

Przestrzenny model utworów eocenu numulitowego pomiędzy Doliną Małej Łąki a Doliną Lejową w Tatrach

Maciej Tomaszczyk¹, Jacek Rubinkiewicz², Agnieszka Borecka¹



M. Tomaszczyk J. Rubinkiewicz A. Borecka

Geological 3D spatial model of the nummulitic Eocene between Mała Łąka and Lejowa valleys in Tatra Mts. *Prz. Geol.*, 57: 68–71.

Abstract. The study area is located in the northern part of the Tatra Mts. The 3D geological model of the nummulitic Eocene is based on geological surface data, cross-sections as well as digital elevation model. Model contains six lithological units: nummulitic limestones, detritic limestones, dolomitic sandstones, grey conglomerates, red conglomerates and also comprise two vertical faults. Geological model allows to create solids, surfaces and various horizontal and vertical sections. Based on these it was possible to estimate spatial distribution and thickness variations of modeling units and verify position of geological contacts. An analysis of the model defined

fault's displacement parameters and confirmed synsedimentary origin of faults.

Keywords: 3D geological models, nummulitic Eocene, Tatra Mts.

Metody matematycznego opisu, komputerowej symulacji oraz wielowymiarowej wizualizacji danych to narzędzia, dzięki którym osiągnięto nową jakość w dziedzinie badań skorupy ziemskiej. Przestrzenne modele geologiczne są obecnie na świecie powszechnie stosowane zarówno na użytek badań naukowych, jak i przemysłu wydobywczego (Mallet, 2008). Dlatego w celu wiernego odtworzenia wglębnej budowy geologicznej utworów eocenu numulitowego pomiędzy Doliną Małej Łąki a Doliną Lejową w Tatrach Zachodnich skonstruowano przestrzenny model geologiczny tego obszaru.

Charakterystyka obszaru badań

Badaniami objęto obszar znajdujący się pomiędzy Doliną Małej Łąki na wschodzie a Doliną Lejową na zachodzie. Od północy ograniczają go warstwy zakopiańskie, a od południa — spągowe wychodnie eocenu numulitowego (ryc. 1). Budowa geologiczna tego obszaru Tatr Zachodnich była przedmiotem wielu publikacji (m.in. Roniewicz, 1969; Wyczółkowski, 1956; Sokołowski, 1959; Piotrowski, 1978) i opracowań kartograficznych (Guzik i in., 1958; Bac-Moszaszwili i in., 1979). Do konstrukcji modelu wykorzystano przede wszystkim zdjęcie geologiczne Boreckiej (2007).

Obszar wytypowany do badań charakteryzuje się dość znacznym zróżnicowaniem litologii i miąższości warstw skalnych. Poczynając od dołu profilu występują na nim: zlepieńce czerwone, zlepieńce żółte, zlepieńce szare, piaskowce dolomitowe oraz wapienie detrytyczne i wapienie numulitowe. Sumaryczna miąższość skał w profilu wynosi około 460 m (Borecka, 2007). Pod względem tektonicznym eocen numulitowy tworzy blok wychylony ku północy. Dominują w nim upady około 40° i biegi zbliżone do równoleżnikowych. Jest on pocięty licznymi uskokami, przeważnie pionowymi, o kierunkach niemal południkowych. Są to uskoki przesuwcze i zrzutowe, często o

założeniach synsedymencyjnych (Borecka, 2007). Dwa największe uskoki przebiegają wzdłuż Doliny Kościelskiej oraz na W od Przedniej Kopki (1112 m n.p.m.).

