

## Wstępne dane o tropach stawonogów z furongu (górnego kambru) Wiśniówki Wielkiej (Góry Świętokrzyskie) i ich tafonomii

Grzegorz Sadlok<sup>1</sup>



**Arthropod tracks from the Furongian (Upper Cambrian) of the Wiśniówka Wielka (Holy Cross Mountains) and their taphonomy: a preliminary report.** Prz. Geol., 59: 82–90.

*Abstract.* Previous works on arthropod trace fossils from the Furongian (Upper Cambrian) section exposed at the Wiśniówka Wielka quarry (Holy Cross Mountains, Poland) focused on trilobite-made structures referred to as *Rusophycus polonicus* and *Cruziana semiplicata*. Arthropod trackways did not receive much attention. The present paper contains preliminary data on new records of arthropod trackways from the Furongian of the Wiśniówka Wielka section and on their taphonomy. The material studied comprises undetermined arthropod tracks and specimens belonging to three ichnogenera: ?Asaphoidichnus, Diplichnites and Petalichnus.

**Keywords:** Upper Cambrian, Furongian, Holy Cross Mts., trace fossils, trilobites, taphonomy

Rozległe odsłonięcie kamieniołomu *Wiśniówka Wielka* (*Duża*) w Górach Świętokrzyskich (ryc. 1A–B) jest jednym z ważniejszych na świecie stanowisk ichnoskamieniałości furongu (górnego kambru). Pierwsze wzmianki o występowaniu skamieniałości śladowych w tym stanowisku przedstawili Dżułyński i Żak (1960) oraz Radwański i Roniewicz (1960). W następnych latach przedmiotem zainteresowania badaczy były skamieniałości śladowe przypisywane działalności życiowej stawonogów, głównie trylobitów, takie jak: *Rusophycus polonicus* Orłowski, Radwański & Roniewicz, 1970 i *Cruziana semiplicata* Salter, 1854 (Radwański & Roniewicz, 1963, 1972; Orłowski i in., 1970, 1971; pełny przegląd literatury zob. Żylińska & Radwański, 2008; etologia *Cruziana* i *Rusophycus* zob. Jensen, 1997).

Tropy, zgodnie z klasyfikacją etologiczną, reprezentują ślady przemieszczania się organizmów, czyli repichnia (Frey & Pemberton, 1984; Bromley, 1990; Magwood, 1992). Tego typu skamieniałości śladowe stawonogów z górnego kambru Gór Świętokrzyskich były dotychczas rzadko wzmiankowane (np. okaz oznaczony jako *Diplichnites* isp. przez Dżułyńskiego i Żaka, 1960) i uznawane za sporadycznie występujące (Radwański & Roniewicz, 1963). Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wstępnych danych o nowych znaleziskach i tafonomii tropów stawonogów z utworów furongu Wiśniówki Wielkiej w Górach Świętokrzyskich.

### Geologia i stratygrafia

Odsłonięcie w Wiśniówce Wielkiej stanowi czynny kamieniołom silikoklastycznych utworów furongu. Występujące tu utwory to krzemionkowe piaskowce kwarcowe, mułowce i iłowce, które stanowią zapis sedimentacji szelfowej (Dżułyński & Żak, 1960; Radwański & Roniewicz, 1960; zob. również Jaworowski & Sikorska, 2006). Na podstawie badań trylobitów i akritarch stwierdzono, że utwory te reprezentują poziomy trylobitowe *Olenus scanicus* i *Parabolina brevispina* w podziale skandynawskim (Żylińska i in., 2006; por. Terfelt i in., 2008).

Utwory furongu z Wiśniówki Wielkiej są zróżnicowane facjalnie. W dolnej i środkowej części profilu odsłonię-

tego w kamieniołomie dominują gruboławicowe krzemionkowe piaskowce kwarcowe. Typowa miąższość ławic piaskowca w tej części profilu waha się wokół 50 cm. Spotyka się tu kontakty typu piaskowiec–piaskowiec. W górnej części profilu zwiększa się udział utworów mułowcowych. W całym profilu Wiśniówki występują heterolity piaskowcowo-mułowcowe z podrzędnymi wkładkami iltastymi. W osadach tych uwidacznia się laminacja falista. Na stropach warstw piaskowcowych w obrębie heterolitów występują symetryczne i asymetryczne riplemarki falowe, riplemarki przetworzone, nałożone oraz językowate (Dżułyński & Żak, 1960; Radwański & Roniewicz, 1960). To właśnie w tych utworach występują repichnia stawonogów.

W czasie prac terenowych prowadzonych w kamieniołomie *Wiśniówka Wielka* autor rozpoznał szereg struktur sedimentacyjnych występujących zarówno w piaskowcach w obrębie heterolitów (m.in. typu *sand chips*), jak i w piaskowcach gruboławicowych o kontaktach piaskowiec–piaskowiec. Struktury te mogą wskazywać na obecność mat mikrobialnych na dnie zbiornika sedimentacyjnego (Hagadorn & Bottjer, 1997; Bottjer & Hagadorn, 2007). Obecność takich mat ma znaczenie dla wyjaśnienia tafonomii omawianych skamieniałości śladowych. Struktury te zostaną opisane dokładnie w osobnej pracy. Ponieważ niniejsze opracowanie ma charakter wstępny, omówione zostaną repichnia stawonogów pochodzące tylko z czterech najdokładniej przebadanych stanowisk w obrębie kamieniołomu, które oznaczono jako: nr 1, 2, 3 i 4. Dwa z nich znajdują się na północno-wschodniej ścianie, bezpośrednio powyżej (nr 1; ryc. 1C) i poniżej (nr 2; ryc. 1C) głównej drogi kamieniołomu. Dwa kolejne stanowiska są zlokalizowane na ścianie południowo-zachodniej, powyżej poziomu drogi głównej (stanowiska nr 3 i 4; ryc. 1D).

### Materiał, terminologia i metodyka badań

Autor prowadził prace terenowe w odsłonięciu w Wiśniówce Wielkiej w latach 2008 i 2009. Zilustrowany materiał został zebrany wiosną i latem 2008 r. i jest przechowywany w Instytucie Paleobiologii Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (skatalogowany jako ZPAL Tf. 4).

<sup>1</sup>Instytut Paleobiologii, Polska Akademia Nauk, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa; gsadlok@twarda.pan.pl.

W niniejszej pracy jako trop (ang. *track*) określa się ślad pojedynczego odnoża, natomiast jako szlak tropów (ang. *trackway*) należy rozumieć zbiór tropów pozostawionych przez jednego osobnika. W obrębie szlaku tropów można niekiedy wyróżnić serie (ang. *series*). Pomiarów parametrów morfologicznych szlaków tropów i ich terminologia (ryc. 2) zostały oparte na pracach Trewina (1994), Braddy'ego (2001) oraz Mintera i in. (2007a). W przypadkach, w których odstępy pomiędzy zewnętrznymi i/lub wewnętrznymi krawędziami tropów zmieniały się w obrębie szlaku, wyniki pomiarów podano w postaci przedziału (EWmax/min i IWmax/min na ryc. 2). Terminologia opisująca sposób zachowania

się skamieniałości śladowych (ang. *toponomic classification*) oparta jest na klasycznej pracy Martinssona (1970).

