

Walory geodukacyjne kamieniołomu Zachełmie w Górach Świętokrzyskich (południowa Polska)

Geoeducational values of the Zachełmie quarry in the Holy Cross Mountains (Central Poland)

Zbigniew Zlonkiewicz^{1*}, Anna Fijałkowska-Mader²

^{1,2} Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce

¹ zbigniew.zlonkiewicz@pgi.gov.pl; ²anna.mader@pgi.gov.pl

* Corresponding Author



Article history:

Received: 10 October 2018

Accepted: 30 September 2019

Available online: 19 December 2019

© 2018 Authors. This is an open access publication, which can be used, distributed and reproduced in any medium according to the Creative Commons CC-BY 4.0 License requiring that the original work has been properly cited.

Treść: Nieczynny kamieniołom dolomitów Zachełmie, położony w miejscowości Zagnańsk, 12 km na północ od Kielc, jest wyjątkowym miejscem na mapie geologicznej Gór Świętokrzyskich. Zobaczyć tu można skały powstałe w dwu etapach rozwoju geologicznego Ziemi. Etap starszy reprezentują szare dolomity i ilowce dolomityczne środkowego dewonu, nachylone stromo ku północy. Zostały one sfaldowane w karbonie i permie, podczas orogenezy waryscyjskiej. Etap młodszy obejmuje zróżnicowane utwory permu i dolnego triasu, nachylone ku wschodowi pod kątem około 10°. Zostały one zaburzone w paleogenie, podczas ruchów tektonicznych orogenezy alpejskiej. W północnych ścianach kamieniołomu dobrze widoczny jest kontakt obu tych kompleksów skalnych, rozdzielonych powierzchnią niezgodności tektoniczno-erozyjnej, która dokumentuje waryscyjskie ruchy orogeniczne. Kontaktujące ze sobą skały dzieli luka czasowa, obejmująca około 140 mln lat. Dolomity powstały w środowiskach lagun i płytkiego szelfu powolnie pogłębiającego się morza. Obecne są w nich skamieniałości typowe dla tych środowisk dewońskich, m.in. stromatolity, amfipory, muszle ramienionogów i skamieniałości śladowe. W południowej ścianie kamieniołomu znajduje się unikalna powierzchnia z licznymi strukturami uznanymi za najstarsze na świecie ślady lądowych kręgowców – tetrapodów. Ponadto, w dolomitach w północno-wschodniej części kamieniołomu, można znaleźć takie minerały jak kalcyt, hematyt, dolomit, syderyt, ankeryt, kwarc i baryt. Powstały one w spēkaniach utworzonych podczas waryscyjskich ruchów górotwórczych. Utwory permskie i triasowe, o brunatnoczerwonej barwie, odsłonięte w północnych ścianach wyrobiska, stanowią wypełnienie wąskiej, kopalnej doliny (wąwozu), wyrzeźbionej w powierzchni stropowej dolomitów. Ich profil rozpoczynają brekcje i zlepienie złożone głównie z okruchów skał dewońskich, zachowane w zagłębieniach na dnie kopalnego wąwozu, a w części będące osadem pokrywającym stokowych na jego zboczach. Brekcje i zlepienie leżące wyżej są osadem gwałtownych spływów gruzowych, które ku górze profilu są całkowicie zastąpione przez piaskowcowo-mułowcowe osady leniwego strumienia. W okresach zaniku przepływu w jego korycie powstawały wysychające jeziora, wypełniane ilami. W osadach tej części profilu widoczne są drobne struktury prądowe, rzadziej spotyka się szczątki roślinne i szczeliny z wysychania. Odkryto tu najstarsze tropy pozostawione przez dinozaura. Najwyższą część odsłoniętego profilu tworzą szare, gruboławicowe piaskowce, powstałe w kanałach rzek roztokowych. Ze względu na wyjątkowe walory geologiczne wschodnią część kamieniołomu i przewężenie w części środkowej objęto ochroną, tworząc tam rezerwat przyrody nieożywionej. Fragment północnej ściany tego przewężenia, z powierzchnią niezgodności tektoniczno-erozyjnej, stanowi pomnik przyrody. Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na wyżej wymienione walory geologiczne kamieniołomu oraz zaproponowanie działań zwiększających atrakcyjność już istniejącej infrastruktury geoturystycznej, w postaci umieszczania dodatkowych tablic informacyjnych z opisami zjawisk i procesów geologicznych.

Słowa kluczowe: granica dewon-trias, tetrapody, Góry Świętokrzyskie

Abstract: *The abandoned Zachelmie quarry, a unique place on the geological map of the Holy Cross Mountains, is located in Zagnańsk, about 12 km northwards from Kielce. Deposits of two stages of geological development, separated by tectonic movements, are exposed in the section. The older complex is represented by the Middle Devonian grey dolomites and dolomitic claystones, steep inclined to the north. They were folded in the Carboniferous and Permian by the Variscan tectonic movements. The younger complex comprises various Permian-Lower Triassic deposits, inclined about 10° eastwards. They were deformed during the Paleogene by Alpine tectonic movements. Contact of both complexes, well exposed in the northern walls of the quarry, testifies Variscan orogenic movements, while the tectonic-erosion gap, separating them, comprises about 140 million years. Dolomites originated in the shelfal and lagoonal environments of the slowly deepening sea. Fossils typical for their Devonian environment may be found: stromatolites, amphipores, brachiopod shells and trace fossils. The unique surface with numerous structures interpreted as tetrapod tracks, the oldest in the world, is exposed in the southern wall of the quarry. Moreover, minerals occur in the north-eastern part of the quarry: calcite, hematite, dolomite, siderite, ankerite, quartz and barite. They originated in fissures cutting dolomites during the Variscan orogenic movements. The Permian and Triassic, red-brown deposits crop out in the northern walls of the quarry. They represent infilling of a narrow palaeo-valley/ravine, cut in the surface of Devonian dolomites. Their section is commenced with dolomite breccia and conglomerates that fill cavities in an uneven surface of ravine basement. These conglomerates represent a debris cover lain on its sides. The breccia and conglomerates laying further above, originated as abrupt debris flow deposits. In the upper parts of the section, they were intercalated and eventually entirely substituted with sandstones and mudstones being deposits of fine creeks. Periods of the flow extinction are documented with clays deposited in temporal ponds. Fine current structures, scarce flora remains and desiccation cracks may be distinguished in that part of the section. The oldest trace fossils of dinosaurs were found here. The thick-bedded grey sandstones distinguished in the uppermost part of section were deposited in alluvial channels of braided rivers. The unique values of the object are protected in a natural reserve formed in the eastern part of the quarry and in the narrow passage in the central part. The fragment of the wall in the passage with exposition of a tectonic-erosion unconformity is a natural monument. Authors intend to present the unique geological values of the quarry and to suggest how to improve the actual geotouristic infrastructure – location of several information boards with descriptions of geological phenomena and processes.*

Key words: *Devonian-Triassic boundary, tetrapods, Holy Cross Mountains*

Wstęp

Kamieniołom Zachelmie znajduje się w gminie Zagnańsk, na zachodnim zboczu Góry Chełmowej, około 12 km na północ od centrum Kielc (Fig. 1), w otulinie Suchedniowsko-Oblęgarskiego Parku Krajobrazowego. Od XVI wieku do 1987 r. wydobywano tu środkowodewońskie dolomity na topnik do okolicznych hut żelaza, a od 1883 r., w związku z budową „kolei wiedeńskiej”, wykorzystywano je także do produkcji kruszywa (Kozak, 2009). W okresie międzywojennym eksploatowano także rudę żelaza – hematyt (Król *et al.*, 2011). Kamieniołom obejmuje dwa wyrobiska oddzielone przewężeniem (Fig. 1). Wyrobisko zachodnie jest własnością prywatną. Północna ściana przewężenia, w której odsłania się kontakt skał dewońskich i permsko-triasowych, w 1987 r. została objęta ochroną jako pomnik przyrody nieożywionej zwany odsłonięciem geologicznym na Górze Chełmowej (www1). W 2010 r. wraz ze wschodnią częścią kamieniołomu (Fig. 2) weszła ona w skład rezerwatu przyrody nieożywionej o powierzchni 4,56 ha (Dz. Urz. Woj. Święt. z 2010 r. Nr 298, poz. 3076). W rezerwacie poprowadzono ścieżkę edukacyjną z czterema tablicami informacyjnymi (Fig. 1) oraz alejkę z ławeczkami i koszami na śmieci. Przeprowadzone obserwacje geologiczne ujawniają potrzebę przedłużenia trasy i wzbogacenia jej o dalsze tablice.

Dla geologów kamieniołom Zachelmie stanowi wyjątkowe miejsce, w którym dobrze odsłonięta jest powierzchnia niezgodności kątowno-erozyjnej, powstała na kontakcie dwóch pięter strukturalnych. Piętro waryscyjskie reprezentowane jest tu przez stromo nachylone skały środkowego

dewonu, należące do formacji z Wojciechowic. Piętro alpejskie tworzą prawie poziomo leżące utwory permu i dolnego triasu (Kowalczewski & Rup, 1989; Szulczewski, 1995; Kuleta 1996, 2000; Kuleta *et al.*, 2006, 2007, 2009; Złonkiewicz, 2011; Złonkiewicz & Becker, 2015). W pierwszych latach obecnego wieku, na powierzchniach ławic w dolnej części odsłoniętego tu profilu dolomitów, odkryte zostały struktury uznane za najstarsze na świecie ślady lądowe czworonożnego kręgowca – tetrapoda (Niedźwiedzki & Szrek, 2008, 2011; Niedźwiedzki *et al.*, 2010; Złonkiewicz, 2016a). Ponadto w dolnej części odsłoniętego profilu występują skamieniałości śladowe bezkręgowców, stromatolity oraz struktury interpretowane przez część badaczy jako struktury z wysychania, zagłębienia po kroplach deszczu i paleogleby (Narkiewicz & Retallack, 2014; Qvarnström *et al.*, 2018).

Wśród zbieraczy minerałów kamieniołom jest znany z obecności mineralizacji hematytowo-barytowo-kwarcowej związanej z systemem żył hydrotermalnych w strefie uskokowej. System ten powstał w obrębie dolomitów podczas ruchów waryscyjskich (Rubinowski red., 1966). Równie interesujące są osady permsko-triasowe, zawierające faunę muszloraczków, skamieniałości śladowe bezkręgowców i kręgowców, ponadto szczątki roślin i gleby kopalne (Ptaszyński & Niedźwiedzki, 2004; Kuleta *et al.*, 2006, 2007, 2009).

