



**dr hab. Wiesław
Trela**

Jest profesorem Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB. Od ponad 20 lat prowadzi badania sedymentologiczne i stratygraficzne paleozoiku Gór Świętokrzyskich. Jego aktywność naukowa koncentruje się na badaniach środowisk depozycji i warunków paleoekologicznych w ordowiku.

wieslaw.trela@pgi.gov.pl

ORDOWICKI PODBÓJ LĄDÓW

Wiek skamieniałości roślin odkrytych w Górach Świętokrzyskich określa się na 444 mln lat, co zmienia nasz dotychczasowy pogląd o ich ewolucji, a przede wszystkim dowodzi, że pojawiły się one na lądzie znacznie wcześniej, niż sądzono.

**Wiesław Trela
Zbigniew Szczepanik**

Państwowy Instytut Geologiczny
– Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

Paweł Filipiak, Mariusz Salamon

Wydział Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk
o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach

Przemysław Gorzelak

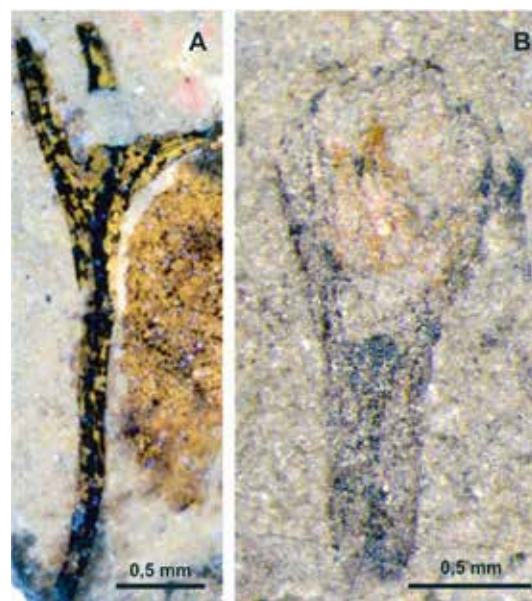
Instytut Paleobiologii
Polskiej Akademii Nauk w Warszawie

**dr Zbigniew
Szczepanik**
Jest pracownikiem Oddziału Świętokrzyskiego Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB. Prowadzi badania mikroflory akritrachowej w aspekcie stratygraficznym, środowiskowym i paleogeograficznym. Zajmuje się analizą dojrzałości termicznej materii organicznej palinomorf dolnego paleozoiku.

