIVASTAVA S.C., JHA N., 1990 — Permian–Triassic transition in Godavari Graben, Andhra Pradesh. Proc. Symp. Vistas in Indian palaeobotany (red. K.P. Jain, R.S. Tiwari). *Palaeobotanist*, **38**: 92–97.
- TEVINI M., 1993 — Effects of enhanced UV-B radiation on terrestrial plants. *W: UV-B radiation and ozone depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials* (red. M. Tevini): 125–153. Lewis, Boca Raton, FL.
- TRAVERSE A., 2008 — Paleopalynology. Springer Dordrecht.
- UTTING J., 1979 — Pollen and spore assemblages from the Upper Permian of the North Luangwa Valley, Zambia. IV Intern. Palynol. Conf., Lucknow (1976–77), **2**: 165–174.
- VISSCHER H., 1971 — The Permian and Triassic of the Kingscourt outlier, Ireland. *Geol. Surv. Ireland., Spec. Publ.*, **1**.
- VISSCHER H., 1972 — The Lueckisporites palynodems. Abstr. 7th Congr. Intern. Stratigr. Carbon., 1971. Comp. Rend., **1**: 355–358.
- VISSCHER H., LOOY C.V., COLLINSON M.E., BRINKHUIS H., van KONIJNENBURG -van CITTERT J.H.A., KÜRSCHNER W.M., SEPHTON M.A., 2004 — Environmental mutagene-

- sis during the end-Permian ecological crisis. *PNAS*, **101**, 35: 12952–12952.
- WAGNER R., 1994 — Stratygrafia osadów i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niziu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **156**.
- WIGNALL P.B., 2005 — The link between large igneous province eruptions and mass extinctions. *Elements*, **1**: 293–297.
- WILSON L.R., 1965 — Tetralogical forms in pollen of *Pinus flexilis* James. *J. Palynology*, **1**: 106–110.

SUMMARY

During the palynological investigation of the Upper Zechstein deposits of Poland (Figs. 1, 2; Tab. 1), the abnormal (aberrant) pollen grains of *Lueckisporites virkkiae*, the main element of the Late Permian microfloristic assemblages, were recorded. These forms were already described by Visscher (1971, 1972) as morphological norms originated due to evolutionary changes, and marked with the symbols from Aa to E (Plate I, Figs. 1–8). The mutation concerns such features as pollen shape, number and shape of the sacci, thickness and structure of the exine of the central body. The amount of abnormal pollen of *L. virkkiae* increased from circa 30% in the oldest I assemblage (*L. virkkiae* Ab and acritarchs) to 68% in the VII assemblage (*L. virkkiae* Bc) (Fig. 3). The next mutated species is *Jugasporites delasauei*, for which the changes manifested in the pollen grain shape, number of the sacci, a shape of the trilete mark and a shape of the area. Two norms, A and B (Plate I, Figs. 9, 12), were described by Visscher

(1971). The amount of *J. delasauei* NB increased from 10% in the I assemblage to 50% in the VII assemblage. The species *Triadispora crassa* (Plate I, Fig. 11) is characterized by numerous aberrant forms that were described as different taxa, for example – *Triadispora visscheri* (Plate I, Fig. 11) or *Triadispora plicata*. The number of mutated forms of the *Triadispora* increased from several percent in the I assemblage to 10% in the VII assemblage. Sporadically, the aberrant forms of *Lunatisporites* pollen with three sacci occurred in the material, whereas any spores of the *Lundbladispota* and *Densoisporites* genera were stated.

The occurrence of the mutated pollen grains in the Late Permian sections is known from Europe and northern China (Tab. 2). These forms reflected the environmental stress caused by the violent climatic changes connected with the intensive volcanic activity (e.g. Visscher *et al.*, 1994; Foster, Afonin, 2005).

TABLICA I

- Fig. 1. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NAa (Visscher, 1971)
Radwanów IG 1, głęb. 1630,0 m; wapień cechsztyński – Ca1
Radwanów IG 1 borehole, depth 1630.0 m; Zechstein Limestone – Ca1
- Fig. 2. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NAb (Visscher, 1971)
Podgace IG 1, głęb. 124,7 m; wapień cechsztyński – Ca1
Podgace IG 1 borehole, depth 124.7 m; Zechstein Limestone – Ca1
- Fig. 3. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NAc (Visscher, 1971)
Tumlin-Podgradzie IG 1, głęb. 303,4 m; dolomit główny – Ca2
Tumlin-Podgradzie IG 1 borehole, depth 303.4 m; Main Dolomite – Ca2
- Fig. 4. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NBa (Visscher, 1971)
Brzegi IG 1, głęb. 1639,0 m; terygeniczna seria recesywna – T1r
Brzegi IG 1 borehole, depth 1639.0 m; Recessive Terrigenous Series – T1r
- Fig. 5. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NBb (Visscher, 1971)
Radwanów IG 1, głęb. 1644,5 m; wapień cechsztyński – Ca1
Radwanów IG 1 borehole, depth 1644.5 m; Zechstein Limestone – Ca1
- Fig. 6. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NBc (Visscher, 1971)
Kościelna Wieś IG 1, głęb. 785,4 m; dolny anhydryt – A1d
Kościelna Wieś IG 1 borehole, depth 785.4 m; Lower Anhydrite – A1d
- Fig. 7. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NC (Visscher, 1971)
Czerwona Woda IG 1, głęb. 674,3–681,2 m; anhydryt podstawowy – A2
Czerwona Woda IG 1 borehole, depth 674.3–681.2 m; Basal Anhydrite – A2
- Fig. 8. *Lueckisporites virkkiae* Potonié et Klaus NE (Visscher, 1971)
Biała Wielka IG 1, głęb. 1322,0 m; stropowa seria terygeniczna – PZt
Biała Wielka IG 1 borehole, depth 1322.0 m; Top Terrigenous Series – PZt
- Fig. 9. *Jugasporites delasaucei* (Potonié et Klaus) Leschik NA (Visscher, 1971)
Brzegi IG 1, głęb. 1689,5 m; wapień cechsztyński – Ca1
Brzegi IG 1 borehole, depth 1689.5 m; Zechstein Limestone – Ca1
- Fig. 10. *Triadispora crassa* Klaus
Podgace IG 1, głęb. 124,7 m; wapień cechsztyński – Ca1
Podgace IG 1 borehole, depth 124.7 m; Zechstein Limestone – Ca1
- Fig. 11. *Triadispora visscheri* (Visscher) Fijałkowska
Radwanów IG 1, głęb. 1630,0 m; wapień cechsztyński – Ca1
Radwanów IG 1 borehole, depth 1630,0 m; Zechstein Limestone – Ca1
- Fig. 12. *Jugasporites delasaucei* (Potonié et Klaus) Leschik NB (Visscher, 1971)
Siodła IG 1, głęb. 183,2 m; stropowa seria terygeniczna – PZt
Siodła IG 1 borehole, depth 183.2 m; Top Terrigenous Series – PZt

Skala liniowa / scale bar: fig. 1–11 – 40 µm, fig. 12 – 20 µm