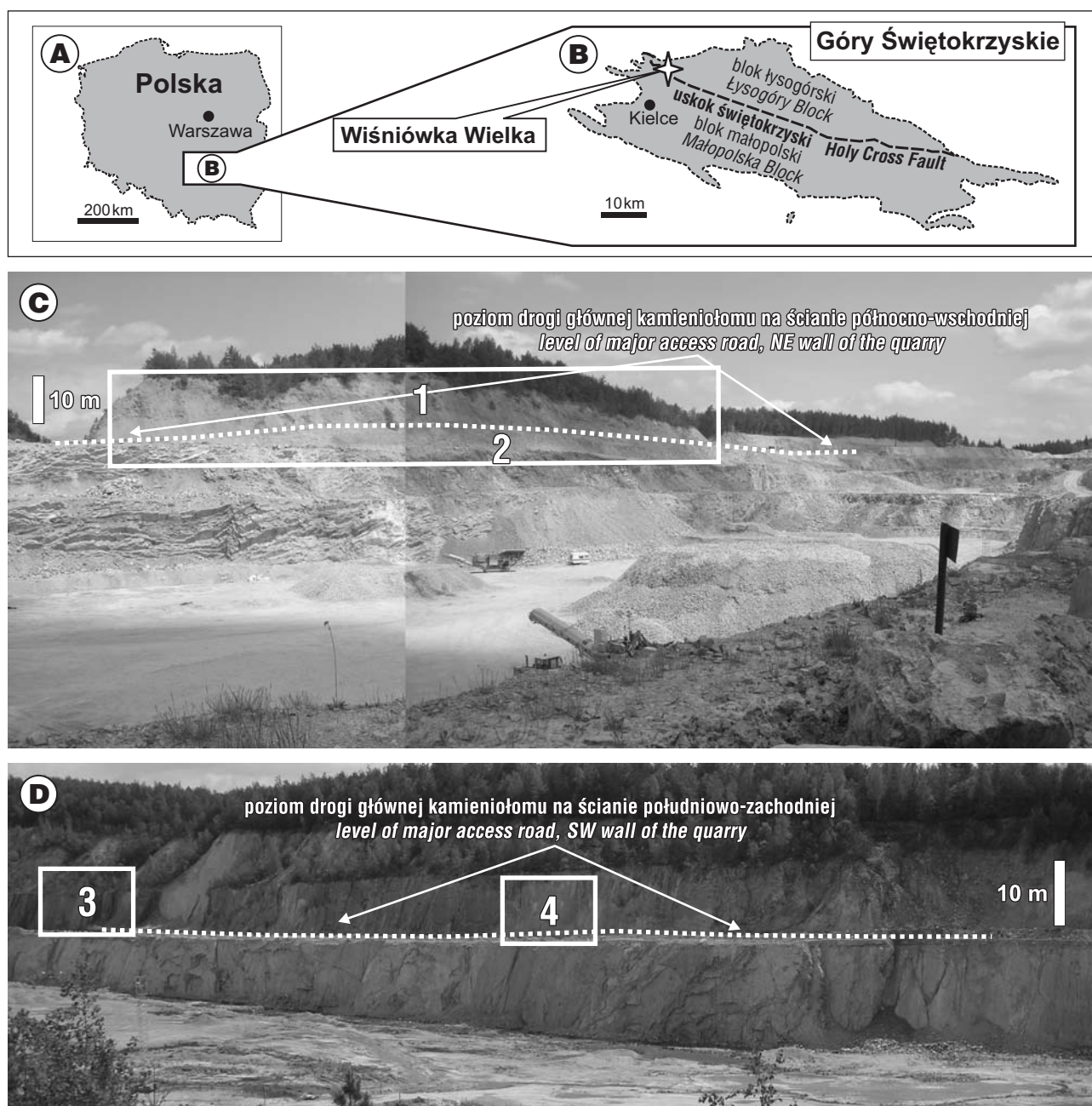
### Opis skamieniałości śladowych

?Tropy stawonoga

**Materiał:** okaz ZPAL Tf. 4/542 (ryc. 3A)

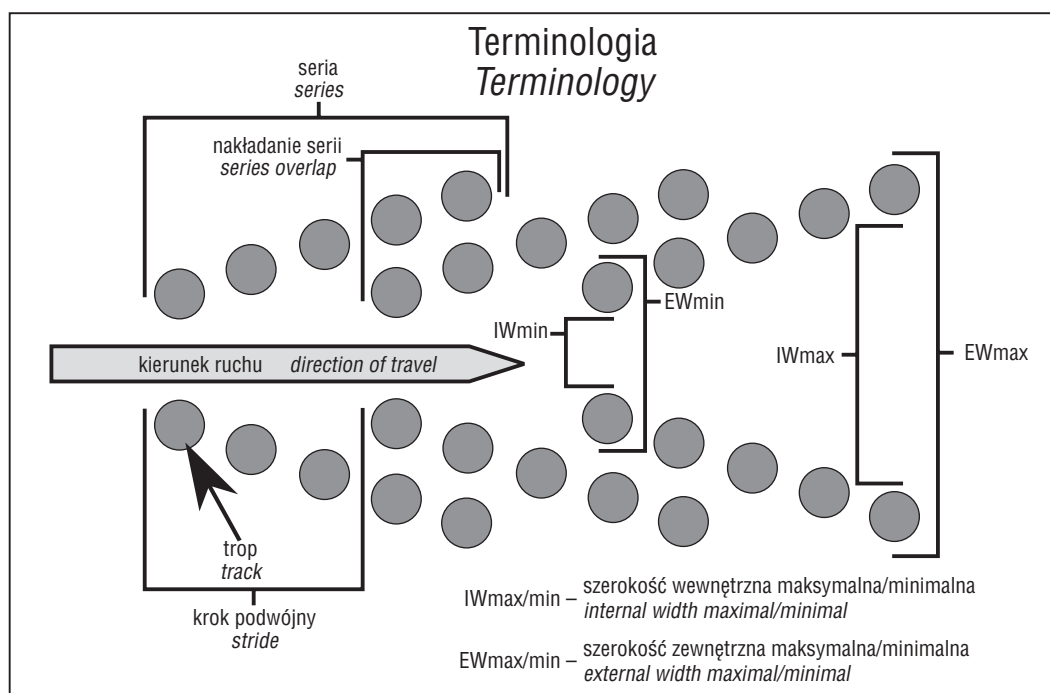
**Pochodzenie:** stanowisko nr 1

**Opis.** Rozpatrywana skamieniałość śladowa jest zachowana jako grzbieciki na dolnej powierzchni ławicy piaskowca (oznaczone na ryc. 3A jako I–IV), czyli reprezentuje



**Ryc. 1.** Lokalizacja terenu badań; **A** – lokalizacja Gór Świętokrzyskich na obszarze Polski; **B** – lokalizacja kamieniołomu *Wiśniówka Wielka* w Górach Świętokrzyskich (zaznaczono gwiazdką); **C** – fragment północno-wschodniej ściany z zaznaczonymi stanowiskami nr 1 i 2, stan w 2008 r.; **D** – fragment południowo-zachodniej ściany z zaznaczonymi stanowiskami nr 3 i 4, stan w 2008 r. (ryciny **A** i **B** wg Żylińskiej i in., 2006, zmodyfikowane)

**Fig. 1.** Location of the study area; **A** – location of the Holy Cross Mountains in Poland; **B** – location of the *Wiśniówka Wielka* quarry in the Holy Cross Mountains (marked with a star); **C** – part of the NE wall with sites no. 1 and 2, situation in 2008; **D** – part of the SW wall with sites no. 3 and 4, situation in 2008 (figs. **A** and **B** based on Żylińska et al., 2006, modified)



Ryc. 2. Zgeneralizowana terminologia używana do opisu badanych szlaków tropów stawonogów  
Fig. 2. Generalized terminology used in the description of arthropod trackways studies

wypukły hypichnion w klasyfikacji Martinssona (1970). W widoku z góry grzbieciki mają nieco łukowaty przebieg i są ostro zakończone na jednym końcu. Najdłuższy grzbiecik – III – ma 22 mm długości i jest jednocześnie najwyższy (4 mm). Najkrótszy i najniższy jest grzbiecik I – jego długość wynosi 13 mm, a wysokość 1,5 mm. Grzbieciki w widoku bocznym są asymetryczne, stoki zwrócone w kierunku grzbieciku I są bardziej położe.

