

## Miotlaste i muszłowe struktury na ekstensyjnych powierzchniach spękań piaskowców środkowego turonu w Górach Stołowych, w Sudetach

Michał Paweł Mierzejewski<sup>1</sup>



**Plumose and conchoidal structures on the joint surfaces of the Middle Turonian sandstone of the Stołowe Mts., Sudetes (SW Poland).** *Prz. Geol.*, 60: 426–428.

*A b s t r a c t.* Newly discovered well preserved plumose and conchoidal structures on the large joint surfaces of sandstone in the Stołowe Mountains are interpreted in terms of tensile features. Multiple generations of the isochrones on the conchoidal surfaces suggest repeated propagation of the deformation front. Described tensile joint surfaces represent only one of several stages of deformation caused by stress relaxation of the Stołowe Mountains platform. It is assumed that main directions of tensile strain in the area were predisposed by the framework of dislocations and joints in the crystalline basement of the area (Jerzykiewicz et al., 1973). Three others solutions are also discussed.

**Keywords:** Stołowe Mts., tensional joints, conchoidal structures, plumose structures

Wybitną cechą górnokredowych piaskowców Gór Stołowych są wielkie, zbliżone do pionu powierzchnie spękań, przecinające się pod kątem zbliżonym do prostego.

Ta właściwość spowodowała, że oryginalna nazwa „Quadersandstein” tych piaskowców odnosiła się do wyżej wspomnianej cechy. Dwa kierunki są dominujące: NW–SE i NE–SW, z których ten pierwszy jest statystycznie bardziej skupiony, aniżeli ten drugi (Jerzykiewicz, 1968).

Ten prawie pionowy i prostopadły do siebie system spękań występuje zarówno w górnokredowych, jak i środkokredowych horyzontach piaskowców Gór Stołowych. Każdy z tych horyzontów tworzy wybitną morfologiczną skarpe. Te skarpy są oddzielone od siebie recesywnymi mułowcami węglanowymi. Systematycznym pomiarom były poddane spękania górnej skarpy piaskowców górnego turonu. Wydzielono tam dwa różne systemy spękań: (a) spękania prymarne, które tworzą system regionalny i (b) spękania sekundarne, wytworzone przez lokalną tektonikę. Niestety, nie doszukano się zrozumiałych przyczyn powstania regionalnych, prymarnych spękań, niemniej Jerzykiewicz (1968) zasugerował, że prymarny regionalny system jest starszy niż lokalna tektonika i jest wytworzony przez dużo bardziej powszechne pole sił (Jerzykiewicz, *op.cit.*).

Pięć lat później zasugerowano (Jerzykiewicz i in., 1973), że kierunki spękań w Górach Stołowych mogą być narzucone przez nieciągłości występujące w fundamencie. Ta sugestia zasadzała się na pewnych podobieństwach pomiędzy spękaniami piaskowców kredowych, paleozoicznych granitów i innych krystalicznych skał fundamentu.

Niestety, nie przeprowadzono systematycznych pomiarów powierzchni spękań w środkowo turońskich piaskowcach, które tworzą dolną skarpe Gór Stołowych, określanej jako „Skarpa Radkowa”. Obecna praca traktuje o muszłowych i miotlastych strukturach odkrytych na pewnych powierzchniach spękań piaskowców Skarpy Radkowa. Miejmy nadzieję, że publikacja ta spowoduje nowy impuls badań o zjawiskach dynamicznych i kinematycznych jakie doprowadziły do powstania systemu spękań Gór Stołowych.