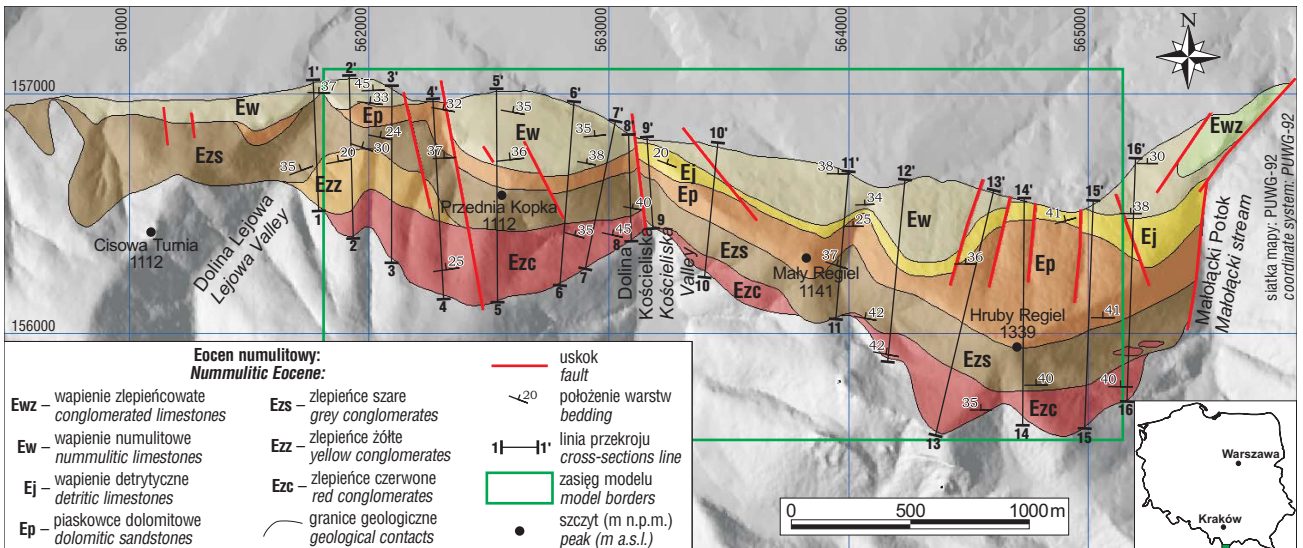
Metodyka konstrukcji przestrzennych modeli geologicznych

Do konstrukcji geologicznego modelu 3D wykorzystuje się wszystkie dostępne dane geologiczne, przede wszystkim jednak dane z badań sejsmicznych oraz karotażowych. W ciągu kilku ostatnich lat opisano również metody umożliwiające konstrukcję modeli wyłącznie na podstawie danych powierzchniowych (DeKemp, 2000; Fernandez i in., 2004; Dhont i in., 2005). Stworzenie zbliżonego do rzeczywistości, przestrzennego modelu wglębnej budowy geologicznej jedynie na podstawie powierzchniowych danych kartograficznych, tzn. dwuwymiarowych map geologicznych, jest możliwe pod warunkiem, że objęty modelem obszar ma nieskomplikowaną budowę geologiczną i dysponujemy wystarczającą liczbą danych geologicznych na jego temat. W Polsce kryteria te spełniają między innymi niektóre rejon Karpat Zewnętrznych oraz Tatr. Mają one charakterystyczną dla terenów górzystych gęstą sieć rzeczną, wzdłuż której — w korytach potoków, strumieni oraz wcięć erozyjnych — występuje duża liczba naturalnych odsłoneń. Dlatego liczba i jakość danych geologicznych pozyskiwanych z tych terenów jest duża. Spore znaczenie ma również niewielka miąższość pokrywy skał czwartorzędowych, która w innych rejonach Polski zazwyczaj uniemożliwia wykonanie podstawowych badań strukturalno-litologicznych.

Do konstrukcji modelu wybrano zatem obszar charakteryzujący się stosunkowo prostą budową geologiczną i mający gęstą sieć odsłoneń usytuowanych przeważnie w głęboko wciętych dolinach i żlebach. Podstawą opracowania była mapa geologiczna w skali 1 : 10 000 oraz 8 przekrojów geologicznych (Borecka, 2007). W celu uszczegółowienia modelu wykonano 8 dodatkowych przekrojów. Skorzystano również z numerycznego modelu terenu o rozdzielczości poziomej 5 x 5 m. Model ten powstał w wyniku interpolacji izolinii pozyskanych z map topograficznych w skali 1 : 10 000.