**Dyskusja.** Każdy grzbiecik reprezentuje prawdopodobnie ślad pozostawiony przez pojedyncze odnoże kroczone stawonoga, dlatego można je zaklasyfikować jako tropy (por. Minter i in., 2007a). Zostały wytworzone przez odnoża tylko jednej strony ciała zwierzęcia. Na powierzchni z grzbiecikami zachowane są drobne (poniżej 1 mm grubości) mechanoglify, reprezentujące zapewne odlewy bruzd powstałych z wleczenia ziarn piasku po powierzchni dna. Opisywane grzbieciki są zorientowane diagonalnie w stosunku do przebiegu mechanoglifów prądowych, co sugeruje, że nie jest to skamieniałość śladowa typu *Monomorphichnus* Crimes, 1970 powstająca w wyniku przemieszczania stawonoga przez prąd wody (Crimes, 1970). Nie można jednak wykluczyć, że grzbieciki te są intersekcyjną formą zachowania (podtropem *sensu* Goldring & Seilacher, 1971) skamieniałości śladowych *Cruziana* lub *Rusophycus*, na co mogłaby wskazywać ich różna wielkość (por. Jensen, 1997).

**Ichnorodzaj:** ?*Asaphoidichnus* Miller, 1880

**Materiał:** okaz ZPAL Tf. 4/580 (ryc. 3B)

**Pochodzenie:** stanowisko nr 2

**Opis.** Szlak tropów zachowanych jako zagłębienia na górnej powierzchni warstwy piaskowca (wkłęsłe epichnia w terminologii Martinssona, 1970). Pojedyncze tropy są ograniczone po jednej stronie niewielkimi wyniesieniami osadu (strzałki na ryc. 3B). Tropy oznaczone jako I–IV na rycinie 3B tworzą linię, w której odległość między tropami

wynosi ok. 0,5 mm. Pozostałe trzy tropy (V–VII) nie są podobnie zorganizowane – nie leżą w linii prostej. W tropach oznaczonych jako I, II i IV, widoczne są trzy rozgałęzienia, w tropach III i VII – dwa, a tropy V i VI to pojedyncze zagłębienia.

**Dyskusja.** Rozgałęzienia obserwowane w tropach odpowiadają zapewne rozgałęzieniom terminalnych części odnoży ich twórcy. Zmienna liczba rozgałęzień (1–3) w tropach to cecha występująca u ichnorodzaju *Asaphoidichnus* (zob. Häntschel, 1975). Cecha ta zbliża rozpatrywaną skamieniałość śladową do tego ichnorodzaju. Okaz przypomina inne skamieniałości śladowe opisywane jako *Asaphoidichnus* (np. *Asaphoidichnus* u Dattilo, 2004). Zmienna liczba rozgałęzień w tropach może jednak wynikać z ich niekompletnego stanu zachowania. Kwestia ichnotaksonomicznej wartości *Asaphoidichnus* pozostaje otwarta (zob. Minter i in., 2007b).

**Ichnorodzaje:** *Diplichnites* Dawson, 1873

*Diplichnites* isp.

**Materiał:** okaz ZPAL Tf. 4/642 (ryc. 4C)

**Pochodzenie:** stanowisko nr 4

**Opis.** Szlak tropów zachowanych jako wgłębienia na górnej powierzchni warstwy piaskowca (wkłęsłe epichnia w terminologii Martinssona, 1970). Gdziekolwiek w pojedynczych tropach widoczne są pozostałości osadu nadległego – jasnego mułowca. Tropy mają kształt wydłużony w kierunku prostopadłym do osi szlaku tropów. Ich długość jest zmienna. Najdłuższy pojedynczy trop mierzy 24 mm, a najkrótszy 9 mm. Szerokość zewnętrzna całego szlaku tropów wynosi 31–48 mm, a wewnętrzna jest stała i liczy ok. 13 mm.

**Dyskusja.** Dżułyński i Żak (1960) jako pierwsi udokumentowali z furongu Wiśniówki Wielkiej ichnorodzaj

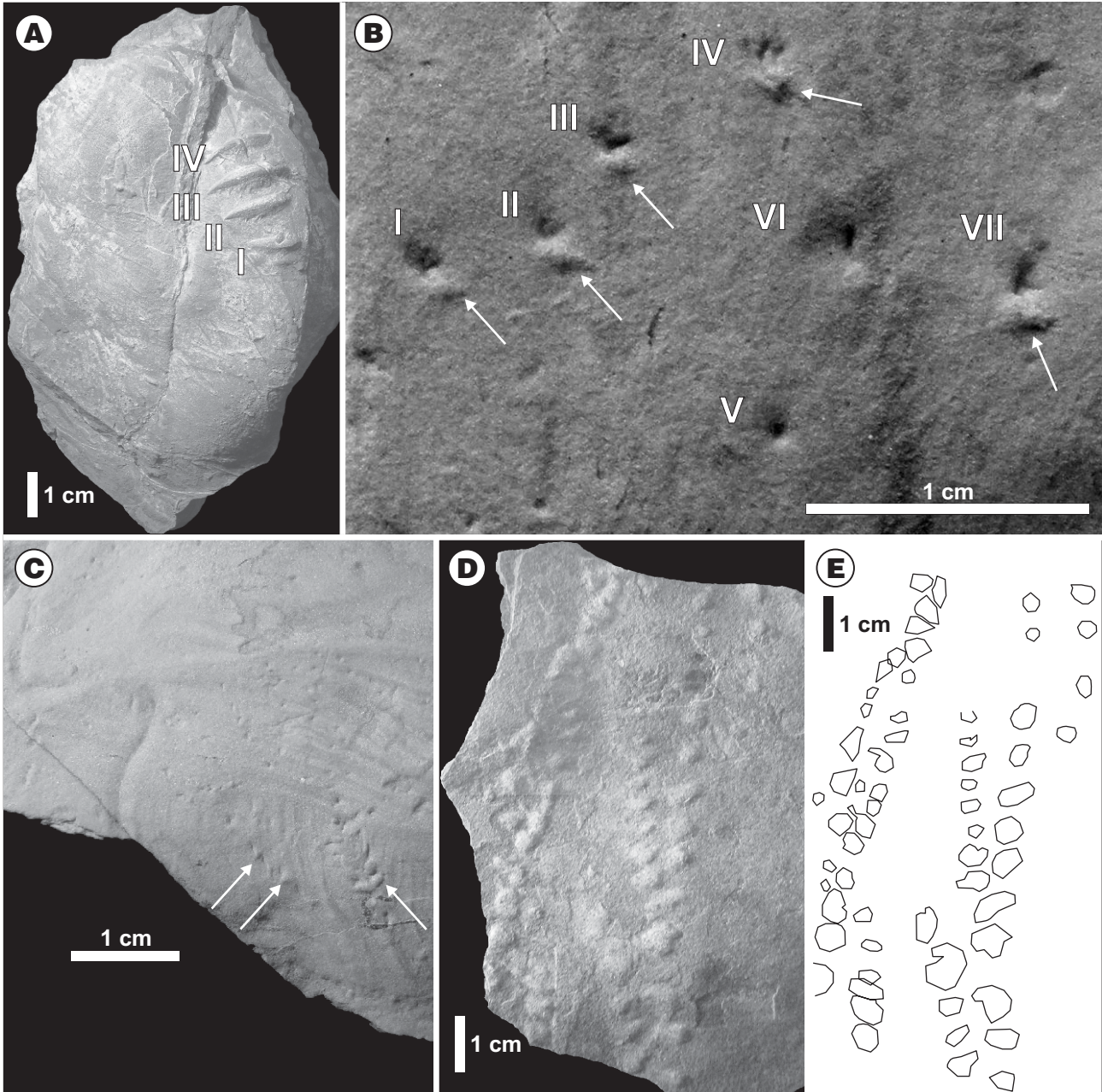
*Diplichnites* Dawson, 1873 (zob. również Orłowski, 1992). Do tego ichnorodzaju były przypisywane skrajnie różne morfologicznie szlaki tropów (zob. Briggs i in., 1979; Seilacher, 1955; por. rysunki na stronach 23 i 25 w pracy Seilachera, 2007 – obie formy, choć bardzo różne, nazwano tam *Diplichnites*). Kwestia ichnotaksonomii tego ichnorodzaju oraz jego stosunek do innych ichnotaksonów pochodzenia stawonogowego są niejasne i wymagają rewizji (zob. Minter i in., 2007b). Opisywane tropy są zaliczone do *Diplichnites* ze względu na obecność dwóch rzędów tro-

