

TRÓJWYMIAROWA MAPA GEOLOGICZNA OKOLIC SZCZERCA KOŁO LWOWA

THREE-DIMENSIONAL GEOLOGICAL MAP OF THE ENVIRONS OF SHCHYRETS NEAR LVIV

ADRIAN JARZYNA¹

Abstrakt. Występujące w basenie przedkarpaccim badeńskie (środkowomioceny) gipsy odsłaniają się w licznych punktach na terenie Ukrainy. Jednym z nich są okolice miejscowości Szczercz (ukr. Щирець), 25 km na SSW od Lwowa. Jest to potencjalny obszar stratotypowy badeńskiej formacji gipsowej, na Ukrainie znanej jako suita tyraska, a także wyjątkowy teren ze względu na znajdujące się tu odsłonięcie anhydrytów w kamieniołomie Pisky (ukr. Піски), gdzie w strefie wietrzenia powstają unikatowe formy jaskiń zwane jaskiniami z hydratacji lub jaskiniami z pęcznienia. Na obszarze Ukrainy dane kartograficzne zarówno te dotyczące geologii, jak i morfologii są niekompletne, a obecnie dostępne materiały archiwalne wymagają uaktualnienia. W pracy opisano sposób w jaki opracowano nową, uaktualnioną wersję mapy geologicznej okolic Szczerca w przestrzeni trójwymiarowej (3D). W tym celu wykorzystano istniejące mapy topograficzne oraz archiwalne mapy geologiczne, które poddano procesowi wektoryzacji. Większość prac wykonano w programie ArcGIS 10.1. Na przykładach zademonstrowano użyteczność mapy 3D do ilościowej analizy wybranych elementów rzeźby oraz budowy geologicznej.

Słowa kluczowe: gipsy, baden, geologia 3D, ArcGIS, Szczercz.

Abstract. The Badenian (Middle Miocene) gypsum occurring in the Carpathian Foredeep basin is exposed in a great number of locations in Ukraine, including the environs of Shchyrets, 25 km SSW of Lviv. In this area the potential stratotype of the Badenian gypsum is exposed, known as the Tyras Suite in Ukraine. The area is also of great scientific value because of the anhydrite rocks exposed at the Pisky quarry (near Shchyrets). Recently, unique forms of caves known as hydration caves or swelling caves have been formed in the weathering zone of this anhydrite. In the territory of Ukraine, both morphological and geological cartographic data are incomplete. Nowadays, available archival documents need updating. This paper describes the way of preparation of a new, updated version of the geological map of Shchyrets environs in three-dimensional space (3D). The topographic and archival geological maps were used, which were subjected to process of vectorization. The main part of the work was done in ArcGIS 10.1. Usefulness of the constructed 3D map for quantitative geomorphological and geological analysis is shown on selected examples.

Key words: gypsum, Badenian, 3D geology, ArcGIS, Shchyrets.

WSTĘP

Już od kilkunastu lat obserwujemy rozwój geowizualizacji, gdzie prym wiodzie geoinformatyka. Geolodzy skrzętnie wykorzystują możliwości i narzędzia pracy, które wcześniej były niedostępne. Dane kartograficzne w wersji analogowej są przekształcane do wersji cyfrowej na drodze digitalizacji. Otrzymany obraz cyfrowy (mapa bitowa) zawierający dane geograficzne zostaje osadzony w układzie geodezyjnym (kalibracja), a następnie jest przekształcany w geoTIFF lub grafikę wektorową (wektoryzacja). Taki format danych jest

podstawą dalszych przekształceń, analiz, interpretacji, czy wizualizacji dwuwymiarowej (2D) i trójwymiarowej (3D) (Głowacki, 2005).

Cyfrowe mapy i trójwymiarowe modele budowy geologicznej są dziś standardem w Europie (Susini, Donatis, 2007; Tonini i in., 2007; Karabinos, 2011), natomiast stosunkowo rzadko do tej pory były opracowywane dla terenu Ukrainy (Boguckij i in., 2009; Onyszczuk i in., 2011; Petrowskyj i in., 2013).