¹Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, maciej.tomaszczyk@pgi.gov.pl

²Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; Jacek.Rubinkiewicz@uw.edu.pl



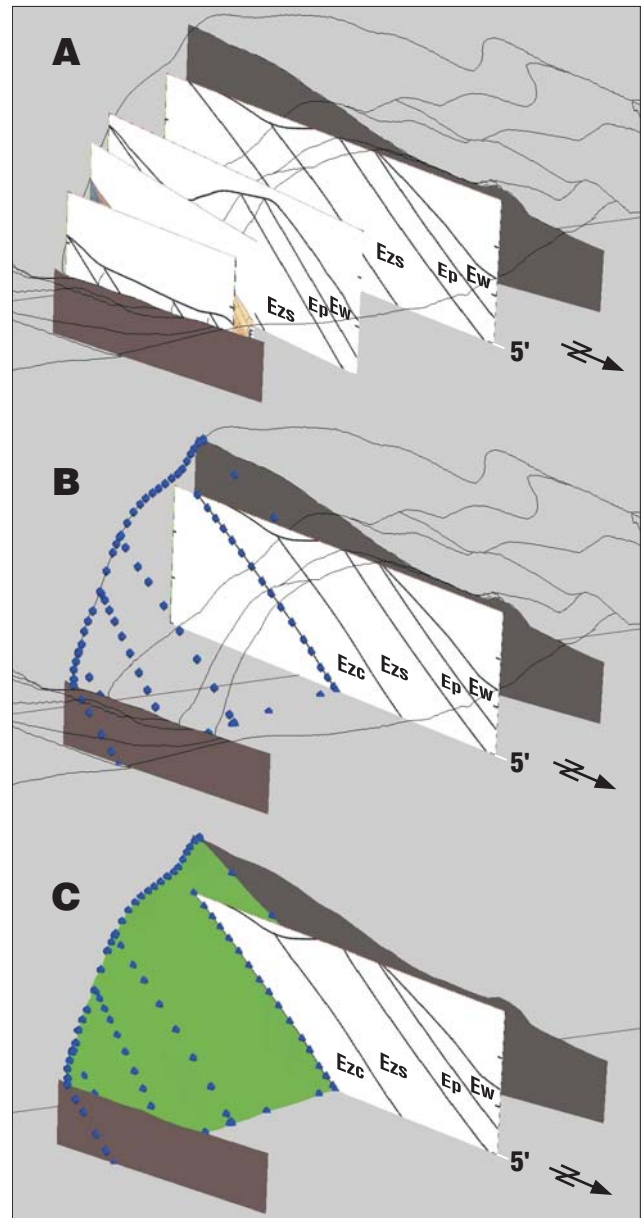
Ryc. 1. Mapa geologiczna eocenu numulitowego pomiędzy potokami Małolańskim i Siwa Woda (wg Boreckiej, 2007) z lokalizacją przekrojów geologicznych i zasięgu modelu

Fig. 1. Geological map of the nummulitic Eocene between Mała Łąka and Siwa Woda stream (after Borecka, 2007), with location of the geological cross-sections and volume of interest of the model

Przygotowanie danych

Pierwszy etap przygotowania danych polegał na zamianie formatu mapy geologicznej obszaru badań na format cyfrowy (raster). Następnie nadano mapie georeferencję przez odpowiednie zorientowanie mapy w przestrzeni zdefiniowanej przez parametry układu współrzędnych (w tym przypadku PUWG-92). Końcowym etapem obróbki była digitalizacja obrazu rastrowego, w wyniku której uzyskano 3 warstwy wektorowe: jedną punktową (lokalizacja pomiarów położenia warstw) oraz dwie liniowe (pierwsza — zawierająca linie intersekcyjne granic litologicznych, druga — zawierająca elementy nieciągłe: uskoki oraz nasunięcia). Do nadania wektorom informacji wysokościowej posłużył cyfrowy model terenu. Do wszystkich prac związanych z przygotowaniem danych i manipulacją nimi wykorzystano program GRASS GIS (www.grass.itc.it).