pów silnie wydłużonych w kierunku prostopadłym do osi całego śladu (Minter i in., 2007b, i prace tam cytowane).

**Ichnorodzaje:** *Petalichnus* Miller, 1880  
*Petalichnus* isp.

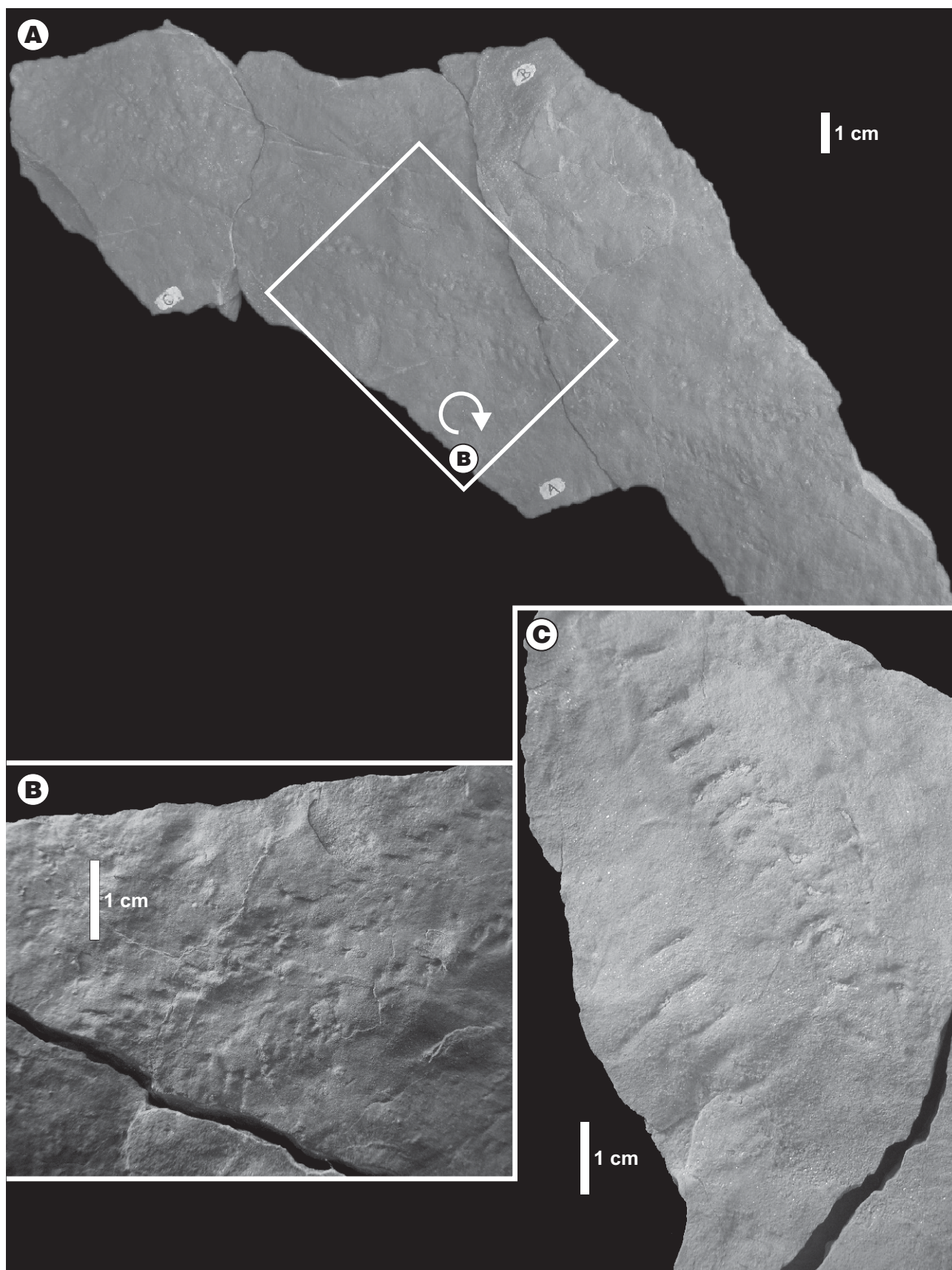
**Materiał:** trzy okazy: ZPAL Tf. 4/583 (ryc. 3C); ZPAL Tf. 4/643 (ryc. 4A–B); ZPAL Tf. 4/646–647 (jeden szlak tropów zachowany na powierzchni stropowej i spagowej mułowca; ryc. 3D–E)

**Pochodzenie:** stanowiska nr 2 i 3



**Ryc. 3.** Tropy stawonogów z furongu Wiśniówki Wielkiej; **A** – ?Tropy stawonoga, ZPAL Tf. 4/542: hypichnion ze stanowiska nr 1; **B** – ?*Asaphoidichnus* isp., ZPAL Tf. 4/580: epichnion ze stanowiska nr 2; tropy pokazują rozgałęzioną budowę odnóży krocznych twórcy, strzałki wskazują wyniesienia osadu stowarzyszone z tropami; **C** – *Petalichnus* isp., ZPAL Tf. 4/583: epichnion ze stanowiska nr 2; strzałki wskazują wyniesienia osadu stowarzyszone z tropami; **D** – *Petalichnus* isp., ZPAL Tf. 4/647: hypichnion ze stanowiska nr 3; **E** – rysunek z okazu ZPAL Tf. 4/647