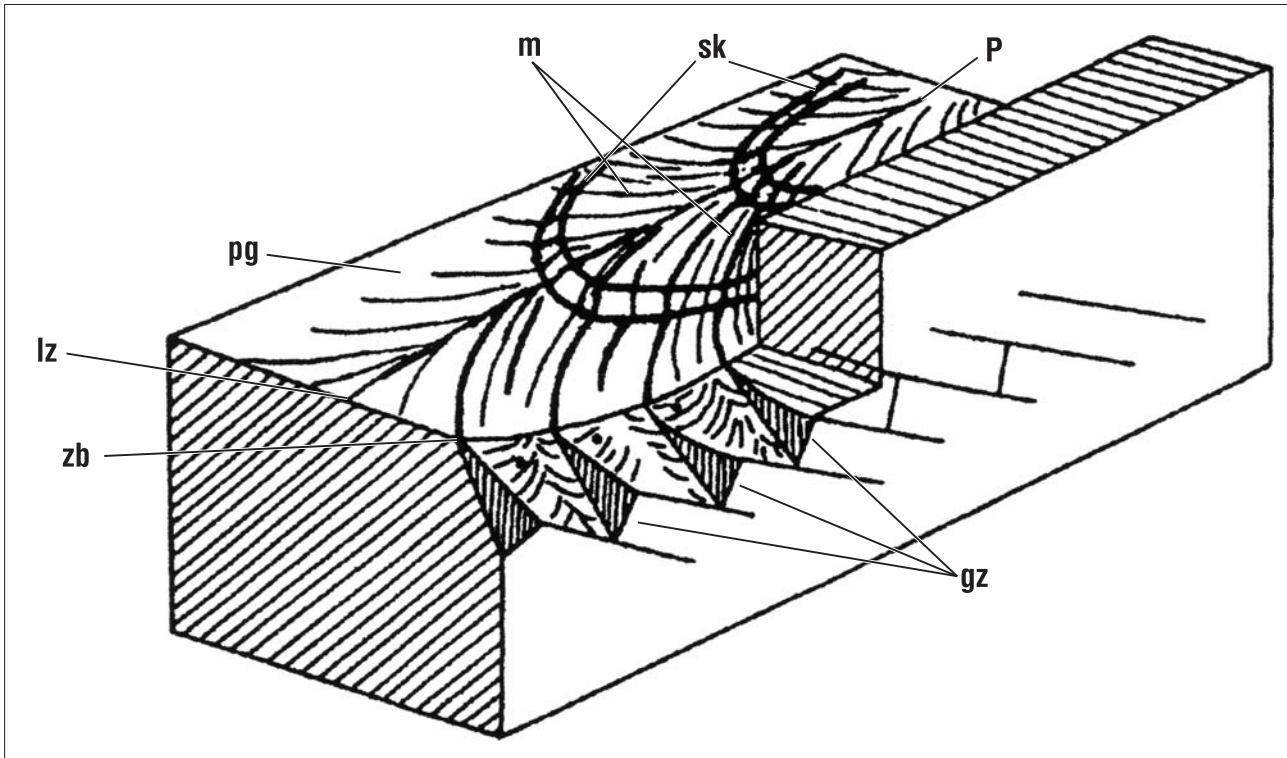
### OBSERWACJE

Obserwacje przedstawione w niniejszej pracy zostały poczynione w piaskowcach środkowego turonu ze skarpy Radkowa. Ogromne, liczące kilkanaście metrów kwadratowych powierzchnie spękań z w pełni rozwiniętymi i dobrze zachowanymi strukturami muszłowymi i nabrzmieniami miotlastymi (pióropuszami) znaleziono u podstawy skałki Pielgrzym, usytuowanej w punkcie o geograficznych koordynatach 50° 28' 019" N i 16° 24' 804" E. Typowe przykłady tych struktur przedstawiono na rycinach 1 i 2 (patrz str. 432). Najlepsze przykłady dobrze rozwiniętych izochron na strukturach muszłowych (konchoidalnych), jak i załamania brzeżne i gzymsy (kliny) brzeżne znaleziono również na skałce Pielgrzym. Podobne struktury, ale nie tak w pełni wykształcone, obserwowano także w innym miejscu w skarpie Radkowa. NW–SE przebieg tej skarpy ma genetyczne powiązanie z orientacją odprężenia.

Struktury podobne do tych opisanych powyżej są już znane na świecie od późnych lat XX wieku (patrz przegląd tego zagadnienia w pracy Pollarda i Aydina, 1988), ale pochodzenie tych struktur jest ciągle przedmiotem badań i dyskusji (np. Bahat i in., 2004; Bankwitz & Bankwitz, 2004). Przede wszystkim natura załamań i klinów brzeżnych jest niedostatecznie wytłumaczona. Inicjacja struktur powierzchniowych i pozycja punktu startowego, jak również rozwój lustra, są nadal przedmiotem dyskusji (patrz Laubach i in., 2004). Osiągnięto przynajmniej konsensus co do tego, że struktury powierzchni pokrytych urzeźbieniem konchoidalnym i nabrzmieniami miotlastymi (pióropuszami) muszą być wywołane tensją, a to dlatego, że ich wysoki relief byłby zniszczony, gdyby na nich odbywał się ruch przesuwczy wywołany stresem kompresyjnym