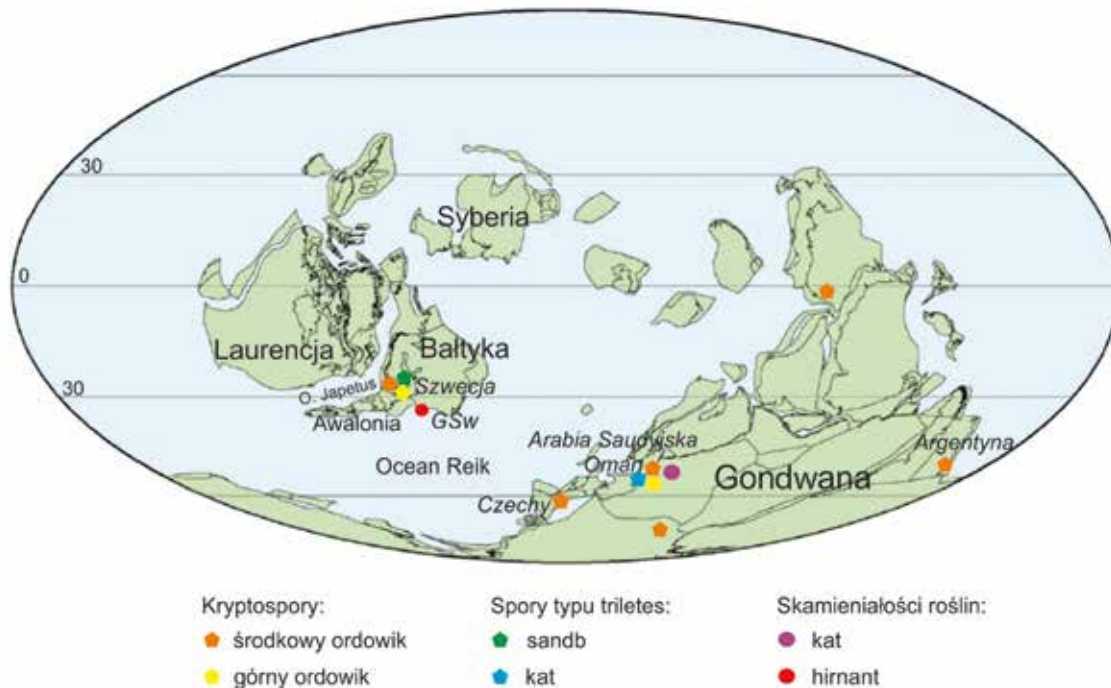
zbigniew.szczepanik@pgi.gov.pl

Jednym z najważniejszych zagadnień ewolucji życia na Ziemi jest kolonizacja siedlisk lądowych przez rośliny. Badania molekularne oraz cechy morfologiczne, cytologiczne i biochemiczne wskazują na duże podobieństwo między roślinami i zielenicami z grupy ramienic, świadczące o ich bliskim pokrewieństwie i wspólnym przodku. Według danych paleontologicznych początek kolonizacji lądu przez rośliny nastąpił w ordowiku, między 475 a 450 mln lat temu. Terrestrializacja roślin miała fundamentalny wpływ na zmianę globalnego cyklu biogeochemicznego, procesy wietrzenia, strukturę gleb, a w konsekwencji stan klimatu na Ziemi. Wraz z pojawieniem się roślin lądowych rozpoczęło się trwałe związanie węgla, zarówno w powiększającej się sukcesywnie szacie roślinnej, jak i materii or-

ganicznej gromadzonej w glebie. Kolonizacja lądu przez rośliny jest obecnie rozpatrywana jako jeden z istotnych (a może nawet kluczowych) czynników odpowiedzialnych za schłodzenie klimatu ordowickiego, poprzez ich udział w obniżeniu stężenia CO₂ i odpowiednio zwiększeniu O₂ w atmosferze. Proces ten zakończył się około 445 mln lat temu, kiedy koncentracja CO₂ spadła do poziomu 8-krotności (lub nawet poniżej) dzisiejszego stężenia tego gazu. Było to czynnikiem spustowym dla rozwoju lądolodu w południowej części kontynentu Gondwana,



Trójdzielnie rozgałęziony sporofit (A) i owalne sporangium (B) z górnego ordowiku (hirnantu) Gór Świętokrzyskich



Występowanie spor i skamieniałości roślin na mapie paleogeograficznej późnego ordowiku (444 mln lat temu); GŚw – Góry Świętokrzyskie

które trwało od 0,5 do 1 mln lat. W konsekwencji tej zmiany nastąpiło globalne obniżenie poziomu morza (regresja hirnanccka) oraz kryzys biotyczny kończący wielką ordowicką różnorodność biologiczną. Należy jednak zaznaczyć, że za ordowickie ochłodzenie klimatyczne mogły być odpowiedzialne także inne istotne czynniki sprzyjające obniżeniu CO₂ w atmosferze, takie jak: 1) słabnąca aktywność wulkaniczna związana z superpióropuszem płaszcza, 2) masowy rozkwit fitoplanktonu (tzw. ordowicka rewolucja planktoniczna), zwiększona podaż węgla organicznego w osadach dennych oraz 3) wzmożone wietrzenie skał silikoklastycznych.

Pierwsze rośliny

Obecność w osadach środkowego kambriu permanentnych tetrad i diad, czyli sporomorf (form przypominających morfologicznie zarodniki) na trwale połączonych w nierozdzielone biologicznie agregaty, jest zdaniem niektórych badaczy przesłanką świadcząca o kambryjskiej kolonizacji lądu przez pionierskie rośliny reprezentujące stadium przejściowe od zielenic. Jednak najstarszymi pewnymi skamieniałościami roślin lądowych są zidentyfikowane w ordowiku kryptosporo (bezbрудowe mejosporo), które wykazują wiele cech wspólnych ze współczesnymi zarodnikami (sporami) wątrobowców. Ich obecność udokumentowano w osadach środkowego ordowiku, w Argentynie (~470 mln lat temu) i Arabii Saudyjskiej (~460 mln lat temu). Ponadto w zapisie kopalnym górnego ordowiku (piętro kat) Omanu wraz z kryptosporami rozpoznano fragmenty zarodni (sporangium), które

jest podobne do współczesnych wątrobowców. Na tej podstawie wątrobowce uznane zostały za pierwsze rośliny kolonizujące ląd. W późnym ordowiku pojawiły się także pierwsze spory z bliźną trójpromienną (tzw. triletes), diagnostyczne dla roślin naczyniowych, chociaż zarodniki tego typu występują także wśród niektórych mszaków. Jednak makroskamieniałości roślin naczyniowych znane są dopiero ze środkowego syluru (~430 mln lat temu) i reprezentowane są przez rodzaj *Cooksonia*, charakteryzujący się widlasto rozgałęzionymi pędami sporofitu. W późnym sylurze kolonizacja lądu przez rośliny była na tyle zaawansowana, że pozostawiła ślad w postaci kopalnego zapisu pożarów.