**Fig. 3.** Furlongian arthropod tracks from Wiśniówka Wielka; **A** – ?Arthropod tracks, ZPAL Tf. 4/542: hypichnion from site no. 1; **B** – ?*Asaphoidichnus* isp., ZPAL Tf. 4/580: epichnion from site no. 2; tracks reveal the branched structure of the producer's appendages; arrows indicate elevations of sediment associated with tracks; **C** – *Petalichnus* isp., ZPAL Tf. 4/583: epichnion from site no. 2; arrows indicate elevations of sediment associated with tracks; **D** – *Petalichnus* isp., ZPAL Tf. 4/647: hypichnion from site no. 3; **E** – drawing of specimen ZPAL Tf. 4/647



**Ryc. 4.** Tropy stawonogów z furongu Wiśniówki Wielkiej; **A** – *Petalichnus* isp., ZPAL Tf. 4/643: epichnion ze stanowiska nr 3; **B** – zbliżenie centralnej części szlaku z ZPAL Tf. 4/643 (okaz odwrócony w celu wydobywania reliefu); **C** – *Diplichnites* isp., ZPAL Tf. 4/642: epichnion ze stanowiska nr 4

**Fig. 4.** Furongian arthropod trackways from Wiśniówka Wielka; **A** – *Petalichnus* isp., ZPAL Tf. 4/643: epichnion from site no. 3; **B** – magnified, central area of ZPAL Tf. 4/643 (specimen is rotated in order to obtain higher relief); **C** – *Diplichnites* isp., ZPAL Tf. 4/642: epichnion from site no. 4

**Opis.** Szlak tropów ZPAL Tf. 4/583 (ryc. 3C) pochodzi ze stanowiska nr 2. Tropy są zachowane jako zagłębienia na górnej powierzchni warstwy piaskowca (wklęsłe epichnia w ujęciu Martinssona, 1970). Pojedyncze tropy po jednej stronie ograniczone są niewielkimi wyniesieniami osadu (strzałki na ryc. 3C). Tropy w szlaku ułożone są w serie tworzące układ V-kształtny. Szerokość zewnętrzna szlaku tropów wynosi 4–12 mm. Różnica pomiędzy szerokością zewnętrzną i wewnętrzną – ze względu na niewielkie rozmiary pojedynczych tropów – jest mała (poniżej możliwości pomiarowych), dlatego szerokości wewnętrznej nie zmierzono. Poszczególne serie po prawej stronie szlaku są trudne do wyróżnienia, natomiast po stronie lewej są wyraźnie oddzielone i zorientowane skośnie do osi szlaku tropów. Obserwowana liczba tropów w serii jest zmienna i wynosi minimalnie cztery, a maksymalnie dziewięć tropów. Tropy tworzące ten okaz mają kształt prostych zagłębień lub są nieco wydłużone w kierunku równoległym do osi szlaku.

Szlak ZPAL Tf. 4/643 (ryc. 4A–B) tworzą tropy zachowane jako zagłębienia na górnej powierzchni laminy czarnego mułowca (wklęsłe epichnia w klasyfikacji Martinssona, 1970) w heterolicie piaskowcowo-mułowcowym o laminacji falistej ze stanowiska nr 3. Tropy w szlaku tworzą V-kształtne, symetryczne serie. Szerokość zewnętrzna szlaku wynosi 8–26 mm, wewnętrzna 4–14 mm. Tropy mają kształt od owalnego do wydłużonego. Wydłużenie tropów może być równoległe lub skośnie w stosunku do osi szlaku.

Szlak ZPAL Tf. 4/646–647 (ryc. 3D–E) tworzą tropy zachowane jako wklęsłe epichnia (ZPAL Tf. 4/646; niezilustrowany) i wypukłe hypichnia (ZPAL Tf. 4/647; ryc. 3D–E) na warstewkach czarnego mułowca z wyraźną, drobną laminacją falistą; okaz pochodzi ze stanowiska nr 3. Tropy w szlaku tworzą V-kształtny układ symetrycznych serii. Szerokość zewnętrzna szlaku tropów wynosi 13–33 mm, a wewnętrzna 7–22 mm. Tropy mają kształt owalny. Nakładanie się tropów należących do różnych serii zmienia kształt tropów i utrudnia określenie ich liczby w serii (ok. 10–12). Długość serii wynosi 76 mm, długość kroku podwójnego (ang. *stride*, zob. ryc. 2) – 30 mm, a odcinek nakładania się serii – 63 mm.

**Dyskusja.** W niektórych przypadkach udało się zaobserwować wyniosłości osadu stowarzyszone z tropami epichnialnymi (ryc. 3B–C). Są to prawdopodobnie struktury wyciskowe wskazujące zwrot przemieszczania się jego twórcy. Zgodnie z tą interpretacją wyniosłości te występują przy tylnej krawędzi tropów. Obecność V-kształtnych serii jest cechą charakterystyczną ichnorodzaju *Petalichnus* Miller, 1880 (Rindsberg, 1994).

### Twórcy tropów

Znakomita większość skamieniałości śladowych przypisywanych stawonogom i występujących w utworach górnego kambru Wiśniówki Wielkiej jest interpretowana jako zapis aktywności życiowej trylobitów (Dżułyński & Żak, 1960; Radwański & Roniewicz, 1960, 1963, 1972; Orłowski i in., 1970, 1971; Orłowski, 1992). Wyjątek stanowi problematyczny okaz interpretowany jako ślad spoczynku stawonoga zbliżonego do aglaspidów (*Aglaspidichnus* u Radwańskiego i Roniewicza, 1967). Na ostatnim członie odnóży trylobity posiadały pazurki nadające tej części rozgałęzioną budowę (Whittington, 1959; Crimes, 1970; Zonneveld i in., 2002; Seilacher, 2007). Okaz opisany w tej

pracy jako *Asaphoidichnus* (ryc. 3B) wykazuje obecność rozgałęzień w tropach. Cecha ta pozwala na łączenie jego twórców z trylobitami. Morfologia okazu zilustrowanego na rycinie 3A wskazuje jednak na prostą, a nie rozgałęzioną budowę terminalnych części odnóży. Dlatego okaz ten stanowi drugą, oprócz okazu *Aglaspidichnus* opisanego przez Radwańskiego i Roniewicza (1967), przesłankę ichnologiczną na rzecz występowania nietrylobitowej fauny stawonogowej w środowisku sedymentacji utworów fu-rongu Wiśniówki Wielkiej.

Ichnorodzaj *Petalichnus* reprezentuje typ morfologiczny szlaku tropów, który jest przypisywany działalności życiowej trylobitów, choć uważa się, że i inne stawonogi mogły być odpowiedzialne za jego powstanie (zob. Häntzschel, 1975, i prace tam cytowane; Rindsberg, 1994; Erdoğan i in., 2004). Whittington (1980) na podstawie badań środkowokambryjskiego trylobita *Olenoides serratus* (Whittington, 1975) doszedł jednak do wniosku, że postawa, którą musiałyby przybierać trylobity, aby wytworzyć V-kształtny układ tropów w szlaku (np. na okazie oznaczonym jako *Diplichnites* u Seilachera, 1955, fig. 1a–f), byłaby niestabilna. Zdaniem Whittingtona (1980) mechanizm tworzenia takich szlaków i stanowisko systematyczne ich twórców pozostają niewyjaśnione.