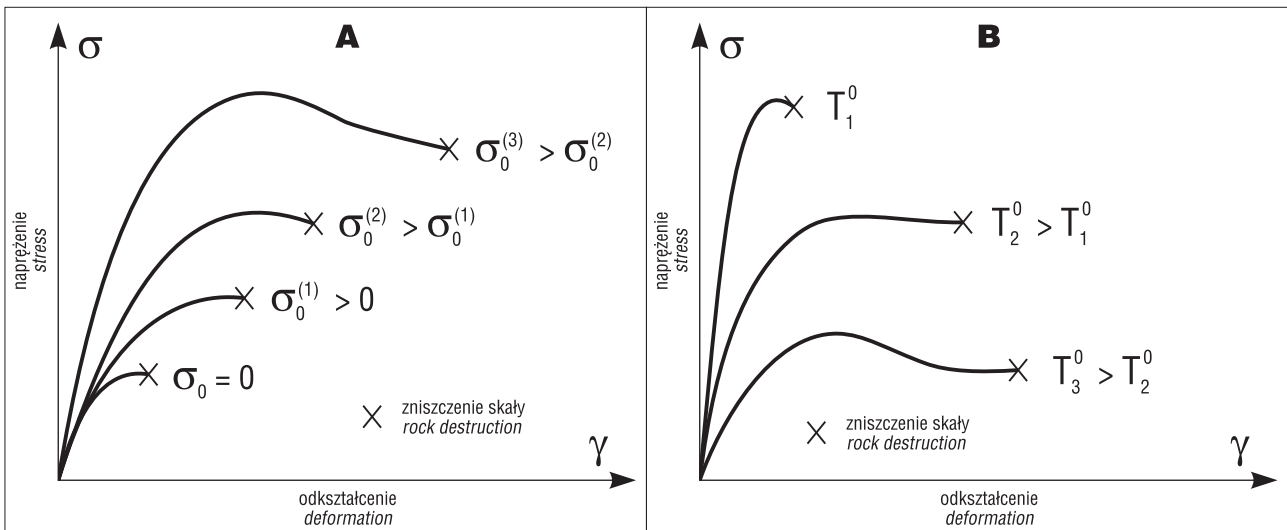
Odnosnie piaskowców Skarpy Radkowa relacje przestrzenne między strukturami na powierzchniach spękań pozwalają na rekonstrukcję lokalizacji punktów inicjalnych spękań i na określenie propagacji odkształcenia. Pozycja punktów, gdzie deformacja była inicjowana względem izochron na strukturach konchoidalnych (muszłowych), nabrzmień miotlastych oraz klinów brzeżnych niedwuznacznie sugeruje skierowaną ku dołowi propagację odprężenia na dwóch pionowych i prostopadłych

<sup>1</sup> Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław; jmier@wp.pl.



**Ryc. 3.** Klasyczne wykształcenie powierzchni spękania tensyjnego. pg – powierzchnia główna, p – punkt inicjalny i lustro, sk – struktury konchoidalne, tożsame z izochronami, m – nabrzmienia miotlaste (pióropusze), lz – linia zwierciadlana, zb – załamania brzeżne, gz – gzymsy (kliny) brzeżne. Według Mierzejewskiego, 1992, wzorowane na rysunkach Bankwitz'a (1965) i Suppe (1985)

**Fig. 3.** Classical structures of a tension crack surface. pg – main surface, p – initial point and mirror, sk – conchoidal structures identical to isochrons, m – plumose structures, lz – line of symmetry, zb – tilt of fringe cracks, gz – hackle raggedness (marginal wedges, cornices). After Mierzejewski, 1992, based on drawings by Bankwitz (1965) and Suppe (1985)



**Ryc. 4.** Wykresy zmian w typie deformacji skały. A – w zależności od wzrastającego ciśnienia otaczającego, B – w zależności od wzrastającej temperatury. Według Kisiela, 1973

**Fig. 4.** Plots of deformation changes in the rock. A – depending on increasing confining pressure, B – depending on increasing temperature. After Kisiel, 1973

do siebie powierzchniach spękań (ryc. 1 i 2 – patrz str. 432). Taka z góry w dół propagacja odprężenia jest typowa dla tensyjnych pęknięć generowanych przez trzęsienia ziemi, które to szczeliny są inicjowane na powierzchni ziemi i propagują się w dół.