Z powodu braku odpowiednich informacji dotyczących orientacji i upadu płaszczyzn uskokowych przyjęto, że wszystkie uskoki są pionowe. Z sieci głównych uskoków wyróżnionych na mapie geologicznej w konstrukcji modelu uwzględniono tylko dwa uskoki odznaczające się największymi przemieszczeniami (uskok Doliny Kościeliskiej oraz uskok na W od Przedniej Kopki). Wszystkie przekroje geologiczne (łącznie z wykorzystanymi z pracy Boreckiej, 2007) zostały wykreślone możliwie jak najbardziej prostopadle do biegu warstw. Za granice modelu przyjęto na



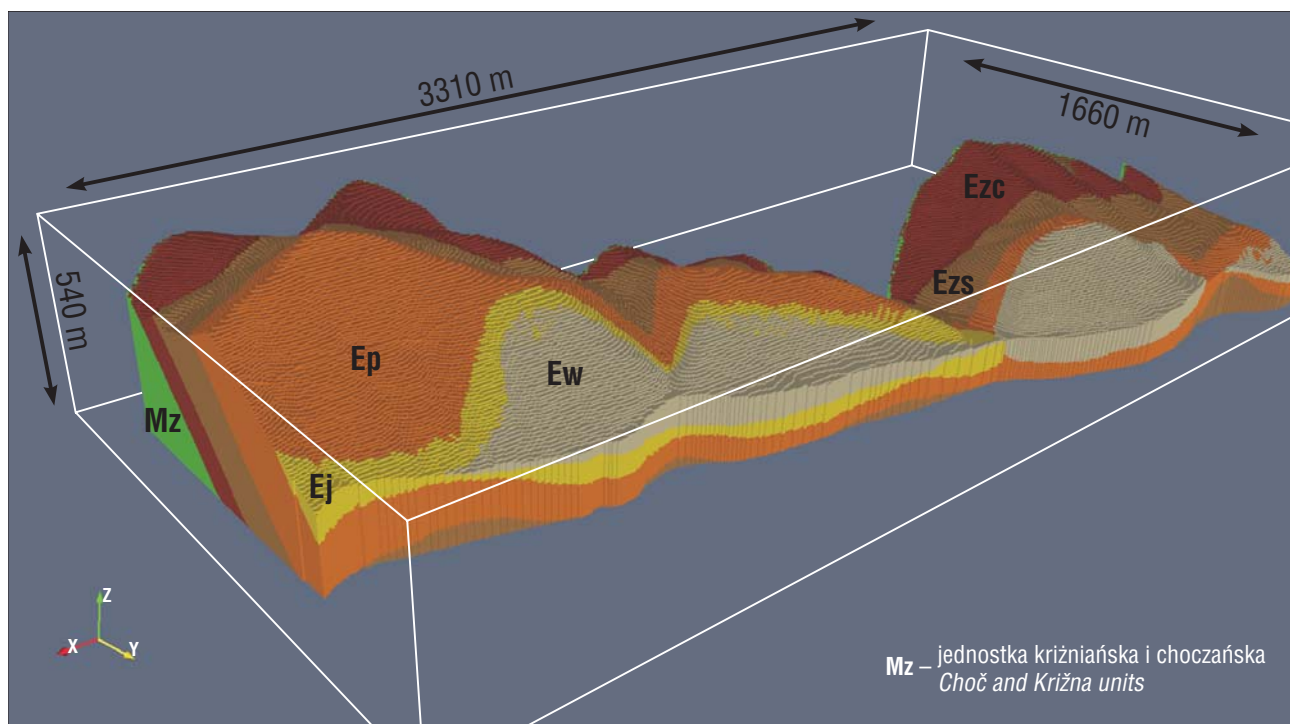
Ryc. 2. Etapy tworzenia powierzchni wydzielen geologicznych w oprogramowaniu *Gocad*: **A** — wstawienie przekrojów geologicznych w odpowiednie miejsce w przestrzeni 3D, **B** — cyfrowanie przekrojów geologicznych, **C** — utworzenie powierzchni w wyniku interpolacji punktów uzyskanych podczas cyfrowania przekrojów geologicznych

Fig. 2. The workflow of modelling of 3D geological unit surfaces using *Gocad* software: **A** — 3D spatial referencing of the geological cross-sections, **B** — digitizing of geological cross-sections, **C** — points interpolation and creating of surfaces

południu granicę eocenu ze skałami mezozoicznymi, a na północy granicę eocenu z warstwami zakopiańskimi. Granicę zachodnią i wschodnią wyznaczają płaszczyzny o przebiegu N-S (ryc. 1). Od dołu model został ograniczony płaszczyzną 500 m n.p.m., górną granicą jest zaś powierzchnia terenu.