Przedstawione powyżej zjawiska geologiczne są dobrze wyeksponowane w ścianach kamieniołomu i łatwo dostępne do obserwacji. Dzięki temu obiekt z powodzeniem może być wykorzystywany w edukacji geologicznej na wszystkich etapach kształcenia.

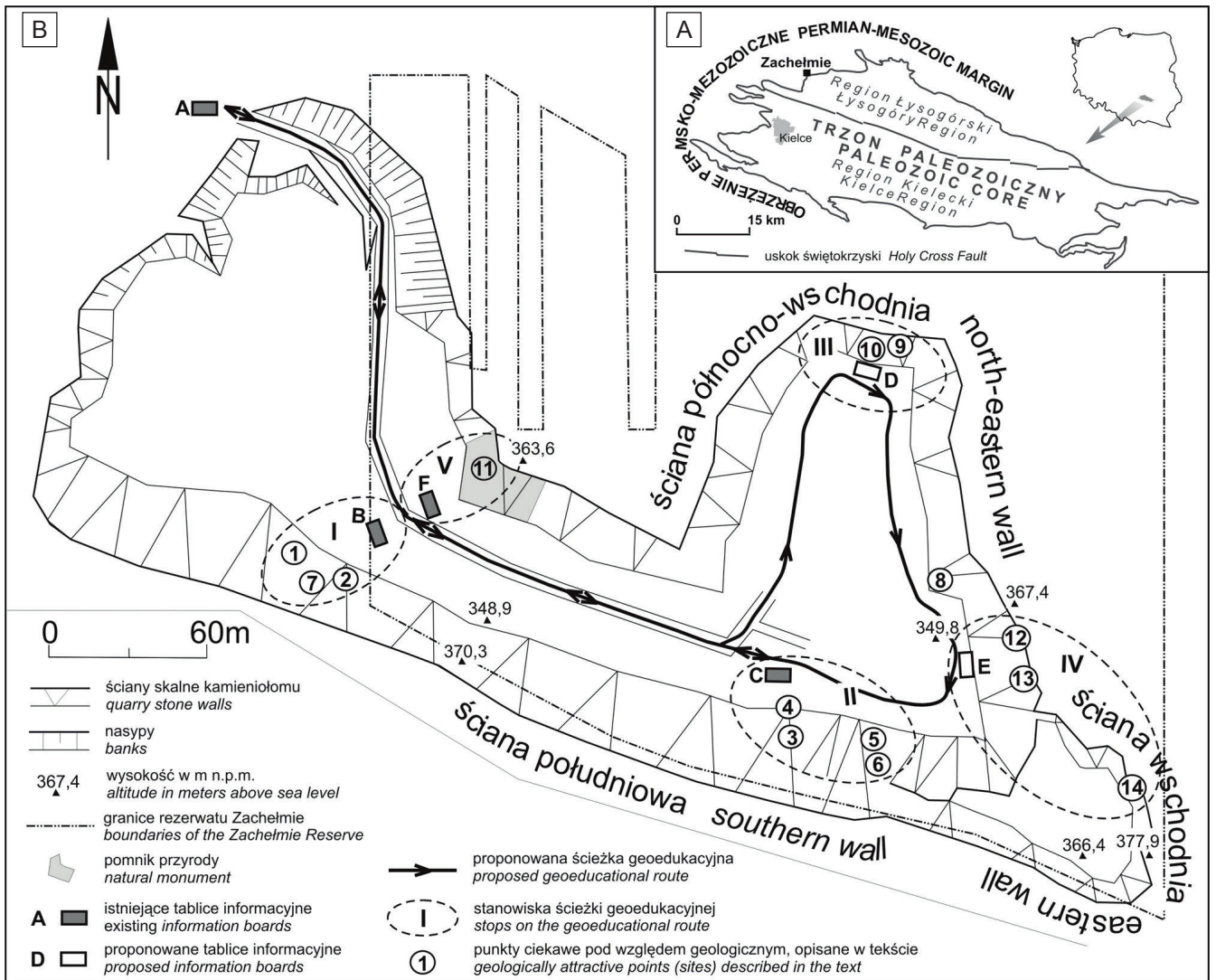


Fig. 1. Kamieniołom Zachełmie: A – lokalizacja, B – szkic sytuacyjny • Zachełmie quarry: A – localization, B – outline sketch



Fig. 2. Widok środkowej i wschodniej części kamieniołomu Zachełmie objętych rezerwatem. W tle kulminacja Góry Chełmowej (stan z 2010 r.), fot. Z. Złonkiewicz • View of the central and eastern parts of the Zachełmie quarry protected in a reserve. The Chelmowa hill in the background, photo taken by Z. Złonkiewicz in 2010

Podstawowe wiadomości, przedstawione na już istniejących tablicach informacyjnych, które powinny być uzupełnione o proponowane w artykule, zaspokoją zapewne oczekiwania zwiedzających zarówno w przypadku indywidualnej turystyki krajoznawczej, jak i ukierunkowanej na geodukację, pod opieką wykwalifikowanego przewodnika. Za najistotniejszy edukacyjny walor obiektu uznać można utrwalony w skałach zapis zjawisk i procesów obserwowanych także współcześnie w otaczających nas środowiskach bądź w odległych ekosystemach, znanych wyłącznie z edukacji (tj. gromadzenie osadów morskich z zawartymi w nich strukturami i szczątkami organogenicznymi, ślady erozji powierzchniowej na obszarze przekształconych tektonicznie masywów górskich, tworzenie dolinek i wąwozów oraz gromadzenie w nich osadów od pokryw zboczowych, przez osady spływów błotnych, strumieni i rzek, po jeziorne, z zachowanymi charakterystycznymi dla nich strukturami). Istotne, że skały te należą do kompleksów formowanych w dwu różnych orogenezach, zaś granica między nimi widoczna jest na długości kilkudziesięciu metrów. Dodatkową atrakcją są różne rodzaje skał osadowych, struktury uznane za najstarsze na świecie ślady czworonogów oraz minerały.

Powyższe walory czynią z kamieniołomu Zachełmie jedno z najciekawszych odsłoneń w Górach Świętokrzyskich (Strzyż & Kin, 2011; Waksmundzki, 2012; Złonkiewicz, 2016b). Lokalne władze samorządowe, świadome wyjątkowości tego miejsca, informację o nim i o innych atrakcjach turystycznych gminy Zagnańsk umieściły na tablicy znajdującej się przy wejściu do kamieniołomu (Fig. 1A, B, Tablica A).

Tło geologiczne

Góra Chełmowa leży w zachodniej części Pasma Kłownowskiego, które wznosi się w południowym skrzydle synkliny bodzentyńskiej (Fig. 3), uformowanej w strefie łysogórskiej trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich (Stupnicka & Stempień-Sałek, 2016; Fig. 1A). Dolomity dewońskie budujące grzbiet Góry Chełmowej stanowią izolowaną wychodnię wylaniającą się w obrębie młodszych utworów triasowych, które należą do północno-zachodniej części permsko-mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich.

Odsłonięte w kamieniołomie skały obrazują liczne procesy geologiczne, zachodzące w regionie świętokrzyskim między środkowym dewonem a wczesnym triasem. Z początkiem dewonu środkowego (około 394 mln lat temu) obszar Gór Świętokrzyskich należał do rozległego szelfu morskiego na obrzeżu prakontynentu Laurusji (Golonka, 2007). Lokalnie utworzyły się tu płytkowodne platformy węglanowe ze strefami raf stromatoporoidowych (gąbkowych) lub koralowcowo-stromatoporoidowych (Narkiewicz *et al.*, 1990, 2006; Racki 1993; Narkiewicz & Narkiewicz, 2010). Okolice Zachełmia znajdują się w tzw. strefie łysogórskiej, wyróżnionej na obszarze zbiornika dewońskiego w regionie świętokrzyskim. Stanowiła ona strefę najbardziej głębokowodną w porównaniu z leżącymi dalej na południe pośrednią strefą kostomłocką i skrajnie płytkowodną strefą kielecką. W pobliżu Zachełmia ówczesna sedimentacja węglanowa zachodziła w otwartej lagunie lub na równi pływowej (Skompski & Szulczewski, 1994), w stosunkowo płytkowodnych warunkach umożliwiających rozwój mat stromatolitowych.

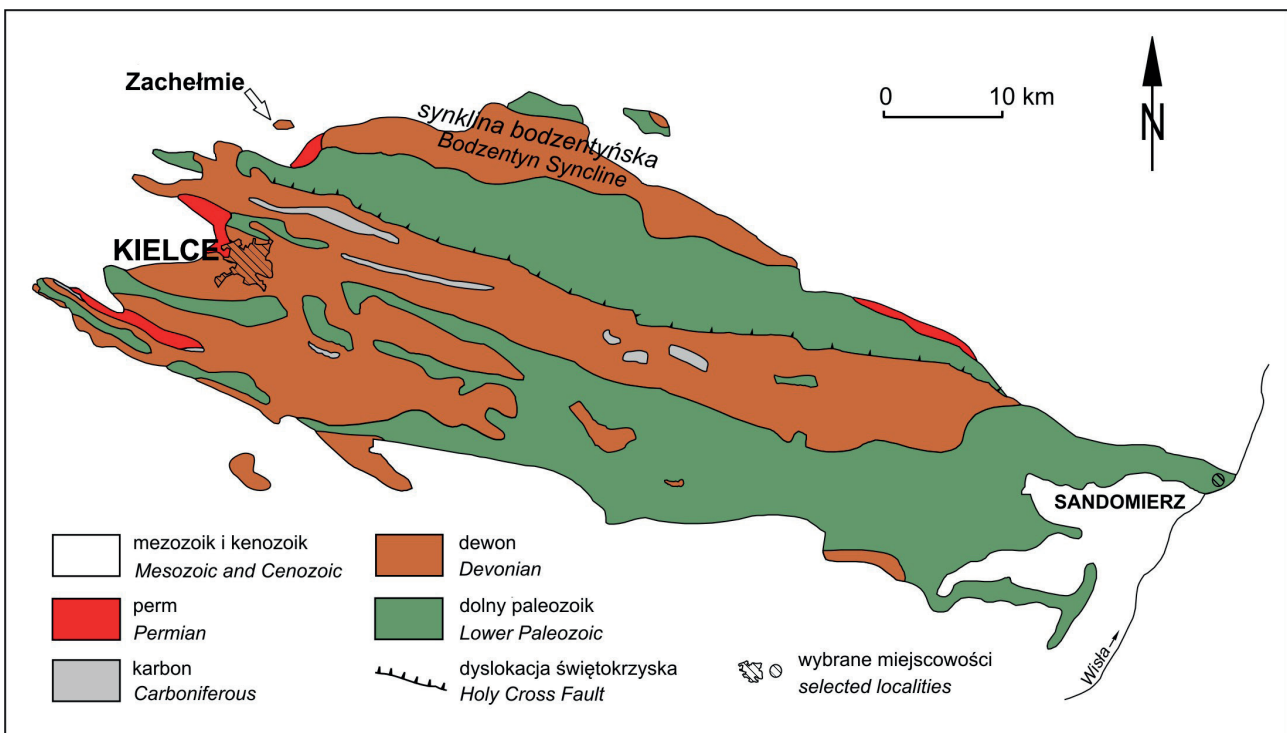


Fig. 3. Uproszczona mapa geologiczna Gór Świętokrzyskich (wg Wróblewski & Wróblewska, 1996) • Simplified geological map of the Holy Cross Mts. (by Wróblewski & Wróblewska, 1996)