### Tafonomia

Problem tafonomii skamieniałości śladowych w odniesieniu do nor z górnego kambru Wiśniówki Wielkiej został wstępnie zarysowany przez Porosa (2007). Tafonomia tropów stawonogów z tego stanowiska nie była do tej pory badana. Zagadnienie to obejmuje szereg procesów, które działają na tropy zarówno w momencie ich powstawania, jak i po ich utworzeniu (Minter i in., 2007a). W analizie tafonomicznej badanych skamieniałości śladowych autor zwrócił uwagę na dwa zagadnienia:

- mechanizm powstawania tropów, a w tym rozstrzygnięcie, czy są one strukturami pre- czy postdepozycyjnymi;
- mechanizm zachowania tropów, a więc rozstrzygnięcie, jaki czynnik zdecydował o ich utrwaleniu i czytelności w zapisie kopalnym.

**Mechanizm powstawania tropów.** Tropy predepozycyjne to tropy, które powstały na powierzchni, po której organizm się przemieszczał. Tropy postdepozycyjne to tzw. podtropy, czyli struktury biogeniczne zachowane nie na aktywnej powierzchni sedymentacyjnej, lecz poniżej, na pogrzebanych już powierzchniach granicznych pomiędzy warstwami o odmiennej litologii (Goldring & Seilacher, 1971; Seilacher, 2008). Tropy postdepozycyjne mają znacznie wyższy potencjał fosylizacyjny niż tropy predepozycyjne. Te drugie, powstające na aktywnej powierzchni sedymentacyjnej, są wystawione na działanie prądów wody, dlatego łatwo mogą ulec zatarciu.

**Tropy predepozycyjne.** Do tej kategorii, ze względu na zły stan zachowania pojedynczych tropów, zaliczyć można tropy zilustrowane na rycinie 4A–B, których czytelność jest dużo mniejsza niż drobnych form epichnialnych zinterpretowanych poniżej jako tropy postdepozycyjne. Okaz przedstawiony na rycinie 3D–E również posiada słabo zachowane tropy, co może wskazywać na jego predepozycyjną genezę. Ten szlak tropów występuje na dwóch płytach (epichnion i hypichnion) laminowanego mułowca.

Drobne uziarnienie osadu wskazuje na spokojne warunki hydrodynamiczne, a zatem tropy wytworzone na powierzchni kohezyjnego osadu mułowcowego nie były narażone na działanie silnych prądów wodnych prowadzących do ich zniszczenia. W rozważaniu problematyki tafonomicznej tropów stawonogów z utworów furongu Wiśniówki Wielkiej należy również brać pod uwagę rolę procesów mikrobialnych, które związane są z obecnością epibentonicznych zespołów organizmów jednokomórkowych. Na obecność takich zespołów wskazują zidentyfikowane przez autora w kamieniołomie *Wiśniówka Wielka* struktury sedimentacyjne (zob. rozdział Geologia i stratygrafia). Brak zachowanych detali anatomicznych sugeruje, że tropy mogły jednak zostać poddane działalności jakiegoś degradującego czynnika tafonomicznego. Niedawno Marty i in. (2009) przeprowadzili badania nad wpływem mat mikrobialnych na zachowanie się tropów. Z ich badań wynika, że jeśli po utworzeniu tropu mata mikrobialna (biofilm) nie przestaje wzrastać, to jej dalszy rozwój prowadzi do zatarcia krawędzi tropu i zmniejszenia jego czytelności. Czynniki ten mógł wpłynąć na stan zachowania omawianych tropów.

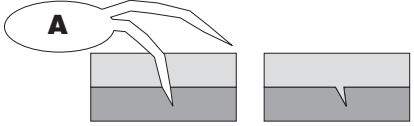
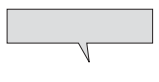

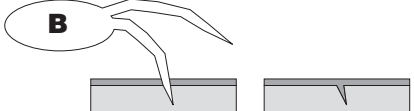


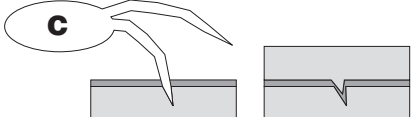


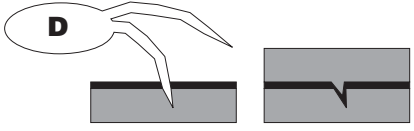

**Tropy postdepozycyjne.** Część z opisanych tu skamieniałości śladowych (ryc. 3B–C) to prawdopodobnie bardzo płytkie podtropy zachowane pod cienką warstwą osadu o frakcji mułowej lub iłowej (por. Seilacher, 2008). Wskazują na to dwie przesłanki:

- niewielkie rozmiary struktur – małe organizmy podczas kroczenia mogą penetrować i modyfikować osad tylko do pewnej głębokości, proporcjonalnej do ich wielkości;
- dobrze zachowane szczegóły tropu – płytkie podtropy powstałe bardzo blisko eksponowanej powierzch-

ni sedimentacyjnej charakteryzują się często lepszym zachowaniem detali niż tropy utrwalone na powierzchni, po której organizm się przemieszczał (Goldring & Seilacher, 1971).

Okaz określony jako ?Tropy stawonoga zachowany na spągu warstwy piaskowca (ryc. 3A, 5A) to prawdopodobnie podtropy zachowane na granicy piasek–muł. Ich rozmiary mogą świadczyć, że pozostawił je organizm, którego odnóża penetrowały osad przez nieco grubszą warstwę osadu nadległego (tutaj piasku) niż w przypadku tropów oznaczonych jako B i C na rycinie 3. Podobnie *Diplichnites* z ryciny 4C jest prawdopodobnie podtremem, co sugeruje zmienna długość tropów.

**Mechanizm zachowania tropów.** Głównym czynnikiem decydującym o zachowaniu tropów w zapisie kopalnym jest obecność powierzchni nieciągłości w osadzie wynikająca z przerw w sedimentacji (Minter i in., 2007a). Są to najczęściej przyszłe powierzchnie rozdzielności, wzdłuż których nastąpi później rozwarstwienie osadu umożliwiające obserwację tropów zachowanych na powierzchniach warstw i lamin. Istnieje szereg możliwych przyczyn prowadzących do pojawienia się nieciągłości w obrębie osadu. Jednak tylko dwie z nich mogą sprzyjać zachowaniu się tropów stawonogów (Seilacher, 2008). Pierwszą i najczęściej spotykaną jest obecność kontrastu litologicznego między warstwami. Z taką sytuacją mamy często do czynienia w przypadku tempestatów (Jensen i in., 2005), co odpowiada interpretacji genezy osadów z Wiśniówki Wielkiej (Dżułyński & Żak, 1960; Radwański & Roniewicz, 1960). Gdy całkowicie brak kontrastu litologicznego, powierzchnia nieciągłości z zachowanymi tropami może powstać na skutek obecności biofilmu (Seilacher, 2008; ryc. 5D w tej pracy).