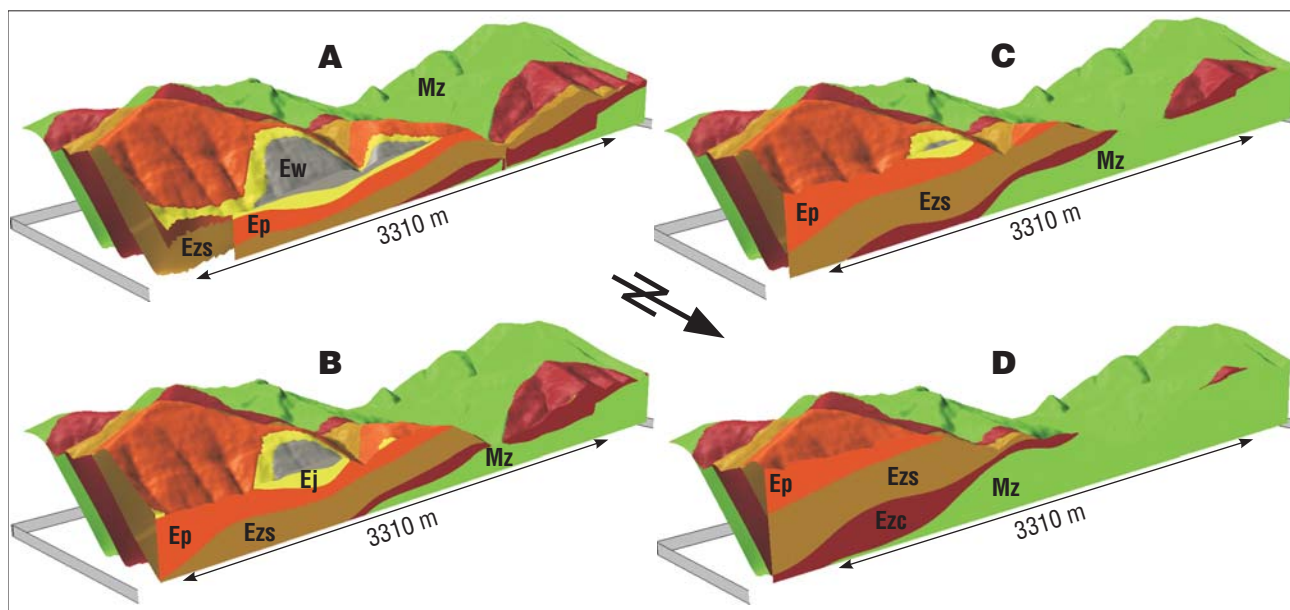
Przekroje geologiczne umieszczono w odpowiednim miejscu przestrzeni 3D (ryc. 2A), stosując program *Gocad* (www.gocad.ensg.inpl-nancy.fr). Następnie zcyfrowano oraz zgrupowano granice poszczególnych wydzieli geologicznych, łącznie z odpowiadającymi im powierzchniowymi liniami intersekcyjnymi. W ten sposób uzyskano

zbiór linii dla spągu każdego wydzielenia, które zamieniono na punkty (ryc. 2B). Program *Gocad* umożliwia ręczną lub półautomatyczną edycję danych, zarówno przed, jak i po interpolacji, dzięki czemu można dokonywać zmian bez potrzeby kreślenia przekrojów od początku. Następnie każdy zbiór punktów reprezentujących wydzielenia geologiczne (w tym przypadku spąg warstwy), interpolowano stosując metodę DSI (*Discret Smooth Interpolation*). W ten sposób otrzymano spągowe powierzchnie wydzieli (ryc. 2C), które wykorzystano do konstrukcji modelu bryłowego (ryc. 3), którego rozdzielczość ustawiono na 25 x 25 x 10 m.