W kamieniołomie odsłaniają się szare, cienko- i średnio-ławicowe dolomity środkowego dewonu, należące do dolnej części formacji z Wojciechowic, wyróżnionej w strefie łysogórskiej (Czarnocki, 1957; Pajchłowa, 1957; Szulczewski, 1995). Miąższość odsłoniętego profilu wynosi prawie 100 m. Sedymentacja formacji wojciechowskiej przypada na okres znacznego ujednoczenia facjalnego w basenie dewońskim na obszarze całego regionu świętokrzyskiego. Na podstawie konodontów, znalezionych w Zachełmiu w niższej części profilu, wiek formacji datowano na wczesny eifel (Narkiewicz & Narkiewicz, 2010, 2015). W późniejszych schematach litostratygraficznych (Niedźwiedzki *et al.*, 2010; Narkiewicz *et al.*, 2015) odsłonięty tu kompleks dolomitów podzielono między górną część formacji z Wojciechowic i dolną część formacji z Kowali. Formacja z Kowali obejmuje płytkomorskie utwory węglanowe o znacznej zawartości szczątków fauny bentonicznej, charakterystyczne dla kieleckiej strefy zbiornika (Narkiewicz *et al.*, 1990, 2006).

Dolna partia sukcesji skalnej w Zachełmiu zbudowana jest ze skrytokrystalicznych dolomitów, miejscami marglistych, z wkładkami dolomitycznych łupków iłowcowych i poziomo laminowanych osadów mikrobialnych – mat głońowych. Z tej części profilu pochodzą ślady tetrapoda, ślady bezkręgowców oraz formy interpretowane jako szczeliny z wysychania, paleogleby i struktury korzeniowe (Narkiewicz & Retallack, 2014; Qvarnström *et al.*, 2017), świadczące o okresowym istnieniu lokalnych wynurzeń. W wyższej części odsłoniętego profilu coraz liczniej pojawiają się szczątki amfipor, reprezentujących gałązkową odmianę stromatoporoidów (prymitywnych gąbek). Początkowo drobne i rozproszone, w najmłodszych odsłoniętych ławicach tworzą skupiska kolonijne, nadając skale charakter dolomitów amfiporowych.

Podczas ruchów tektonicznych orogenezy waryscyjskiej, w późnym karbonie-wczesnym permie, wypiętrzeniu i sfałdowaniu uległ obszar świętokrzyski. Powstała wówczas antyklina bodzentyńska, w której południowym skrzydle znalazł się obszar kamieniołomu, z ławicami dolomitów zapadającymi na północ pod kątem 40°. Górów podlegał silnej erozji i denudacji w warunkach lądowych, w panującym wówczas suchym, zwrotnikowym klimacie permu (Kuleta & Fijałkowska, 1995; Szulczewski, 1995), a następnie we wczesnym triasie, podczas transgresji morskiej postępującej od północnego zachodu (Pieńkowski, 1989; Kuleta *et al.*, 2006, 2009).

Rozkład facji w rejonie Góry Chełmowej wskazuje, że podczas sedymentacji cechsztynu i najniższych ogniw pstrego piaskowca była ona skalistym wzgórzem lub wyspą i podlegała intensywnemu niszczeniu (Kuleta *et al.*, 2006, 2009; Waksmundzki, 2012; Złonkiewicz & Becker, 2015). Nierówności powierzchni stropowej dewonu, odsłonięte w kamieniołomie, miejscami wypełnia brekcja rezydualna najprawdopodobniej wieku późnopermskiego, złożona z okruchów dolomitów. Na brekcji lub bezpośrednio na dewonie zalegają niezgodnie brunatnoczerwone utwory permu i dolnego triasu, o łącznej miąższości około 10 m. Zaliczono

je do trzech jednostek litostratygraficznych: formacji z Jaworznej, ogniwa z Zachełmia, wyróżnianego w obrębie tej formacji, oraz formacji z Zagnańska (Kuleta *et al.*, 2006, 2007, 2009; Fig. 4 A, B).

Formację z Jaworznej budują brunatnoczerwone piaskowce różnoziarniste z przeławiczeniami mułowców i iłowców. Ogniwo z Zachełmia tworzą zlepieńce złożone z często ostrokrawędzistych okruchów dolomitów, które tkwią w spoiwie mułowcowym.

Zdaniem Szulczewskiego (1995) zlepieńce, tworzące ogniwo z Zachełmia, stanowią pozostałość osadów rumoszowych i mułowych spływów grawitacyjnych, złożonych w proksymalnej części stożka napływowego, który rozwinął się u podnóża elewacji zbudowanej z dolomitów dewońskich. Natomiast piaskowce wyższej części formacji z Jaworznej są osadem jego części dystalnej. Według Kulety (Kuleta *et al.*, 2006, 2009; Kuleta & Zbroja, 2006) w profilach wierceń, znajdujących się na północ od kamieniołomu Zachełmie, w obrębie formacji z Jaworznej obserwować można ząbieanie się rzecznych osadów z morskimi, wyróżniającymi się obecnością ooidów i planktonicznych akritarch (Kuleta & Zbroja, 2006). Utwory piaskowcowo-mułowcowe zostały osadzone na nadbrzeżnej równi aluwialnej, częściowo w zbiornikach wodnych, z okresowymi ingresjami pobliskiego morza.

Przeprowadzone ostatnio obserwacje (Złonkiewicz & Becker, 2015) wskazują, że całość odsłoniętych w kamieniołomie utworów permsko-triasowych powstała w warunkach lądowych. Stanowią one wypełnienie wąwozu lub wąskiej dolinki o stromych zboczach, wyżłobionej w dewońskim podłożu. W profilu formacji dominują piaskowcowo-mułowcowe aluwia okresowych strumieni (korytowe i równi zalewowych), do których dostarczany był okruchowy materiał dolomitowy. Podczas zaniku przepływu powstawały odcięte, wysychające zbiorniki wodne typu playa, po których pozostały wkładki osadów ilasto-mułowcowych. W południowo-wschodnim narożniku kamieniołomu, w górnym biegu odsłoniętej tam kopalnej formy erozyjnej, niemal całość jej wypełnienia stanowią osady okruchowe, wyodrębnione jako ogniwo z Zachełmia (Fig. 1B, pkt 14; Fig. 21). Tworzące je zlepieńce są utworem pokrywowym powstałym ze zwietrzelin podłoża, które były przemieszczane po zboczach i gromadzone u ich podnóży w wyniku działania ruchów masowych (spełzwywania, spływów błotnych). Procesy deluwialne przerywała piaszczysta sedymentacja w strumieniach okresowych. Dalej ku zachodowi, w niższym biegu wąwozu/dolinki, zlepieńce zachowały się w postaci wąskich listew tarasowych w jej przydennej, brzeżnej części (Fig. 4B, 20; Fig. 1B, pkt 12, 13). Jeszcze niżej, w ścianie będącej pomnikiem przyrody (Fig. 1B, pkt 11; Fig. 19), w bardziej osiowej części tej formy erozyjnej, jedynie miejscami zachowała się cienka warstewka zlepieńca, wypełniająca zagłębienia w podłożu.

W formacji z Jaworznej niemal brak jest paleontologicznych wskaźników wieku, z wyjątkiem fauny muszloraczków (*Conchostraca*), na podstawie których Ptaszyński

i Niedźwiedzki (2004) określili jej wiek jako późny perm, jedynie najwyższe kilkadziesiąt centymetrów profilu, reprezentowane przez iłowce (mułowce ilaste), zaliczając do wczesnego triasu. Obserwacje przeprowadzone w odsłonięciu w 2016 r. przez Złonkiewicza (materiały niepublikowane) ujawniły niezgodność erozyjną i kątową między tym stropowym pakietem a podścielającymi je osadami mułowcowo-piaskowcowymi. Podkreśla ona wieloetapowy charakter sedymentacji aluwialnej, z wyraźną przerwą czasową w najwyższej części profilu tej formacji. W swej późniejszej pracy Ptaszyński i Niedźwiedzki (2006) zaliczyli całą formację z Jaworznej do górnego permu – changhsingianu. Taka interpretacja nie znalazła potwierdzenia w badaniach innych autorów (por. Pieńkowski, 1989, 1991; Fijałkowska, 1994a, 1994b; Nawrocki *et al.*, 2003, 2005; Kuleta & Zbroja, 2006; Becker, 2014, 2015; Szulc *et al.*, 2015; Trela & Fijałkowska-Mader, 2017; Fijałkowska-Mader & Złonkiewicz, 2018).

W świetle wyników najnowszych prac, dotyczących stratygrafii osadów z pogranicza permu i triasu oraz wieku fauny muszloraczkowej (Scholtze *et al.*, 2016, 2017), ogniwo z Zachełmia należałoby zaliczyć do permu, natomiast nadległą, piaskowcowo-mułowcową część formacji z Jaworznej – do dolnego triasu.

Leżącą powyżej formację z Zagnańska reprezentują średnio- i gruboławicowe jasnoszare piaskowce. W dolnych częściach ławic, w tym także bezpośrednio nad spągiem formacji, będącym zarazem granicą erozyjną, zazwyczaj obserwuje się zróżnicowaną domieszkę ostrokrawędzistych okruców iłowcowo-mułowcowych, które pochodzą z formacji z Jaworznej. Rzadziej spotyka się ziarna żwiru kwarcowego, kwarcytowego bądź dolomitowego. Nadają one skałe charakter zlepieńca. Utwory formacji z Zagnańska stanowią wypełnienie kanałów erozyjnych rzeki roztokowej (Szulczewski, 1995; Kuleta *et al.*, 2007).