Osad niezlityfikowany <i>Non-lithified sediment</i>	Osad zlityfikowany <i>Lithified sediment</i>	Znaczenie kolorów <i>Meaning of colors</i>
		 piasek/piaskowiec sand/sandstone
		 muł/mułowiec mud/mudstone
		 biofilm biofilm
		

**Ryc. 5.** Scenariusze tafonomiczne zachowania się tropów stawonogów z furongu Wiśniówki Wielkiej; **A** – wypukłe hypichnia na piaskowcu; **B** – wklęsłe epichnia na piaskowcu; tropy początkowo mogły być przykryte cienką warstwą mułu lub łu, która zabezpieczała je przed erozją; **C** – wklęsłe epichnia na cienkiej laminie mułowca; **D** – wklęsłe epichnia i wypukłe hypichnia na powierzchni granicznej pomiędzy dwiema warstwami mułowca

**Fig. 5.** Taphonomic scenarios of the preservation of the arthropod tracks from the Furongian of Wiśniówka Wielka; **A** – positive hypichnia in sandstone; **B** – negative epichnia in sandstone, tracks could be initially covered with thin lamina of mud or clay preventing their erosion; **C** – negative epichnia in thin lamina of mudstone; **D** – negative epichnia and positive hypichnia between two laminae of mudstone

**Kontrast litologiczny.** W sytuacji typowej, kiedy kontaktują się dwie warstwy o odmiennej litologii, jedna z nich pełni funkcję „formy” (pozytywu), zaś druga „odlew” (negatywu, ryc. 5A). Przykładem takiego sposobu utrwalenia jest okaz zilustrowany na rycinie 3A. Obecność kontrastu litologicznego mogła również odegrać rolę w zachowaniu drobnych tropów epichnialnych z ryciny 3B–C. Zachowanie takich struktur było prawdopodobnie możliwe dzięki obecności nadległej, cienkiej warstwy mułowej (ilastej; ryc. 5B), osadzonej przed aktywnością twórcy tropu. Warstewka ta chroniłaby przed erozją tropy utrwalone tuż poniżej, na stropie piaskowca (Jensen i in., 2005). Przykład zachowania tropów dzięki obecności kontrastu litologicznego stanowi również układ, gdzie dwie warstwy jednolite litologicznie rozdzielone są cienką laminą osadu drobniejszego (ryc. 5C). Taka sytuacja może zachodzić np. w obrębie osadów wykazujących laminację falistą, gdzie laminy piaskowcowe rozdzielone są cienkimi laminami mułowcowymi. Od typowego zachowania się tropów na powierzchniach warstw o różnej litologii przykład ten różni się mechanizmem, który do ich zachowania doprowadził. W omawianym przypadku cienka lamina mułu rozdzielająca laminy piaskowe uniemożliwiła amalgamację osadu piaszczystego i prawdopodobnie zwiększyła jego kohezynność, co ułatwiło zachowanie się tropów. Taki „film mułowy” przypomina spełnianą funkcją biofilm (por. Seilacher, 2008). Okaz przedstawiony na rycinie 4A–B jest przykładem tak zachowanego tropu.

**Biofilm.** Obecność biofilmu w obrębie osadu zwiększa jego kohezynność i wytrzymałość na erozję (Gerdes, 2007) i jest uważana za czynnik sprzyjający zachowaniu się tropów (Machalski & Machalska, 1994; Seilacher, 2008). Tropy zachowane w obrębie cienko laminowanego osadu mułowcowego reprezentują prawdopodobnie taki właśnie przykład zachowania, w którym brak kontrastu litologicznego był równoważony obecnością biofilmu, który przeciwdziałał amalgamacji osadu (ryc. 5D).

### Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań terenowych wynika, że tropy stawonogów są powszechne w utworach furongu (górnego kambru) Wiśniówki Wielkiej. Zidentyfikowane w niniejszej pracy tropy to *?Asaphoidichnus* isp., *Diplichnites* isp. i *Petalichnus* isp. Stwierdzono również okaz określony jako *?Tropy stawonoga*. Wystąpienia skamieniałości śladowych różnią się pod względem miejsca zachowania (formy epichnialne i hypichnialne), stopnia zachowania szczegółów morfologicznych, mechanizmów tworzenia tropów (pre- i postdepozycyjne) oraz mechanizmów ich utrwalenia w zapisie kopalnym. W przypadku większości opisanych skamieniałości śladowych (ryc. 3A–C i 4A–C) wydaje się, że głównym czynnikiem, który zdecydował o ich czytelności w zapisie kopalnym, jest kontrast litologiczny (ryc. 5A–C). W zachowaniu tropów na powierzchniach pomiędzy warstwami o jednakowej litologii (ryc. 3D–E) mógł brać udział film mikrobialny (ryc. 5D).

### Podziękowania

Dziękuję doc. dr. hab. Marcinowi Machalskiemu z Instytutu Paleobiologii PAN w Warszawie za wprowadzenie w problematykę badawczą, udostępnienie swojej kolekcji skamieniałości śladowych z Wiśniówki Wielkiej oraz konstruktywne uwagi i

dyskusje. Dziękuję dr. Sylwestrowi Salwie z Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Kielcach za nakreślenie problematyki zaburzeń tektonicznych w Wiśniówce Wielkiej podczas wspólnej wyprawy terenowej. Bardzo dziękuję dr. Jolancie Paczeńskiej z PIG-PIB w Warszawie oraz Anonimowemu Recenzentowi za krytyczne, ale konstruktywne uwagi i cenne wskazówki. Składam także serdeczne podziękowania na ręce dyrekcji i pracowników Kieleckich Kopalń Kwartytów w Wiśniówce za umożliwienie wstępu na teren wyrobiska *Wiśniówka Wielka*. Badania były finansowane ze środków Instytutu Paleobiologii Polskiej Akademii Nauk.

### Literatura

- BOTTJER D. & HAGADORN J. 2007 – Mat growth features. [W:] Schieber J., Bose P.K., Ericksson P.G., Banerjee S., Sarkar S., Altermann W. & Catuneanu O. (red.) Atlas of microbial mat features preserved within the clastic rock record. Elsevier, Amsterdam: 53–71.
- BRADY S.J. 2001 – Trackways – arthropod locomotion. [W:] Briggs D.E.G. & Crowther P.R. (red.) Palaeobiology II. Blackwell Publishing: 389–393.
- BRIGGS D.E.G., ROLFE W.D.I. & BRANNAN J. 1979 – A giant myriapod trail from the Namurian of Arran, Scotland. *Palaeontology*, 22: 273–291.
- BROMLEY R.G. 1990 – Trace Fossils. Biology and Taphonomy. Special Topics in Palaeontology Series. Unwin Hyman, London.
- CRIMES T. 1970 – Trilobite tracks and other trace fossils from the Upper Cambrian of North Wales. *Geol. Journ.*, 7: 47–68.
- DATTILO B. 2004 – A new angle on Strophomenid paleoecology: trace-fossil evidence of an escape response for the plectambonitoid brachiopod *Sowerbyella rugosa* from a tempestite in the upper Ordovician Kope Formation (Edenian) of Northern Kentucky. *Palaios*, 19: 332–348.
- DŻUŁYŃSKI S. & ŻAK C. 1960 – Sedimentary environment of the Cambrian quartzites in the Holy Cross Mts. (Central Poland) and their relationship to the Flysch facies. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 30: 213–241.
- ERDOĞAN B., UCHMAN A., GÜNGÖR T. & ÖZGÜL N. 2004 – Lithostratigraphy of the Lower Cambrian metaclastics and their age based on trace fossils in the Sandıklı region, southwestern Turkey. *Geobios*, 37: 346–360.
- FREY R.W. & PEMBERTON S.G. 1984 – Trace fossils facies models. [W:] Facies Models. Second Edition. Geoscience Canada, Ontario: 189–207.
- GERDES G. 2007 – Structures left by modern microbial mats in their host sediments. [W:] Schieber J., Bose P.K., Ericksson P.G., Banerjee S., Sarkar S., Altermann W. & Catuneanu O. (red.) Atlas of microbial mat features preserved within the clastic rock record. Elsevier, Amsterdam: 5–38.
- GOLDRING R. & SEILACHER A. 1971 – Limulid undertracks and their sedimentological implications. *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.*, 137: 422–442.
- HAGADORN J. & BOTTJER D. 1997 – Wrinkle structures: Microbially mediated sedimentary structures common in subtidal siliciclastic settings at the Proterozoic-Phanerozoic transition. *Geology*, 25: 1047–1050.
- HÄNTZSCHEL W. 1975 – Trace fossils and problematica. [W:] Teichert C. (red.) Treatise on Invertebrate Paleontology (Second Edition). Geol. Soc. Amer. and Univ. of Kansas Press: 1–269.
- HARRINGTON H.J. 1959 – General description of Trilobita. [W:] Moore R.C. (red.) Treatise on Invertebrate Paleontology. Geol. Soc. Amer. and Univ. of Kansas Press: 38–117.
- JAWOROWSKI K. & SIKORSKA M. 2006 – Łysogóry Unit (Central Poland) versus East European Craton – application of sedimentological data from Cambrian siliciclastic association. *Geol. Quart.*, 50: 77–88.
- JENSEN S. 1997 – Trace fossils from the Lower Cambrian Mickwitzia sandstone, south-central Sweden. *Fossils and Strata*, 42: 1–110.
- JENSEN S., DROSER M.L. & GEHLING J.G. 2005 – Trace fossil preservation and the early evolution of animals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220: 19–29.
- MACHALSKI M. & MACHALSKA K. 1994 – Arthropod trackways, „*Diplichnites*” *triassicus* (Linck, 1943), from the Lower Triassic (Buntsandstein) fluvial deposits of the Holy Cross Mts, Central Poland. *Acta Geol. Pol.*, 44: 267–275.
- MAGWOOD J.P.A. 1992 – Ichnotaxonomy: a burrow by any other name...? [W:] Maples C.G. & West R.R. (red.) Trace Fossils. Paleontological Society Short Courses in Paleontology, 5: 15–33.