Najstarsze skamieniałości

W 2018 r. międzynarodowy zespół badaczy opublikował na łamach czasopisma „New Phytologist” wyniki badań dotyczące najstarszych makroskamieniałości przypuszczalnie roślin lądowych sprzed 444 mln lat, które znaleziono w Górach Świętokrzyskich. Występują one w najwyższym ordowiku (hirnancie), który tworzą mułowce, łupki i margle z wkładkami piaskowców, będące regionalnym zapisem obniżenia poziomu morza, wymuszonego przez zlodowacenie na Gondwanie. Pozycja stratygraficzna tych osadów określona została na podstawie skamieniałości trylobitów rodzaju *Mucronaspis* oraz ramienionogów tworzących tzw. faunę Hirnantia. Ponadto w hirnancie świętokrzyskim rozpoznano typowy dla najwyższego ordowiku zespół mikroskamieniałości, obejmujący chitinozoa i akritarchy. Na szczególną uwagę zasługuje zespół mikroflory akritarchowej reprezentowany



dr hab. Paweł Filipiak

Adiunkt w Instytucie Nauk o Ziemi, na Wydziale Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego. Jego zainteresowania naukowe skupiają się wokół palinologii osadów dewońskich i karbońskich oraz makroflory z tego okresu. Jest członkiem rady redakcyjnej czasopisma „Annales Societatis Geologorum Poloniae”.

pawel.filipiak@us.edu.pl



dr hab. Mariusz Salamon

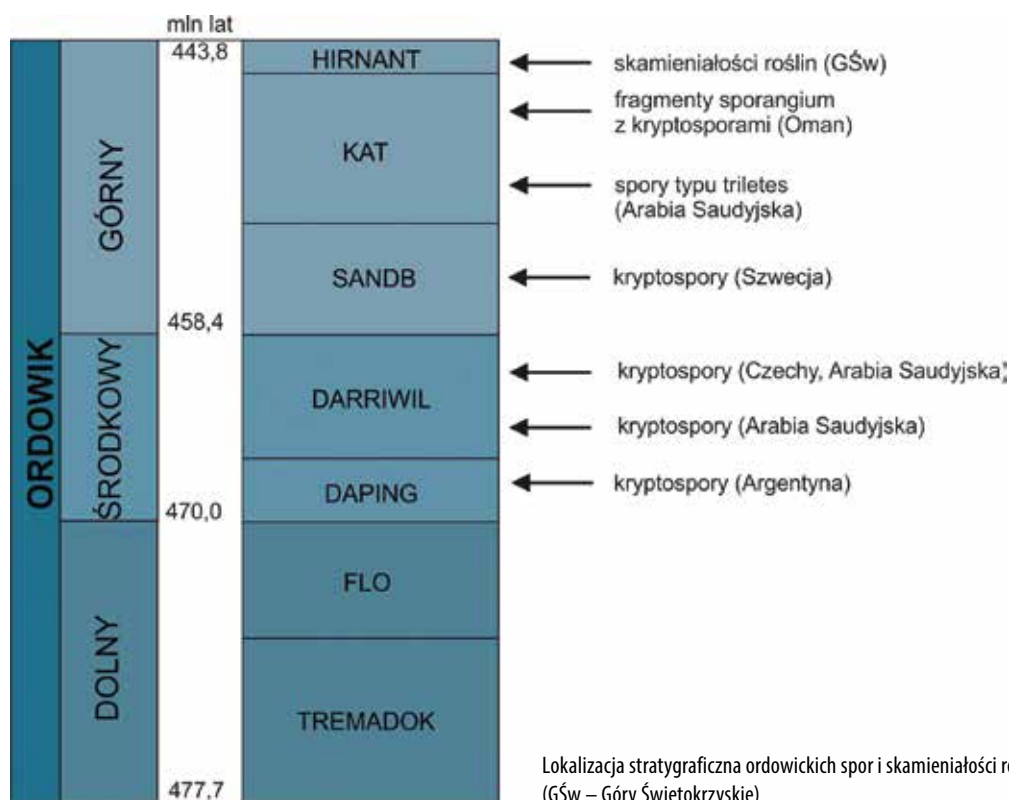
Jest profesorem Uniwersytetu Śląskiego zatrudnionym w Instytucie Nauk o Ziemi na Wydziale Nauk Przyrodniczych. Jego zainteresowania naukowe skupiają się wokół tafonomii, paleoekologii, systematyki i ewolucji kopalnych liliowców. Jest członkiem rady redakcyjnej czasopisma „Annales Societatis Geologorum Poloniae”.

mariusz.salamon@us.edu.pl



**dr hab.
Przemysław
Gorzelak**

Jest zatrudniony w Instytucie Paleobiologii PAN w Warszawie. Zajmuje się paleoekologią, morfologią funkcjonalną, ewolucją oraz biomineralizacją dzisiejszych i kopalnych szkarłupni. Jest stypendystą Fundacji na rzecz Nauki Polskiej oraz Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
pgorzelak@twarda.pan.pl



Lokalizacja stratygraficzna ordowickich spor i skamieniałości roślin (GŚw – Góry Świętokrzyskie)

przez typowo hiranckie formy, którym towarzyszą kambryjskie i środkowordowickie taksony redeponowane, np. rodzaj *Frankea*, typowy dla środkowego ordowiku z Gondwany.