Spękania, będące rezultatem trzęsień ziemi, są zazwyczaj ziejące blisko powierzchni Ziemi i zamykają się ku

dołowi. To zaciskanie się spękań tego typu w dół jest wywołane wzrostem wytrzymałości skały na przesuwający się ku dołowi stres. Ten wzrost wytrzymałości skały jest spowodowany wzrostem ciśnienia otaczającego (patrz ryc. 4, zaczerpnięta z pracy Kisiela, 1973).

Kolejne generacje izochron na powierzchniach konchoidalnych (ryc. 1 – patrz str. 432) mogą wskazywać na

kolejne propagacje frontu deformacji, odnoszącego się do głównego trzęsienia ziemi i późniejszych wstrząsów wtórnych.

Nie jest wykluczone, że opisane w tej pracy przykłady tensyjnego spękania reprezentują jedynie jeden z wielu etapów deformacji, będących przejawem relaksacji platformy Gór Stołowych i pęknięcia podczas trzęsienia ziemi. Również zdaje się być sensowne, że główne kierunki tensyjnego odprężania są predysponowane siecią dyslokacji i spękań, jakie istnieją w krystalicznym podłożu rozważanego obszaru (Jerzykiewicz i in., 1973). W celu lepszego udokumentowania powyższych uwag konieczne są dalsze systematyczne badania terenowe.

## DYSKUSJA

Zjawiska przedstawione powyżej można tłumaczyć w różnorodny sposób, a nie tylko jako ślady trzęsienia ziemi. Autor zaprosił do oglądu skały Pielgrzym profesora Petera Bankwita z Instytutu Fizyki Ziemi z Poczdamu (Institut für Physik der Erde), największego znawcę zjawisk spękania w Europie. Profesor Bankwitz nie podzielił przekonania autora, że w skałce Pielgrzym zaznaczyły się ślady trzęsienia ziemi. Zauważył on, że tutejsze spękania należą do typu niskoenergetycznego, o lokalnym zasięgu, co wyklucza trzęsienie ziemi. Supozycja prof. Bankwita wynikała prawdopodobnie z tego, że w skałce Pielgrzym widać bardzo rozbudowane pole zwierciadła (ryc. 2), które rozwija się w czasie bardzo powolnej, czyli niskoenergetycznej deformacji. Z drugiej strony należy przypomnieć, że trzęsienia ziemi mają bardzo szeroką skalę, od wykrywalnych tylko sejsmografami, aż do zjawisk katastrofalnych.

Inne tłumaczenie odnosi się do usytuowania skałki Pielgrzym na górnej, wypukłej krawędzi ogromnej skarpy Radkowa, liczącej dziesiątki metrów wysokości. Poniżej tej skarpy, przy drodze do wsi Pasterka, można obserwować wielometrowej średnicy bloki piaskowców, oberwane ze wspomnianej, cofającej się skarpy. Zjawiska widoczne na spękaniach Pielgrzyma mogły być zatem wynikiem gravitacyjnych ruchów masowych.

Wreszcie trzecie tłumaczenie jest dość skomplikowane. Mianowicie, przegląd zjawisk neotektonicznych w szerokim regionie prowadzi do wniosku, że między innymi Góry Stołowe znajduje się polu kompresji, o niewielkim natężeniu, gdzie główny wektor stresu jest zorientowany poziomo i przebiega NE–SW. W czasie zanikania tego nacisku mogą nastąpić zjawiska odprężeniowe, przejawiające się powstaniem spękań tensyjnych, takich jak to widzimy na skałce Pielgrzym. Wszystkie trzy wymienione powyżej działania mogą współdziałać ze sobą, trudno jednak zdecydować, które z tych tłumaczeń ma czy miało głos decydujący. Trzeba podkreślić, że przyjęcie hipotezy trzę-

sień ziemi tłumaczy rozwój powierzchni konchoidalnych z nabrzmieniami miotlastymi na dwóch prostopadłych do siebie i pionowych powierzchniach spękań.

Skałce Pielgrzym poświęcono tyle uwagi, ponieważ jest ona najpiękniejszym w Sudetach przykładem działania tensji i może być obiektem studenckich ćwiczeń terenowych z zakresu tektoniki, jak i zapewne będzie przedmiotem dalszych dyskusji.