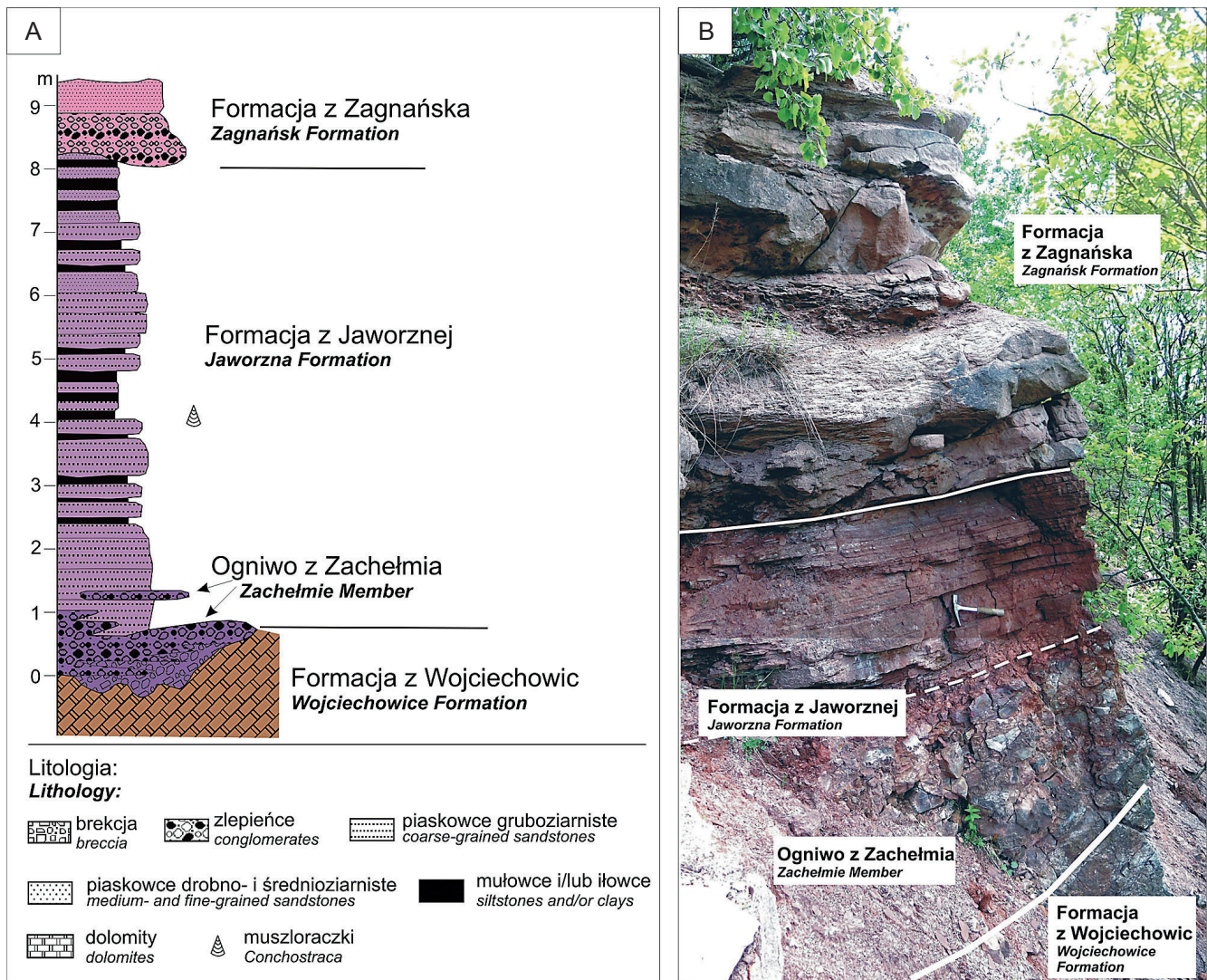


Fig. 4. Profil osadów dolnego triasu (Fig. 1B, pkt 13), leżących niezgodnie na dolomitach dewonu we wschodniej ścianie kamieniołomu Zachełmie, fot. Z. Złonkiewicz. A – według Kuleta *et al.* (2006), B – według Złonkiewicz & Becker (2015) • Section of the Lower Triassic deposits (Fig. 1B, stop 13), overlying an unconformity surface of the Devonian dolomites in the eastern wall of the Zachełmie quarry, photo Z. Złonkiewicz. A – according to Kuleta *et al.* (2006), B – according to Złonkiewicz & Becker (2015)

Georóżnorodność kamieniołomu

Autorzy proponują utworzenie ścieżki geodukacyjnej, która zaczyna się i kończy u wejścia do kamieniołomu. Na pięciu stanowiskach i w 14 punktach szczegółowych prezentuje ona różne procesy i zjawiska geologiczne (Fig 1B). Stanowiska I–III obejmują utwory dewonu, stanowiska IV i V utwory permu i triasu oraz powierzchnię ich kontaktu z utworami dewońskimi. Obserwacje będą prowadzone w kolejności chronologicznej, zaczynając od najstarszych odsłoniętych warstw.

Stanowisko I obejmuje punkty obserwacyjne 1, 2, 7 oraz tablicę informacyjną (Fig. 1B, Tablica B), na której przedstawiono najistotniejsze informacje geologiczne o tutaj utworach dewonu. W ścianie południowo-zachodniej części kamieniołomu (Fig. 1B, pkt 1) powierzchnie ławic

dolomitów z dewońskiej formacji z Wojciechowic pokryte są charakterystycznymi, nieregularnymi plackowatymi strukturami, o koncentrycznej budowie (Fig. 5A, B). Stanowią one powierzchnie środkowodewońskiej **maty sinicowej – stromatolitowej**. W zależności od dynamiki wód kolonie sinic przybierają postać płaskich mat biogenicznych lub przylegających do siebie plackowatych komórek (Fig. 6), ewentualnie izolowanych kopulek. W pionowych przekrojach stromatolitów widoczne są linie przyrostów około milimetrowej grubości. W cyklu rocznym powstawały warstewki maty biogenicznej na przemian z nagromadzeniami uwiecznionych w niej bardzo drobnych okruchów mineralnych oraz pokruszonych szczątków biogenicznych (np. muszli). Odsłonięcia rozległych powierzchni dewońskich stromatolitów z Zachelmia należą do najlepiej zachowanych na świecie z tego okresu.

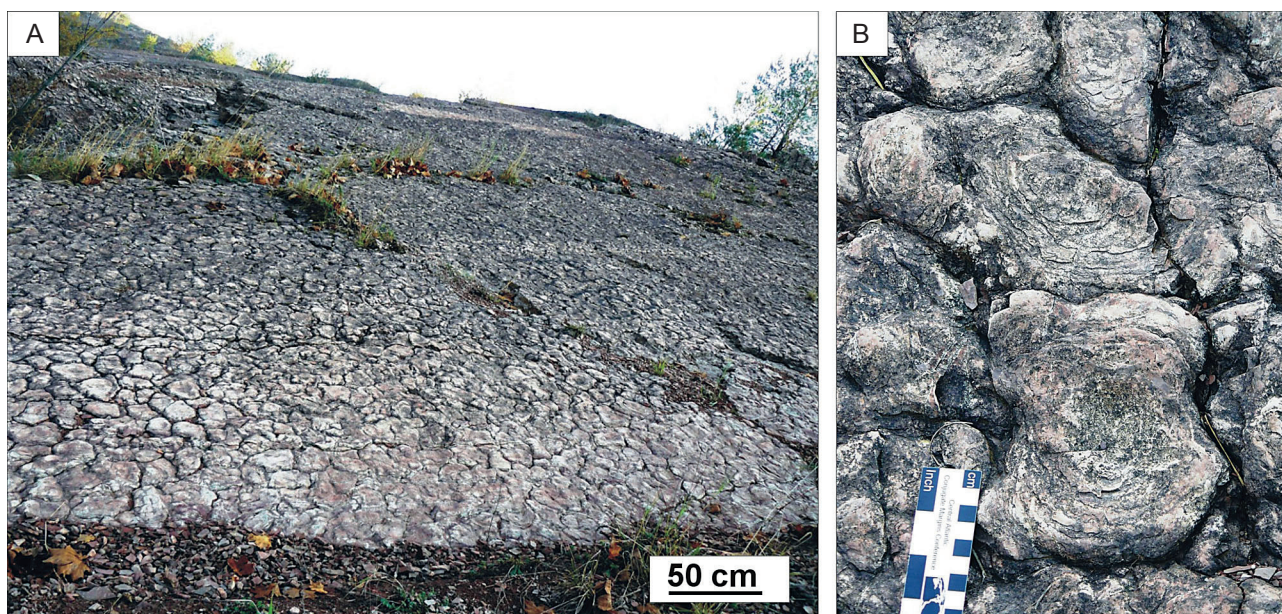


Fig. 5. Kopalnia powierzchnia dna morskiego (Fig. 1B, pkt 1) z kolonijnymi strukturami sinicowymi (stromatolitami), fot. Z. Złonkiewicz. A – strop ławicy stromatolitowej w południowo-zachodniej ścianie kamieniołomu, B – komórkowe kolonie sinic o plackowatym kształcie • Palaeosurface of a sea bottom (Fig. 1B, stop 1) with cyanobacteria colony structures (stromatolites), photo Z. Złonkiewicz. A – upper surface of stromatolite bed in SW wall of the quarry, B – pancake-shaped structures of nodular cyanobacteria colonies



Fig. 6. Przekrój poprzeczny przez biogeniczne struktury sinicowe – plackowate kolonie komórkowate oraz płaskie maty (Fig. 1B, pkt 1). Widoczne laminy przyrostu rocznego stromatolitów, fot. Z. Złonkiewicz • Cross section of biogenic cyanobacteria structures – pancake shaped nodular colonies and planar mats (Fig. 1B, stop 1). Laminas of stromatolite yearly accretion are visible, photo Z. Złonkiewicz

Miejscami na granicach lamin obserwuje się **bąble i kanały gazowe**, utworzone przez uwięziony w osadzie gaz pochodzący z gnicia materii organicznej (Fig. 1 B, pkt 2; Fig. 7).

Środowisko płytkomorskie pogłębiającego się morza dewońskiego sprzed blisko 400 mln lat, którego kopalne osady formacji z Wojciechowic odsłonięto w Zachełmiu, przypominało współczesne nam wybrzeża Florydy. Warstwy skalne widoczne w południowej ścianie są kopalnymi osadami płytkiej laguny, położonej na obszarze równi pływowej, czyli wśród skrajnie płytkowodnych obszarów bliskich linii brzegowej. Rozwój sinic bywał przerywany bardziej intensywnym gromadzeniem mułu węglanowego. Powstały wówczas monotonne osady węglanowe. Następowaly wahania poziomu morza, podczas których – zdaniem części badaczy – mogło dochodzić do okresowych wynurzeń i wysychania świeżego osadu. Jako jego ślad, tzw. szczeliny z wysychania, zinterpretowano poligonalne struktury o brzegach podgiętych do góry, powstałe na stropowej powierzchni warstw (Fig. 1 B, pkt 2; Fig. 8). Wydaje się jednak bardziej prawdopodobne, że obserwowane struktury, uwiecznione na stropie ławicy, są jedynie kontynuacją spękań rozdzielających plackowate kolonie sinicowe w nadległej warstwie stromatolitów.