Ryc. 3. Geologiczny model bryłowy eocenu numulitowego pomiędzy Doliną Małej Łąki a Doliną Lejową w Tatrach. Rozdzielczość modelu wynosi 25 x 25 m w poziomie i 10 m w pionie (pozostałe objaśnienia na ryc. 1)

Fig. 3. The 3D geological model of the nummulitic Eocene between Mała Łąka and Lejowa valleys in Tatra Mts. Model resolution: horizontal 25 x 25 m, vertical 10 m (for others explanations see Fig. 1)



Ryc. 4. Wybrane pionowe przekroje podłużne wzdłuż linii W-E: Mz — jednostki kriżniańska i choczańska (pozostałe objaśnienia na ryc. 1)

Fig. 4. Selected W-E trending vertical sections: Mz — Choč and Križna units (for others explanations see Fig. 1)

Zastosowanie modeli 3D

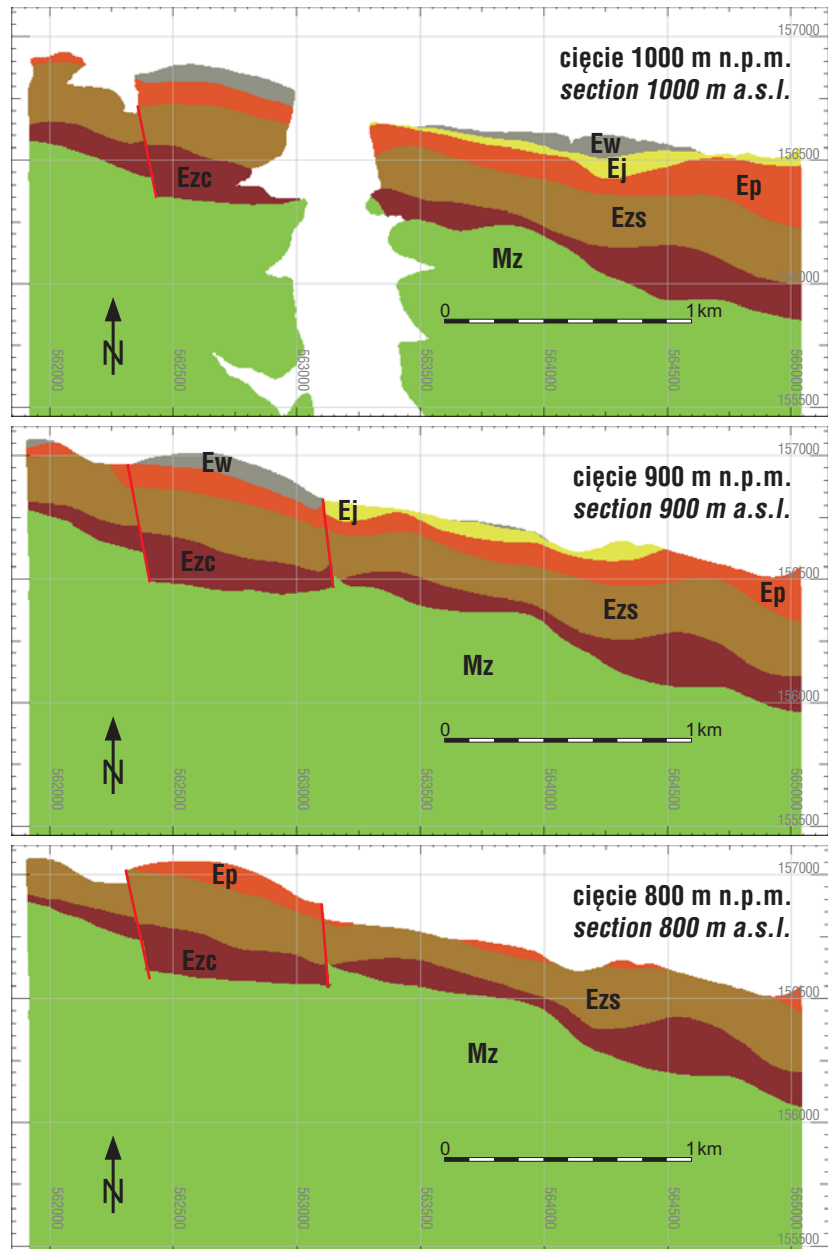
Model 3D umożliwia wizualizację poszczególnych powierzchni granicznych oraz brył wydziałów geologicznych, tworzenie przekrojów o dowolnej orientacji (ryc. 4), map ścieżki poziomego (ryc. 5) oraz map odkrytych. Na dokładność odwzorowania rzeczywistej budowy geologicznej w modelu 3D mają wpływ takie czynniki, jak gęstość pomiarów położenia warstw, zgodność linii intersekcyjnych przedstawionych na mapie z rzeczywistością, a także staranność wykonania poszczególnych przekrojów geologicznych oraz ich zgodność z przyjętą koncepcją budowy geologicznej.