Fragmenty roślin odnalezione w Górach Świętokrzyskich charakteryzują się dychotomicznie rozgałęzionym sporofitem i zaliczone zostały do rodzaju *Hostinella*. Okazy te mają niewielkie rozmiary: 2–3 mm długości i 0,1–0,3 mm szerokości. Udokumentowano także jeden okaz z trójdzielnie rozgałęzionym sporofitem (3,2 mm długości i 0,3 mm szerokości), co jest cechą roślin późnego syluru i wczesnego dewonu (430–410 mln lat temu). Pojedyncze „łodygi” zakończone są owalnymi (0,4–0,8 mm długości i 0,3–1,1 mm szerokości) sporangiami, które pod względem formy, rozmiarów i morfologii są podobne do sylurskiego rodzaju *Cooksonia*, i przypominają struktury znane u triasowych wątrobowców. Ponadto w materiale świętokrzyskim zidentyfikowano sporomorfy zbliżone morfologicznie do triletes, a na powierzchni niektórych fragmentów „łodyg” udokumentowano obecność struktur przypominających aparaty szparkowe, które wcześniej rozpoznano także u *Akdalophyton caradoc*, rośliny z późnego sandbu (453–455 mln lat temu). Fragmentarycznie zachowane szczątki roślinne z hiranantu świętokrzyskiego są zatem najstarszymi skamieniałościami roślin, u których rozgałęzienia sporofitu zakończone były sporangiami (*Polysporangiophyta*).

W późnym ordowiku Góry Świętokrzyskie znajdowały się przy południowo-zachodnim brzegu konty-

entu Bałtyka, między 30° a 40° szerokości geograficznej południowej. Najnowsze badania osadów hiranantu polskiej części Bałtyki wskazują, że w tym czasie do jej południowo-zachodniego szelfu docierały z Gondwany góry lodowe, z których wytapiany był grubszy materiał terygeniczny, taki jak piasek i drobny żwir. Prawdopodobnie region świętokrzyski także znajdował się w zasięgu oddziaływania późnordowickich gór lodowych. W tym kontekście obecność taksonu *Frankea* w zespole akritarchowym hiranantu świętokrzyskiego może być interpretowana dwojako, jako rezultat 1) redepozycji ze strefy kolizji gondwańskiego mikrokontynentu Awalonii z kontynentem Bałtyka albo 2) transportu przez góry lodowe ze strefy marginalnej Gondwany. Nie można zatem wykluczyć, że znalezione w Górach Świętokrzyskich skamieniałości roślin lądowych także zostały redeponowane i w rzeczywistości ich wiek jest starszy od hiranantu.

Warto zwrócić uwagę na opublikowany ostatnio zespół sporomorf ze środkowego i górnego ordowiku Szwecji, w którym obecne są formy z trójpromienistym znakiem zrostowym zidentyfikowane w interwale stratygraficznym obejmującym górną część piętra sandb. Dane te podważają dotychczasowy pogląd o gondwańskiej proveniencji pierwszych roślin. Są także przesłanką za pojawieniem się roślin naczyniowych na lądzie bałtyckim już w późnym ordowiku, chociaż zdaniem niektórych badaczy spory o typie triletes mogą występować także u niektórych mszaków.

Chcesz wiedzieć więcej?

Porebski S.J., Anczkiewicz R., Paszkowski M., Skompski S., Kędzior A., Mazur S., Szczepański J., Buniak A., Mikołajewski Z., *Hirnantian icebergs in the subtropical shelf of Baltica: Evidence from sedimentology and detrital zircon provenance*, „Geology” 2019, 47: 284–288.

Rubinstein C.V., Vajda V., *Baltica cradle of early land plants? Oldest record of trilete spores and diverse cryptospore assemblages: evidence from Ordovician successions of Sweden*, „GFF” 2019, 141: 181–190.

Salamon M.A., Gerrienne P., Steemans P., Gorzelak P., Filipiak P., Le Hérisse A., Florentin P., Cascales-Miñana B., Brachaniet T., Misz-Kennan M., Niedzwiedzki R., Trela W., *Putative Late Ordovician land plants*, „New Phytologist” 2018, 218: 1305–1309.