Stanowisko II grupuje kolejne zjawiska w utworach dewonu. Międzynarodową sławę przyniosło kamieniołomowi odkrycie struktur zinterpretowanych jako najstarsze na świecie lądowe ślady czworonożnego kręgowca – tetrapoda (Niedźwiedzki & Szrek, 2008, 2011; Niedźwiedzki *et al.*, 2010; Złonkiewicz, 2016a). Mają one formę nieregularnych zagłębień na powierzchni ławicy dolomitów, wyeksponowanych w południowej ścianie kamieniołomu



Fig. 7. Kanały i bąble gazowe zachowane na granicznych powierzchniach lamin dolomitów (Fig. 1B, pkt 2). Utworzył je gromadzący się gaz, który powstał z gnicia materii organicznej zawartej w osadzie, fot. Z. Złonkiewicz • Gas channels and bubbles preserved on surfaces of dolomite lamina boundaries (Fig. 1B, stop 2). They were formed by gas that originated by decay of organic matter included in the deposit, photo Z. Złonkiewicz

(Fig. 1B, pkt 3; Fig. 9). Dotychczas, oprócz pojedynczych śladów, udokumentowano tu dwie powierzchnie ze stosunkowo licznymi tropami, zachowane na stropach ławic dolomitów o homogenicznej strukturze, utworzonych z drobnokrystalicznego mułu węglanowego. Tkwią one w dolnej części profilu formacji z Wojciechowic, między ławicami stromatolitowymi. Pierwsza, dzięki której dokonano odkrycia w 2004 r., nadal znajduje się w kamieniołomie, powyżej tablicy informacyjnej poświęconej tetrapodowi (Fig. 1B, Tablica C). Natomiast bloki dolomitów z drugą powierzchnią przewieziono do Oddziału Świętokrzyskiego Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Kielcach, gdzie stanowią one okaz muzealny. Pojedyncze, najcenniejsze okazy śladów zabezpieczono w siedzibie Instytutu w Warszawie.



Fig. 8. Powierzchnia stropowa ławicy podścielającej warstwę stromatolitów (Fig. 1B, pkt 2). Kontynuują się na niej poligonalne szczeliny spękania między komórkami kolonijnymi sinic z nadległej warstwy stromatolitów. Struktury te są też interpretowane jako kopalne szczeliny powstałe pod wpływem wysychania na wynurzonej powierzchni dna (por. Qvarnström *et al.*, 2018), fot. Z. Złonkiewicz • Upper surface of a layer underlying stromatolite bed (Fig. 1B, stop 2). Polygonal crack structures separating cyanobacteria colonies of overlying layer continued on the surface. These structures use to be interpreted as palaeo-desiccation cracks that originated on emerged sea bottom (e.g. Qvarnström *et al.*, 2018), photo Z. Złonkiewicz

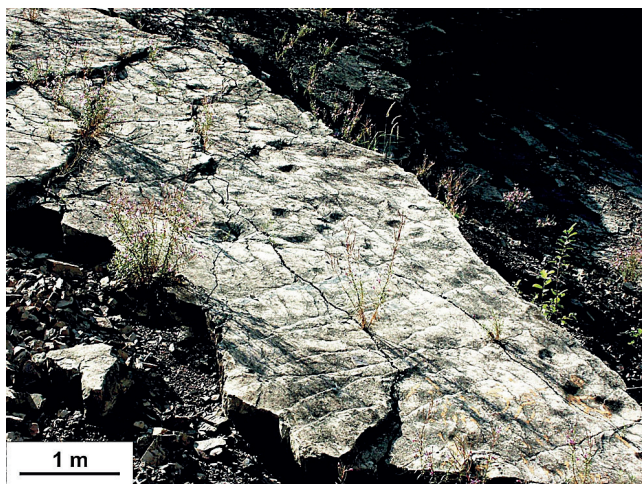


Fig. 9. Powierzchnia ławicy dolomitów z zachowanymi tropami tetrapoda, rok 2004 (Fig. 1B, pkt 3), fot. Z. Złonkiewicz • Surface of dolomite bed with preserved tetrapod's footprints (Fig. 1B, stop 3), photo taken by Z. Złonkiewicz in 2004.



Fig. 10. Wypełnienia śladów żerowania bezkręgowców na dnie, odciśnięte na spągowej powierzchni nadległej ławicy (Fig. 1B, pkt 4). Blok skalny leżący u podnóża powierzchni z tropami tetrapodów, fot. Z. Złonkiewicz • Filling of invertebrate feeding structures on a sea bottom saved on a lower surface of overlying bed (Fig. 1B, stop 4). Block laying in front of the tetrapod's footprints surface, photo Z. Złonkiewicz

Znalezienie konodonty *Bipennatus bipennatus montensis* (Wedigge), w profilu znajdującym się kilka metrów powyżej interwału ze strukturami tropopodobnymi, wykazało przynależność utworów do poziomu *costatus*, a tym samym określiło ich wiek na eifel, czyli wczesny dewon środkowy (Kaufman, 2006; Narkiewicz & Narkiewicz, 2010, 2015). Rozpoznanie warunków środkowodewońskiego środowiska sedymentacji pozwoliło twierdzić, że „(...) tetrapod z Zachelmia nie dość, że był doskonałym pływakiem, nie gorszym niż ryby, jego ewolucyjni przodkowie, miał jednak nad nimi ogromną przewagę. Możliwość oddychania tlenem z powietrza pozwalała mu przebywać na lądzie, zasiedlonym przez prymitywne rośliny. Dopiero od niedawna mogły sobie na to pozwolić nieliczne pionierskie stawonogi: skoczogonki, pajęczaki i wije. Natura obdarzyła tetrapoda kończynami, które w morzu spełniały rolę płetw, a na lądzie umożliwiały sprawne przemieszczanie się w „w pogoni” za pożywieniem. Jego ciało zapewne pokrywała wilgotna skóra, przypominająca skórę dzisiejszych płazów lub gadów. Te nowe zdobycze adaptacyjne pozwoliły mu funkcjonować na pograniczu dwóch światów – morza i lądu. W nowym środowisku nie miał naturalnych wrogów. Musiał jedynie dbać, by jego skóry nie wysuszyło gorące słońce strefy przyrównikowej, w której podczas dewonu znajdował się obszar świętokrzyski (...)” (Złonkiewicz, 2011).

Odkrycie z Zachelmia wykazało, że czworonogi penetrowały suchy ląd około 18 mln lat wcześniej, niż liczyły sobie najstarsze, dotąd znalezione, okazy tropów. Ponadto stwierdzono, że wyjście kręgowców na ląd nastąpiło wprost z morza, a nie ze słodkowodnych rzek, jak głosiły wcześniejsze teorie (por. Niedźwiedzki & Szrek, 2008, 2011; Niedźwiedzki *et al.*, 2010).

Najnowsza praca, dotycząca środowisk sedymentacji w Zachelmiu (Qvanström *et al.*, 2018), sugeruje istnienie

okresowych, słodkowodnych akwenów na dewońskiej platformie węglanowej. Jest to powrót do teorii o „wynurzeniu” się kręgowców ze słodkich wód. Wydaje się jednak bardzo mało prawdopodobne, by w powszechnie wówczas panujących w tej części Europy warunkach morskich, istniały na obszarze świętokrzyskim rozległe wynurzone obszary lądowe, na których mógł powstać rozbudowany system słodkowodny, umożliwiający wyewoluowanie takiego zwierzęcia. W ostatnich latach pojawiły się też publikacje całkowicie negujące sensacyjną genezę struktur z Zachelmia i przypisujące ich utworzenie żerującym rybom (Lucas, 2015).

U podnóża powierzchni z tropami tetrapodów, na kopalnej powierzchni dna, napotyka się nagromadzenie śladów żerowania bezkręgowców (Fig. 10; Fig. 1B, pkt 4).

W niższej części profilu dolomitów w południowej ścianie kamieniołomu obserwuje się ślady drobnych **osuwisk podmorskich** (Fig. 11; Fig. 1B, pkt 5). Ich skala świadczy o stosunkowo niewielkim nachyleniu dna morskiego. Podczas waryscyjskich ruchów tektonicznych warstwy dolomitów zostały nachylone ku północy pod kątem około 40°. Powstały **uskoki** równoległe i poprzeczne do osi kamieniołomu. Miejscami rysy tektoniczne wskazują kierunek przesuwu bloków skalnych. Niektóre ze szczelin uskoków wypełnione zostały rumoszem skalnym, który uległ ponownej cementacji, tworząc brekcję (Fig. 12; Fig. 1B, pkt 6).

Łudząco podobne do zjawisk tektonicznych (fałdów) mogą być haki zboczowe (Fig. 13; Fig. 1B, pkt 7). Widoczne są one w kilku miejscach w południowej ścianie kamieniołomu (stanowisko I, II). Powstały najprawdopodobniej podczas eksploatacji i podcięcia ściany przez wyrobisko, gdy cienkie ławice dolomitów uległy pokruszeniu i odgięciu pod wpływem grawitacyjnego zsuwania nadległych warstw.



Fig. 11. Fragment podmorskiego osuwiska w obrębie dolomitów formacji z Wojciechowic (Fig. 1B, pkt 5), fot. Z. Złonkiewicz • Fragment of submarine landslide in dolomites of the Wojciechowice Formation (Fig. 1B, stop 5), photo Z. Złonkiewicz



Fig. 12. Powierzchnia uskoku w dolomitach. Po prawej stronie zdjęcia widoczna brekcja tektoniczna, powstała w szczelinie uskoku (Fig. 1B, pkt 6), fot. Z. Złonkiewicz • Surface of a fault in dolomites. Tectonic breccia in a fault fissure visible on the right of the photo (Fig. 1B, stop 6), photo Z. Złonkiewicz



Fig. 13. Haki zboczowe z cienkich ławic dolomitów, które zostały pokruszone i odgięte prostopadle względem pierwotnego ułożenia, pod wpływem grawitacyjnego zsuwania nadległych warstw skalnych, podciętych wyrobiskiem (Fig. 1B, pkt 7), fot. Z. Złonkiewicz • Slope hacks of thin dolomite beds that got cracked and bowed vertically by gravitational slide of overlying beds, cut by the quarry mining (Fig. 1B, stop 7), photo Z. Złonkiewicz

Postępujący w środkowym dewonie wzrost poziomu morza powodował stopniowe zatapianie równi pływowych i lagun, a na ich miejscu rozwój środowisk płytkiego szelfu. Ponad ławicami z komórkowymi koloniami sinicowymi zalegają warstwy dolomitowe utworzone z monotonnego mułu węglanowego, na przemian z pakietami ławic stromatolitycznych o zazwyczaj poziomej laminacji. Ku górze profilu coraz rzadsze są sinicowe struktury stromatolityczne. Coraz liczniej zaś pojawiają się fragmenty amfipor, będących gałązkową odmianą stromatoporoidów, czyli prymitywnych gąbek, wymarłych w dewonie. Z rzadka natrafić można na zazwyczaj pokruszone muszle ramienionogów. Ich obecność może wskazywać na słabe oddziaływanie sztormów. Jedynie sporadycznie spotyka się klapy muszli zachowane w całości, przeważnie leżące poziomo, zarówno ułożone wygięciem ku górze, jak i odwrotnie (Fig. 14; Fig. 1B, pkt 8). Nie częściej dostrzec można wielopiętrowe kanały pozostawione przez krewetki penetrujące przydenną warstwę osadu (Fig. 15; Fig. 1B, pkt 8).