- MARTINSSON A. 1970 – Toponomy of trace fossils. [W:] Crimes T.P. & Harper J.C. (red.) Trace fossils. Geol. Journ. Spec. Issue, 3: 323–330.
- MARTY D., STRASSER A. & MEYER C. 2009 – Formation and taphonomy of human footprints in microbial mats of present-day tidal-flat environments: implications for the study of fossil footprints. Ichnos, 16: 127–142.
- MINTER N.J., BRADDY S.J. & DAVIS R.B. 2007a – Between a rock and a hard place: arthropod trackways and ichnotaxonomy. Lethaia, 40: 365–375.
- MINTER N.J., KRÄINER K., LUCAS S.G., BRADDY S.J. & HUNT A.P. 2007b – Palaeoecology of an Early Permian playa lake trace fossil assemblage from Castle Peak, Texas, USA. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 246: 390–423.
- ORŁOWSKI S. 1992 – Trilobite trace fossils and their stratigraphical significance in the Cambrian sequence of the Holy Cross Mountains, Poland. Geol. Journ., 27: 15–34.
- ORŁOWSKI S., RADWAŃSKI A. & RONIEWICZ P. 1970 – The trilobite ichnocoenoses in the Upper Cambrian sequence of the Holy Cross Mountains. [W:] Crimes T.P. & Harper J.C. (red.) Trace fossils. Geol. Journ. Spec. Issue, 3: 345–360.
- ORŁOWSKI S., RADWAŃSKI A. & RONIEWICZ P. 1971 – Ichno-specific variability of the Upper Cambrian *Rusophycus* from the Holy Cross Mts. Acta Geol. Pol., 21: 341–348.
- POROS M. 2007 – Style zachowania skamieniałości śladowych z kambru Wiśniówki Dużej (Góry Świętokrzyskie) i ich znaczenie paleoekologiczne. [W:] Żylińska A. (red.) Granice Paleontologii. XX Konf. Nauk. Paleobiologów i Biostratygrafów PTG. Święta Katarzyna pod Łysicą, 10–13.09.2007. Wyd. Geol. UW, Warszawa: 109–110.
- RADWAŃSKI A. & RONIEWICZ P. 1960 – Ripple marks and other sedimentary structures of the Upper Cambrian at Wielka Wiśniówka (Holy Cross Mts.). Acta Geol. Pol., 10: 371–397.
- RADWAŃSKI A. & RONIEWICZ P. 1963 – Upper Cambrian trilobite ichnocoenosis from Wielka Wiśniówka (Holy Cross Mountains, Poland). Acta Palaeont. Pol., 8: 259–280.
- RADWAŃSKI A. & RONIEWICZ P. 1967 – Trace fossil *Aglaspidichnus sanctacrucensis* n.gen., n.sp., a probable resting place of an aglaspid (Xiphosura). Acta Palaeont. Pol., 12: 545–552.
- RADWAŃSKI A. & RONIEWICZ P. 1972 – A long trilobite-trackway, *Cruziana semiplicata* Salter, from the Upper Cambrian of the Holy Cross Mts. Acta Geol. Pol., 22: 439–447.
- RINDSBERG A.K. 1994 – Ichnology of the Upper Mississippian Hartselle Sandstone of Alabama, with notes on other Carboniferous Formations. Bull. Geol. Survey of Alabama, 158: 1–107.
- SEILACHER A. 1955 – Spuren und Lebensweise der Trilobiten. [W:] Chindewolf O.H. & Seilacher A. (red.) Beiträge zur Kenntnis des Kambriums in der Salt Range (Pakistan). Akad. Wiss. u. Lit., Abh. Math.-nat. Kl., 10: 342–372.
- SEILACHER A. 2007 – Trace Fossil Analysis. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg.
- SEILACHER A. 2008 – Biomats, biofilms, and bioglime as preservational agents for arthropod trackways. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 270: 252–257.
- TERFELT F., ERIKSSON M.E., AHLBERG P. & BABCOCK L.E. 2008 – Furongian Series (Cambrian) biostratigraphy of Scandinavia – a revision. Norw. Journ. Geol., 88: 73–87.
- TREWIN N.H. 1994 – A draft system for the identification and description of arthropod trackways. Palaeontology, 37: 811–823.
- WHITTINGTON H.B. 1980 – Exoskeleton, moult stage, appendage, morphology, and habits of the Middle Cambrian trilobite *Olenoides serratus*. Palaeontology, 23: 171–204.
- ZONNEVELD J.P., PEMBERTON S.G., SAUNDERS T.D.A. & PICKERILL R.K. 2002 – Large, Robust *Cruziana* from the Middle Triassic of Northeastern British Columbia: Ethologic, Biostratigraphic, and Paleobiologic Significance. Palaios, 17: 435–448.
- ŻYLIŃSKA A. & RADWAŃSKI A. 2008 – Stop 2 – Wiśniówka Duża, Upper Cambrian. [W:] Pieńkowski G. & Uchman A. (red.) Ichnological Sites of Poland. The Holy Cross Mountains and The Carpathian Flysch. The Second International Congress on Ichnology, Cracow, 29.08–8.09.2008. The Pre-Congress and Post-Congress Field Trip Guidebook: 37–46.
- ŻYLIŃSKA A., SZCZEPANIK Z. & SALWA S. 2006 – Cambrian of the Holy Cross Mountains, Poland; biostratigraphy of the Wiśniówka Hill succession. Acta Geol. Pol., 56: 443–461.

Praca wpłynęła do redakcji 20.04.2009 r.  
Po recenzji akceptowano do druku 12.08.2010 r.