Mając do dyspozycji cyfrowy model terenu oraz wymodelowaną powierzchnię geologiczną, można wyznaczyć linię przecięcia się tych dwóch powierzchni, która jest linią intersekcyjną. Model 3D stanowi doskonałe narzędzie do wykrywania i weryfikacji nieścisłości i błędów, popełnionych podczas kreślenia map. W trakcie konstrukcji modelu eocenu w Tatrach niezbędne okazało się naniesienie pewnych niewielkich poprawek na przebieg linii intersekcyjnych zaznaczonych na mapie Boreckiej (2007). Umożliwia on szybkie i proste wykonywanie dowolnych przekrojów geologicznych. Ponadto model eocenu numulitowego ukazał przestrzenny obraz występowania i wykliniowania się poszczególnych wydziałów oraz zmian ich miąższości. Umożliwił również określenie parametrów przemieszczenia uskokowego i ukazał, że część z przemieszczeń może mieć założenia synsedymantacyjne.

W niniejszej publikacji wykorzystano rezultaty wykonania tematu *Opracowanie metody numerycznego modelowania wstępnej budowy geologicznej jednostek górskich w oparciu o archiwalne dane powierzchniowe* (nr tematu 61.9001.0601.99.9), finansowanego ze środków przeznaczonych przez Ministerstwo Nauki i Edukacji na działalność statutową PIG.

Literatura

BAC MOSZASZWILI M., BURCHARDT J., GŁĄZEK J., IWANOW A., JAROSZEWSKI W., KOTAŃSKI Z., LEFELD J., MASTELLA L., OZIMKOWSKI W., RONIEWICZ P., SKUPIŃSKI A. & WESWALEWICZ-MOGILSKA E. 1979 — Mapa geologiczna Tatr Polskich, 1: 30 000. Wyd. Geol.
BORECKA A. 2007 — Tektonika eocenu numulitowego pomiędzy potokiem Siwa Woda a potokiem Małofłackim (Tatry). Arch. Wyzd. Geol. UW.
DHONT D., LUXEY P. & CHOROWICZ J. 2005 — 3-D modeling of geologic maps from surface data. AAPG Bull., 89: 1465–1474.
DE KEMP E.A. 2000 — 3-D visualization of structural field data: examples from the Archean Caopatina Formation, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. Computers and Geosciences, 26: 509–530.



Ryc. 5. Mapy ścieżki poziomego na rzędnych 800, 900 oraz 1000 m n.p.m.: Mz — jednostki kriżniańska i choçańska (pozostałe objaśnienia na ryc. 1)

Fig. 5. Horizontal section maps at 800, 900 and 1000 m a.s.l.: Mz — Choć and Kriżna units (for others explanations see Fig. 1)

FERNANDEZ O., MUNOZ J.A., ARBUES P., FALIVENE O. & MARZO M. 2004 — Three-dimensional reconstruction of geological surfaces: An example of growth strata and turbidite systems from the Ainsa basin (Pyrenees, Spain). AAPG Bull., 88: 1049–1068.
GUZIK K., GUZIK S. & SOKOŁOWSKI S. 1958 — Arkusz Hruby Regiel. Mapa geologiczna Tatr 1: 10 000. Inst. Geol.
MALLET J.L. 2008 — Numerical Earth Models. EAGE Publications BV.
PIOTROWSKI J. 1978 — Charakterystyka mezostrukturalna głównych jednostek tektonicznych Tatr w przekroju Doliny Kościeliskiej. Stud. Geol. Pol., 55: 1–90.
RONIEWICZ P. 1969 — Sedymentacja eocenu numulitowego Tatr. Acta Geol. Pol., 19: 503–608.
SOKOŁOWSKI S. 1959 — Zdjęcie geologiczne strefy eocenu numulitowego wzdłuż północnego brzegu Tatr (sprawozdanie wstępne). Biul. Inst. Geol., 114: 89–99.
WYCZÓŁKOWSKI J. 1956 — Z badań litologicznych nad utworami eocenijskimi Doliny Kościeliskiej w Tatrach. Biul. Inst. Geol., 109: 45–57.