Fig. 14. Muszle ramienionogów w warstwach dolomitów (Fig. 1B, pkt 8), fot. Z. Złonkiewicz. A – nagromadzenie na powierzchni spągowej, B – muszle rozproszone wewnątrz ławicy • Brachiopod shells in dolomite beds (Fig. 1B, stop 8), photo Z. Złonkiewicz: A – concentration on the bottom surface, B – separate shells within a layer

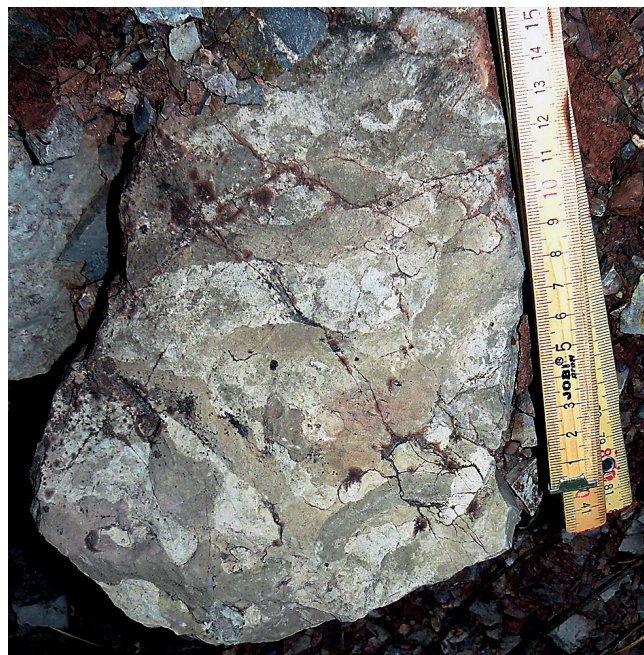


Fig. 15. Wielopiętrowe kanały żerowiskowe krewetek w przydennej warstwie osadu (Fig. 1B, pkt 8), fot. Z. Złonkiewicz • Multistory feeding shrimp channels in a bottom layer of sediment (Fig. 1B, stop 8), photo Z. Złonkiewicz



Fig. 16. Kolonia amfipor – gałązkowej odmiany stromatoporoidów (prymitywnych gąbek) w dolomitach (Fig. 1B, pkt 9), fot. Z. Złonkiewicz • Colony of amfiporoids – branched stromatoporoids (primitive sponges) in dolomites (Fig. 1B, stop 9), photo Z. Złonkiewicz

W stanowisku III, w najmłodszej części profilu formacji z Wojciechowic (ściana północno-wschodnia kamieniołomu), **amfipory** tworzą **kolonijne nagromadzenia**, nadając skale charakter dolomitów amfiporowych (Fig. 16, Fig. 1B, pkt 9).

W tej samej ścianie kamieniołomu obserwujemy **mineralizację** związkami żelaza, głównie **hematyt** [Fe_2O_3] o wiśniowej barwie (Fig. 1B, pkt 10), związaną ze strefą uskoku poprzeczną do osi wyrobiska. Hematyt tworzy

nagromadzenia w obrębie dolomitów, pierwotne – żyłowe oraz wtórne – gniazdowe, będące wynikiem koncentracji produktów wietrzenia w warunkach pustynnego klimatu permskiego i wczesnotriasowego (Rubinowski red., 1966). Mineral występuje w postaci drobnokrystalicznej oraz tzw. śmietany hematytowej, stanowiącej mieszaninę ilowca i hematytu (Fig. 17). Hematytowi towarzyszą **kalcyt**, **baryt**, **kwarc**, **dolomit** (Fig. 18), **syderyt**, **ankeryt** i **tlenki**

manganu, wspólnie określone jako „mineralizacja typu Zachełmie” (Rubinowski, 1966). W latach przedwojennych hematyt był tu przedmiotem ubocznej eksploatacji (Król *et al.*, 2011). Informacje o mineralizacji mogłyby zostać przedstawione na proponowanej tablicy, umieszczonej u podnóża ściany (Fig. 1B, Tablica D). W tej części wyrobiska względny bezpieczeństwa skłaniają do prowadzenia obserwacji mineralogicznych i paleontologicznych przede wszystkim w blokach licznie nagromadzonych u podnóża ścian skalnych.



Fig. 17. Mineralizacja hematytowa oraz kalcytowa w dolomitach (Fig. 1B, pkt 10), fot. Z. Złonkiewicz • Hematite and calcite mineralization in dolomites (Fig. 1B, stop 10), photo Z. Złonkiewicz



Fig. 18. Kryształki dolomitu otoczone hematytem (Fig. 1B, pkt 10), fot. Z. Złonkiewicz • Dolomite crystals in hematite surrounding (Fig. 1B, stop 10), photo Z. Złonkiewicz

Powierzchnia niezgodności tektoniczno-erozyjnej między dolomitami środkowodewońskimi a permsko-triasowymi osadami terygenicznymi (stanowisko V, Fig. 1B, pkt 11; Fig. 19), będąca pomnikiem przyrody, stanowiła największą atrakcję geologiczną kamieniołomu do czasu odkrycia

śladów tetrapoda. Warstwy dolomitów zapadają w niej pod kątem 40° ku północy, zaś nadległe utwory permsko-triasowe nachylone są w różnych kierunkach, ku północy, północnemu zachodowi i wschodowi, pod kątem około 10° . Powierzchnia ta odsłania się także we wschodniej ścianie kamieniołomu na stanowisku IV (Fig. 1B, pkt 12–14; Fig. 4, Fig. 20). Erozja rzeźbiła ją w późnym karbonie i permie, przez około 75 mln lat, dzięki czemu powstała luka, w której brak jest osadów reprezentujących około 140 mln lat. Modelowo dokumentuje ona kontakt piętra waryscyjskiego i alpejskiego. Widoczne w niej zagłębienia (rozpadliny, szczeliny), najprawdopodobniej w późnym permie zostały wypełnione materiałem rumoszowym, pochodzącym z pokruszonych dolomitów (brekcja). Podstawowe informacje geologiczne o odsłoniętej w kamieniołomie powierzchni niezgodności, ponadto o waryscyjskich ruchach górotwórczych i tutejszych osadach permsko-triasowych, przedstawiono na tablicy informacyjnej (Fig. 1B, Tablica F).

Na stanowisku V, w północnej ścianie przewężenia kamieniołomu, a ponadto na stanowisku IV w ścianie wschodniej wyrobiska (Fig. 1B, pkt 11–14; Fig. 4, 19–21) na długości kilkudziesięciu metrów prześledzić można zmiany środowisk depozycji, zapisane w osadach permsko-triasowych. Dokumentują one następstwo facjalne osadów wypełniających kopalny wąwóz (dolinę) – od rezydualnych brekcji kontynentalnych, przez zlepieńcowe osady spływów błotnych i spełzywania (ogniwo z Zachełmia), po piaskowcowo-mułowcowe aluwialne utwory korytowe i równi zalewowej oraz iłowcowo-mułowcowe osady jeziorok okresowych typu playa (formacja z Jaworznej). W utworach formacji z Jaworznej obecne są muszloraczkki, fragmenty łodyg skrzypów, ponadto liczne przejawy działalności bezkręgowców penetrujących muł, tropy gadów oraz ślady po korzeniach roślin i szczeliny z wysychania (Kuleta *et al.*, 2006, 2009). Proponuje się przedstawienie na tablicy informacyjnej (Fig. 1B, Tablica E) umieszczonej u podnóża wschodniej ściany kamieniołomu na stanowisku IV, bardziej szczegółowych informacji o gromadzeniu osadów w kopalnym wąwozie, który wciną się w Górę Chełmową w permie-triasie.

Na stanowisku V, w ścianie kamieniołomu objętej ochroną pomnikową (Fig. 1B, pkt 11, Fig. 22), najwyższą część profilu formacji z Jaworznej (około 0,8 m) tworzą iłowce (mułowce ilaste), przeważnie intensywnie czerwono-brązowe, których gęsta laminacja równoległa jest nachylona ku wschodowi, zgodnie z upadem warstw nadległych piaskowców formacji z Zagnańska. Podściela ją ponad metrowej miąższości pakiet silnie zwietrzałych, rozsypliwych, cienkoławicowych utworów mułowcowych, które w części przystropowej są laminowane poziomo. Upad mułowców ku północnemu zachodowi odpowiada nachyleniu, leżącemu poniżej, pakietu mułowcowo-piaskowcowego, który tworzy większość profilu formacji z Jaworznej. Znaczenie tej niedawno stwierdzonej, a znajdującej się w obrębie formacji z Jaworznej, wyraźnej niezgodności kątowej pomiędzy pakietami iłowców i zwietrzałych mułowców jest obecnie przedmiotem badań.