Niniejsza praca była wsparta finansowo przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, grant 662R/2008/GR dla Instytutu Gleboznawstwa, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Składam podziękowania Tomaszowi Jerzykiewiczowi z Kanady za pomoc w redakcji tekstu. Specjalnie jestem zobowiązany profesorowi Peterowi Bankwitzowi i Jego żonie Elzie z Instytutu Fizyki Ziemi w Poczdamie, którzy mimo ograniczeń zdrowotnych przyjechali z Niemiec, by przedyskutować zaprezentowane im zjawiska spękania. Również wdzięczny jestem za wizytę w Górach Stołowych towarzyszącym im dr. Aleksandrowi Frischbutterowi z małżonką z GeoForschungsZentrum z Poczdamu. Doktor Frischbutter wslawił się zaawansowanymi technicznie i naukowo badaniami piaskowców Szwajcarii Saksońskiej.

Dziękuję Recenzentom za krytyczne uwagi.

## LITERATURA

- BANKWITZ P. 1965 – Ueber Klufte I. Beobachtung im Turingischen Schiefergebirge. *Geologie*, 14: 241–253.
- BANKWITZ P. & BANKWITZ E. 2004 – The relationship of tilt and twist of fringe cracks in granite pluton. [W:] Crosgrove J.W., Engelder T. (red.), *The initiation, Propagation and Arrest of Joints and Other Fractures*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 231: 183–208.
- BAHAD D., BANKWITZ P. & BANKWITZ E. 2004 – The index of hackle raggedness on joint fringes. From Crosgrove J.W., Engelder T., (red.). *The Initiation, Propagation and Arrest of Joints and Other Fractures*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 231: 103–116.
- JERZYKIEWICZ T. 1966 – New data about the Sedimentation in the Upper Cretaceous Sandstones of the Góry Stołowe (Middle Sudetes). *Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Géol. Géogr.*, 14 (1): 53–59.
- JERZYKIEWICZ T. 1966 – The sedimentary environment of Szczelnic sandstones. *Acta Geol. Pol.*, 16 (4): 413–443.
- JERZYKIEWICZ T. 1968 – Remarks on the origin and orientation of joints in the Upper Cretaceous rocks of the Intrasudetic Basin. *Geol. Sudetica*, 4: 465–478.
- JERZYKIEWICZ T., MIERZEJEWSKI M.P. & ŻELAŻNIEWICZ A. 1973 – Joint and fracture patterns in basement and sedimentary rocks in the Sudetes Mts. *Proc. of the First International Conf. of the New Basement Tectonics*. Utah Geol. Assoc. Publ., 5: 295–306.
- KISIEL I. 1973 – Reologia skał, podstawy naukowe. Ossolineum.
- LAUBACH S.E., LANDER R.H., BONELL L.M., OLSON J.E., REED R.M. 2004 – Opening histories of fractures in sandstone. [W:] Crosgrove J.W., Engelder T. (red.), *The initiation, Propagation and Arrest of Joints and Other Fractures*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 231: 1–9.
- MIERZEJEWSKI M. 1992 – Badania elementów tektoniki. *PIG. Instr. Met. Bad. Geol.*, 51: 143.
- SUPPE J. 1985 – *Principles of Structural Geology*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice–Hall.

Praca wpłynęła do redakcji 26.03.2013 r.  
Po recenzji akceptowano do druku 9.04.2015 r.



**Miotłaste i muszlowe struktury na ekstensyjnych powierzchniach spękań piaskowców środkowego turonu w Górach Stołowych, w Sudetach (patrz str. 426)**  
**Plumose and conchoidal structures on the joint surfaces of the Middle Turonian sandstone of the Stołowe Mts., Sudetes (SW Poland) (see p. 426)**



**Ryc. 1.** Dolne partie skałki Pielgrzym. Klasyczne struktury typowe dla spękań tensyjnych zlokalizowane są w masywnej odmianie piaskowców

**Fig. 1.** Lower parts of the Pielgrzym (Pilgrim) rock. Classical structures typical for tension cracks occur in a massive variety of sandstone



**Ryc. 2.** Fragment ryciny 1. Powierzchnia spękania z zwierciadłem (P), izochronami, strukturami konchoidalnymi (sk), miotłasty pióropusz rozchodzi się od góry do dołu (m)

**Fig. 2.** Part of Fig. 1. Crack surface with a mirror (P), isochrones, conchoidal structures (sk), The plumose structure spreads from the top downwards (m)