Fig. 19. Powierzchnia niezgodności tektoniczno-erozyjnej między dwoma piętrami strukturalnymi: waryscyjskim, reprezentowanym przez środkowodeńskie dolomity formacji Wojciechowiec i alpejskim, do którego należą terygeniczne utwory permu i triasu (brekcja, formacja z Jaworznej, formacja z Zagnańska). Północna ściana w przewężeniu kamieniołomu Zachelmie (Fig. 1B, pkt 11) stanowiąca pomnik przyrody nieożywionej, fot. Z. Złonkiewicz • Tectonic-erosion unconformity surface between two structural stages: Variscan, represented by the Middle Devonian dolomites of the Wojciechowice Formation, and Alpine, built of terrigenous Permian and Triassic deposits (breccia, Jaworzna Formation, Zagnańsk Formation). Northern wall in a narrowing part of the Zachelmie quarry (Fig. 1B, stop 11) being a natural monument, photo Z. Złonkiewicz

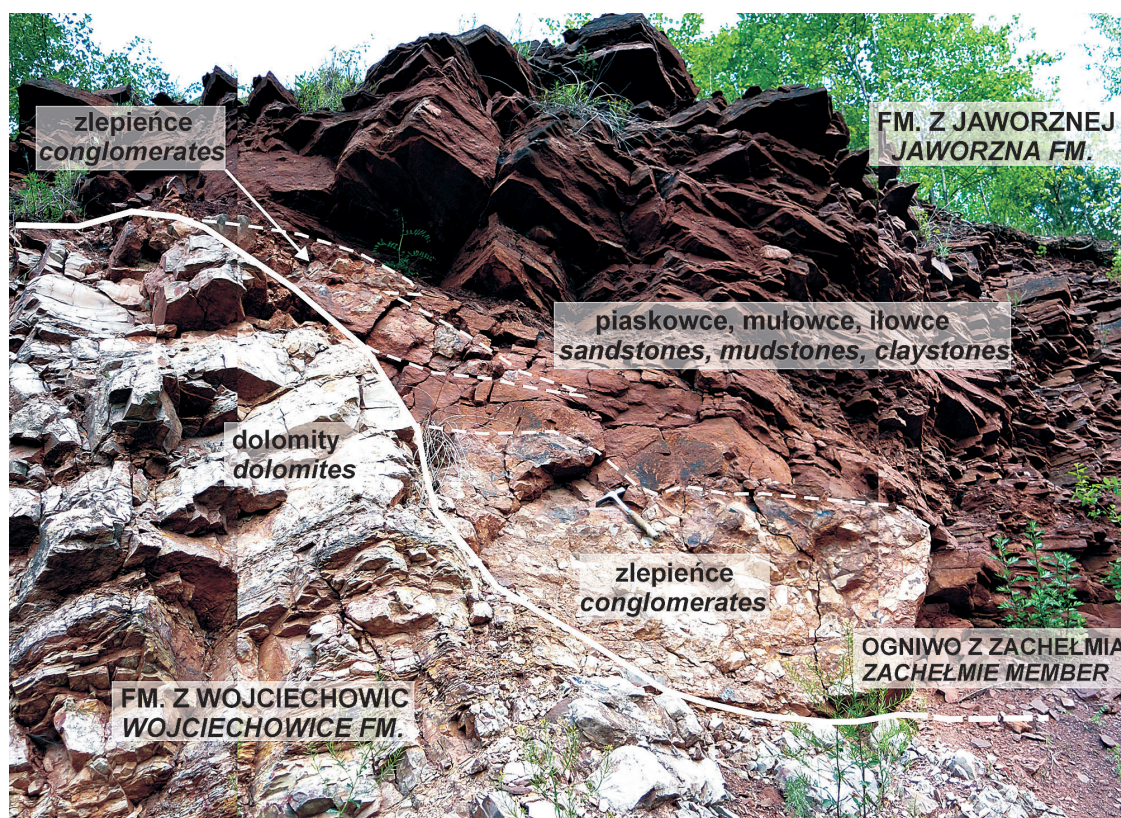


Fig. 20. Zachodnia krawędź kopalnej dolinki/wąwozu, wyłobionej w dolomitach formacji z Wojciechowiec. Jej wypełnienie stanowią utwory formacji z Jaworznej, wykształcone jako zlepieńcowate osady splywów gruzowo-błotnych, zachowane w postaci tarasów (ogniwo z Zachelmia) oraz piaskowcowo-mułowcowo-iłowcowe osady okresowych strumieni i jeziorok typu playa. Wschodnia ściana kamieniołomu Zachelmie (Fig. 1B, pkt 12), fot. Z. Złonkiewicz • Western wall margin of a palaeo valley/ravine, cut in dolomites of the Wojciechowice Formation. It's filled with the Jaworzna Formation represented by conglomerate deposits of mud-debris flows forming terraces (Zachelmie Member), as well as sandstone-mudstone-clay deposits of temporary creeks and playa-like ponds. Eastern wall of Zachelmie quarry (Fig. 1 B, stop 12), photo Z. Złonkiewicz



Fig. 21. Zlepieńcowate utwory spływów gruzowo-błotnych (ogniwo z Zachelmnia), ku górze przechodzące w osady aluwialne. Południowo-wschodni narożnik kamieniołomu Zachelmnie (Fig. 1B, pkt 14), fot. Z. Złonkiewicz • Conglomerate deposits of mud-debris flows (Zachelmnie Member) upwards alternated by alluvial deposits. South-eastern corner of the Zachelmnie quarry (Fig. 1B, stop 14), photo Z. Złonkiewicz



Fig. 22. Lokalna niezgodność kątowna w górnej części formacji z Jaworznej, fot. Z. Złonkiewicz • Local tectonic unconformity within the upper part of the Jaworzna Formation, photo Z. Złonkiewicz

Najwyższą część odsłoniętego profilu (do około 2,5 m), zaliczoną do dolnotriasowej formacji z Zagnańska, tworzą osady korytowe rzeki roztokowej. Ich spąg jest granicą erozyjną. Wykształcone są jako ławice jasnoszarych, warstwowych piaskowców różnoziarnistych, w części przyspągowej zawierających okruchy czerwono-brązowych mułowców i iłowców formacji z Jaworznej.

W tej samej ścianie (Fig. 1B, pkt 11), w profilu formacji z Jaworznej, Ptaszyński odkrył słabo zachowane ślady dinozauromorfa, należącego do ichnorodzaju *Prorotodactylus* (Kędracki, 2015). Zachowane w osadach z pogranicza permu i triasu reprezentują one najstarsze tropy dinozaurów na świecie. Ichnorodzaj *Prorotodactylus* został zdefiniowany przez tego badacza na podstawie jego znalezisk z lat 90. XX wieku w osadach dolnego triasu w Wiórach koło Ostrowca Świętokrzyskiego (Ptaszyński, 2000).

Utwory odsłaniające się w Zachelmniu były przykryte młodszymi osadami mezozoicznymi, znanymi obecnie z obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. Wypiętrzenie i sfałdowanie całego obszaru świętokrzyskiego, podczas orogenezy alpejskiej, na pograniczu kredy i paleogenu (przed 65 mln lat), zapoczątkowało ich erozję, która z różnym natężeniem trwa do dziś.

Podsumowanie

Kamieniołom Zachelmnie cechuje się wyjątkową georóżnorodnością, o dużym potencjale geoedukacyjnym. Bardzo dobrze jest tu wyeksponowana powierzchnia niezgodności tektonicznej, dokumentująca waryscyjskie ruchy górotwórcze. Widoczny profil osadów odzwierciedla zmiany środowisk sedymentacji w środkowym dewonie oraz w permie i we wczesnym triasie. Jest on bardzo ważny w aspekcie problemu wyznaczenia granicy permu i triasu w regionie świętokrzyskim. Odciski uznane za ślady najstarszego tetrapoda i najstarszych dinozaurów są wyjątkowo istotne dla poznania ewolucji lądowych kręgowców. Nie mniejsze zainteresowanie budzi szczególnie parageneza minerałów, nosząca nazwę „mineralizacja typu Zachelmnie”.

Obserwowana w kamieniołomie georóżnorodność pozwala osobom odwiedzającym to miejsce przybliżyć wiedzę o rozwoju geologicznym Gór Świętokrzyskich, a dla

geologów stanowi niewyczerpane źródło informacji. Dodatkowymi walorami tego geostanowiska są tablice informacyjne oraz łatwy i bezpieczny dostęp do odsłonięć.

Literatura

- Becker A., 2014. Conchostracan stratigraphy of the Permian/Triassic boundary – reality or myth? *Przegląd Geologiczny*, 62: 184–189.
- Becker A., 2015. Ambiguities in conchostracan biostratigraphy: A case study of the Permian–Triassic Boundary. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 85: 697–701.
- Czarnocki J., 1957. Stratygrafia i tektonika Gór Świętokrzyskich. *Prace Instytutu Geologicznego*, 18: 5–133.
- Dz. Urz. Woj. Święt. z 2010 r. Nr 298, poz. 3076 – Zarządzenie 5/2010 Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Kielcach z dnia 8 listopada 2010 w sprawie uznania za rezerwat przyrody.
- Fijałkowska A., 1994a. Palynological aspects of the Permo-Triassic succession in the Holy Cross Mts. *Documenta Naturae*, 87: 1–76.
- Fijałkowska A., 1994b. Palynostratigraphy of the Lower and Middle Buntsandstein in north-western part of the Holy Cross Mts. *Geological Quarterly*, 38: 59–96.
- Fijałkowska-Mader A. & Złonkiewicz Z., 2018. Rozwój sedimentacji permsko-mezozoicznej w Górach Świętokrzyskich na tle obszarów przyległych. W: Ludwikowska-Kędzia M., Wiatrak M. (red.), *XX Konferencja Naukowa – Stratygrafia Plejstocenu Polski. Plejstocen Gór Świętokrzyskich, Huta Szklana, 3–7 września 2018 r.*, Politechnika Świętokrzyska Kielce, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, 11–33.
- Golonka J., 2007. Phanerozoic paleoenvironment and paleolithofacies maps. Late Paleozoic. *Geologia*, 33: 145–209.
- Kaufman B., 2006. Calibrating the Devonian Time Scale: A synthesis of U–Pb ID–TIMS ages and conodont stratigraphy. *Earth-Sciences Review*, 76: 175–190.
- Kędracki J., 2015. Światowe odkrycie pod Kielcami. Najstarszy dinozaur też jest z Zachelmia. [online]. Available from: <http://kielce.wyborcza.pl/kielce/1,47262,18823742,swiatowe-odkrycie-pod-kielcami-najstarszy-dinozaur-tez-jest.html>.
- Kowalczewski Z. & Rup M., 1989. Cechsztyń w Górach Świętokrzyskich. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 362: 5–39.
- Kozak B., 2009. *Zagnańskie kolejki wąskotorowe*. Wydawnictwo Ciężki Kształtu, Łomianki.
- Król B., Urban J., Garus R., 2011. *Zabytki górnictwa i hutnictwa Staropolskiego Okręgu Przemysłowego w dolinie Górnej Bobrzy: przewodnik po obszarze Lokalnej Grupy Działania „Dorzecze Bobrzy”*. Wydawnictwo Agencja JP s.c., Kielce.
- Kuleta M., 1996. Basen sedimentacyjny dolnego pstręgo piaskowca w Górach Świętokrzyskich. W: *Analiza basenów sedimentacyjnych a nowoczesna sedimentologia – V Krajowe Spotkania Sedymetologów – Warszawa–Góry Świętokrzyskie–Ponidzie–Mazowsze, 17–21.06.1996: materiały konferencyjne*, 1–25.
- Kuleta M., 2000. Osady pstręgo piaskowca w kamieniołomie Zachelmie. *Posiedzenia Naukowe PIG*, 56: 128–130.
- Kuleta M. & Fijałkowska A., 1995. Zmiana środowisk sedimentacji na granicy permu i triasu w południowej Polsce. *Posiedzenia Naukowe PIG*, 51: 114.
- Kuleta M., Niedźwiedzki G., Ptaszyński T., Nawrocki J., 2007. Stop IV.4. Zachelmie – dolomite quarry. W: Szulc J., Becker A. (red.), *International Workshop on the Triassic of Southern Poland, September 3–8, 2007. Field trip guide*: 69–71.
- Kuleta M., Trela W., Zbroja S., 2009. Paleomorfolgia a zapis sedimentacyjny dolnego pstręgo piaskowca (dolny trias) w NW części Gór Świętokrzyskich na przykładzie kamieniołomu Zachelmie. W: Ludwikowska-Kędzia M., Wiatrak M. (red.), *Znane fakty – nowe interpretacje w geologii i geomorfologii*, Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce, 63–74.
- Kuleta M. & Zbroja S., 2006. Wczesny etap rozwoju pokrywy permsko-mezozoicznej w Górach Świętokrzyskich. W: Skompski S., Żylińska A. (red.), *Procesy i zdarzenia w historii geologicznej Gór Świętokrzyskich. LXXVII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Ameliówka koło Kielc, 28–30 czerwca 2006 r.: materiały konferencyjne*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 104–125.
- Kuleta M., Zbroja S., Gągol J., Niedźwiedzki G., Ptaszyński T., Studencka J., 2006. Wycieczka W2. Łądowe osady pstręgo piaskowca w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich: warunki sedimentacji, tropy kręgowców, walory surowcowe. W: Skompski S., Żylińska A. (red.), *Procesy i zdarzenia w historii geologicznej Gór Świętokrzyskich. LXXVII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Ameliówka koło Kielc, 28–30 czerwca 2006 r.: materiały konferencyjne*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 174–178.
- Lucas S.G., 2015. *Thinopus* and a critical review of Devonian tetrapod footprints. *Ichnos*, 22: 136–154.
- Narkiewicz M., Racki G., Wrzolek T., 1990. Litostratygrafia dewońskiej serii stromatoporoidowo-koralowcowej w Górach Świętokrzyskich. *Kwartalnik Geologiczny*, 34: 433–456.
- Narkiewicz M., Racki G., Skompski S., Szulcowski M., 2006. Zapis procesów i zdarzeń w dewonie i karbonie Gór Świętokrzyskich. W: Skompski S., Żylińska A. (red.), *Procesy i zdarzenia w historii geologicznej Gór Świętokrzyskich. LXXVII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Ameliówka koło Kielc, 28–30 czerwca 2006 r.: materiały konferencyjne*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 51–77.
- Narkiewicz K. & Narkiewicz M., 2010. Mid Devonian carbonate platform development in the Holy Cross Mts. area (central Poland): new constraints from the conodont *Bipennatus* fauna. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 255: 287–300.
- Narkiewicz K. & Narkiewicz M., 2015. The age of the oldest tetrapod tracks from Zachelmie, Poland. *Lethaia*, 48: 10–12.
- Narkiewicz M., Grabowski J., Narkiewicz K., Niedźwiedzki G., Retallack G.J., Szrek P., De Vleeschouwer D., 2015. Palaeoenvironments of the Eifelian dolomites with earliest tetrapod trackways (Holy Cross Mountains, Poland). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 420: 173–192.
- Narkiewicz M. & Retallack G.J., 2014. Dolomitic paleosols in the lagoonal tetrapod track-bearing successions of the Holy Cross Mountains (Middle Devonian, Poland). *Sedimentary Geology*, 299: 74–87.
- Nawrocki J., Kuleta M., Zbroja S., 2003. Buntsandstein magnetostratigraphy from the northern part of the Holy Cross Mountains. *Geological Quarterly*, 47: 253–260.
- Nawrocki J., Pieńkowski G., Becker A., 2005. Conchostraca (muszloraczki) z najniższego pstręgo piaskowca Zachelmia, Góry Świętokrzyskie – dyskusja. *Przegląd Geologiczny*, 53: 222–225.

- Niedźwiedzki G. & Szrek P., 2008. Wyjście kręgowców na ląd – zapis w dewonie Gór Świętokrzyskich. *Przegląd Geologiczny*, 56: 973–976.
- Niedźwiedzki G. & Szrek P., 2011. *Na tropach pracworonoga w Górach Świętokrzyskich*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Niedźwiedzki G., Szrek P., Narkiewicz K., Narkiewicz M., Ahlberg P.E., 2010. Tetrapod trackways from the early Middle Devonian period in Poland. *Nature*, 463: 43–48.
- Qvarnström M., Szrek P., Ahlberg P.E., Niedźwiedzki G., 2018. Non-marine palaeoenvironment associated to the earliest tetrapod tracks. *Scientific Reports*, 8: 1074, 10.1038/s41598-018-19220-5.
- Pajchłowa M., 1957. Dewon w profilu Grzegorzowice-Skały. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 122: 145–254.
- Pieńkowski G., 1989. Sedymentologiczne kryteria wyróżniania granicy cechsztyń/pstry piaskowiec oraz perm/trias w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 38: 237–244.
- Pieńkowski G., 1991. Facies criteria for delimitating Zechstein/Buntsandstein and Permian/Triassic boundaries in Poland. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 1: 893–912.
- Ptaszyński T., 2000. Lower Triassic vertebrate footprints from Wióry, Holy Cross Mountains, Poland. *Acta Palaeontologica Polonica*, 45: 151–194.
- Ptaszyński T. & Niedźwiedzki G., 2004. Conchostraca (muszloraczk) z najniższego pstręgo piaskowca Zachełmia, Góry Świętokrzyskie. *Przegląd Geologiczny*, 52: 1151–1155.
- Ptaszyński T. & Niedźwiedzki G., 2006. Pstry piaskowiec w Górach Świętokrzyskich: charakterystyka i korelacja litostratygraficzna z basenem turyńskim. *Przegląd Geologiczny*, 54: 525–533.
- Racki G., 1993. Evolution of the bank to reef complex in the Devonian of the Holy Cross Mountains. *Acta Palaeontologica Polonica*, 37: 87–182.
- Rubinowski Z. (red.), 1966. Metalogeneza trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich. *Prace Instytutu Geologicznego*.
- Scholze F., Schneider J.W., Werneburg R., 2016. Conchostracans in continental deposits of the Zechstein-Buntsandstein transition in central Germany: Taxonomy and biostratigraphic implications for the position of the Permian-Triassic boundary within the Zechstein Group. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 449: 174–193.
- Scholze F., Wang Xu, Kirscher U., Kraft J., Schneider J.W., Götz A.E., Joachimski M.M., Batchadse V., 2017. A multi-stratigraphic approach to pinpoint the Permian-Triassic boundary in continental deposits: the Zechstein–Lower Buntsandstein transition in Germany. *Global Planetary Change*, 152: 129–151.
- Skompski S. & Szulczewski M., 1994. Tide-dominated Middle Devonian sequence from the northern part of the Holy Cross Mountains (Central Poland). *Facies*, 30: 247–265.
- Strzyż A. & Kin A., 2011. Potencjał środowiska geograficznego rezerwatu Zachełmie a możliwości wielokierunkowego rozwoju regionu. *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 29: 107–116.
- Stupnicka E. & Stempień-Sałek M., 2016. *Geologia regionalna Polski*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Szulc J., Becker A., Mader A., 2015. Perm i trias – nowe otwarcie Gór Świętokrzyskich. W: Skompski S. (red.), *Ekstensja i inwersja powaryscyjskich basenów sedymentacyjnych. LXXXIV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Chęciny, 9–11.09.2015 r.: materiały konferencyjne*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 11–27.
- Szulczewski M., 1995. Zachełmie quarry. W: Skompski S. (red.), *Guide to Excursion A2: Development of the Variscan Basin and post-Variscan cover at the margin of the East European Platform (Pomerania, Holy Cross Mts., Kraków Upland). 13th International Congress on Carboniferous-Permian, August 28–September 2, 1995. Abstracts*, Kraków, 32–33.
- Trela W. & Fijałkowska-Mader A., 2017. Paleogleby w zapisie sedymentacyjnym formacji z Siodeł w Górach Świętokrzyskich (perm górny-trias dolny). *Przegląd Geologiczny*, 65: 227–233.
- Waksmundzki B., 2012. Ślady dewońskich tetrapodów i niezgodność epiwaryscyjska w kamieniołomie Zachełmie. W: Skompski S. (red.), *Góry Świętokrzyskie. 25 najważniejszych odsłoneń geologicznych*, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, 100–102.
- Wróblewski T. & Wróblewska E., 1996. *Góry Świętokrzyskie: mapa geologiczno-krajoznawcza 1:200 000*. Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej, Warszawa.
- Złonkiewicz Z., 2011. Geostanowisko Zachełmie – przyczynki do znajomości dewonu w rejonie Zagnańska koło Kielc. W: Zieliński A. (red.), *Znane fakty – nowe interpretacje w geologii i geomorfologii*, Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce, 105–110.
- Złonkiewicz Z. & Becker A., 2015. Stanowisko 1. Zachełmie. W: Skompski S. (red.), *Ekstensja i inwersja powaryscyjskich basenów sedymentacyjnych. LXXXIV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Chęciny, 9–11.09.2015 r.: materiały konferencyjne*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 109–119.
- Złonkiewicz Z., 2016a. Niechlubne tło odkrycia w Zachełmiu. *Przegląd Geologiczny*, 64: 88–92.
- Złonkiewicz Z., 2016b. Centralny Rejestr Geostanowisk Polski – nr 012757: Kamieniołom Zachełmie w gminie Zagnańsk. [online]. Available from: http://geostanowiska.pgi.gov.pl/gsappp_v2/Object-Details.aspx?id=12757.
- www1 – http://www.zagnansk.pl/asp/en_start.asp?typ=14&menu=320&strona=1

Niniejszy artykuł stanowi rozszerzenie referatu wygłoszonego w ramach IV Forum GEO-PRODUKT, które odbyło się w dniach 27–28 września 2018 roku w Ośrodku Edukacji Ekologiczno-Geologicznej GEOsfera w Jaworznie.

This paper is extended versions of presentations delivered during the IV Forum GEO-PRODUKT, which was held on September, 27–28, 2018 in Jaworzno, Poland (Ecological and Geological Education Center GEOsfera).