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: a.jarzyna@student.uw.edu.pl.

W trakcie wykonywania w ramach grantu NCN badań geologicznych i dokumentacji stanowiska wietrzejących anhydrytów w kamieniołomie gipsu w Piskach koło Szczerca (ukr. Шцирець) (Poberezhsky, Jasionowski, 1999; Bąbel, 2005; Bąbel i in., 2013, 2014, 2015) pojawiła się potrzeba bardziej dokładnego rozpoznania budowy geologicznej samego stanowiska, a także obszaru innych wychodni środkowioceńskich (badeńskich) ewaporatów w rejonie Szczerca. Jednym z podstawowych problemów był brak szczegółowych map geologicznych tego obszaru. Na podstawie wszystkich dostępnych danych podjęto próbę sporządzenia uaktualnionej trójwymiarowej mapy geologicznej rejonu Szczerca

i Pisków, obejmującej całość wychodni gipsów na tym terenie. Jej sporządzanie oparto na analizie materiałów publikowanych (Teisseyre, 1894–1895; Friedberg, 1910; Herasimow i in., 2005; Lwiwska Neolohiczno-Razwedoczna Ekspedycja, brak daty) lub dostępnych w formie elektronicznej (podkład satelitarny dostępny online w programie ArcGIS 10.1). Obserwacje terenowe były wrywkowe (Jarzyna, 2016).

Celem niniejszej pracy jest opis metod zastosowanych przy sporządzaniu uaktualnionej trójwymiarowej mapy geologicznej okolic Szczerca koło Lwowa oraz analiza niektórych elementów tej mapy w celu zademonstrowania na wybranych przykładach możliwości jakie daje model cyfrowy.

OPIS TERENU

W okolicach Szczerca znajduje się obszar wychodni gipsów, który ma wyjątkowe znaczenie w basenie przedkarpaczkim (Ługowski i in., 2016). Jest to pierwsza, duża wychodnia gipsów badeńskich jaką spotykamy idąc na wschód od wychodni równowiekowych gipsów nadnidziańskich w Polsce. Profil gipsów w Szczercu jest porównywalny z profilem z rejonu nadnidziańskiego (Petrichenko i in., 1997; Bąbel, 2005). Został uznany za jeden ze stratotypowych profilów suity tiraskiej, czyli badeńskich ewaporatowych utworów siarczanowych i węglanowych w północnej platformowej części basenu przedkarpaccykiego na terenie Ukrainy (Wenglinskij, Gorieckij, 1979). Miocen okolic Szczerca jest od dawna badany i ma on duże znaczenie dla poznania stratygrafii i historii rozwoju basenu przedkarpaccykiego (Friedberg, 1910; Nejbort i in., 2012; Peryt i in., 2014). Znajdują się tu dwa kamieniołomy gipsów. Jeden z nich jest zlokalizowany

w Szczercu, natomiast drugi, znacznie większy, w miejscowości Pisky. Kamieniołom w Piskach jest tylko częściowo eksploatowany.

W części nieeksploatowanej znajduje się wychodnia anhydrytów i wskutek ich wietrzenia powstają tam współcześnie unikatowe formy wietrzeniowe. Tworzą się tam rzadko spotykane w świecie formy jaskiń zwane jaskiniami z hydratacji lub jaskiniami z pęcznienia (Bąbel i in., 2013, 2014, 2015).

Dla pełnego zrozumienia przebiegu badanych procesów konieczne jest lepsze poznanie położenia strukturalnego badeńskich gipsów, przebiegu powierzchni ich spągu i stropu, granic litosomów, a także szczegółowe rozpoznanie tektoniki rejonu Szczerca i zlokalizowanie ewentualnych uskoków. Wykonanie uaktualnionej trójwymiarowej mapy geologicznej jest krokiem do dalszej analizy geologicznej badanego stanowiska oraz do poznania otaczającego obszaru.

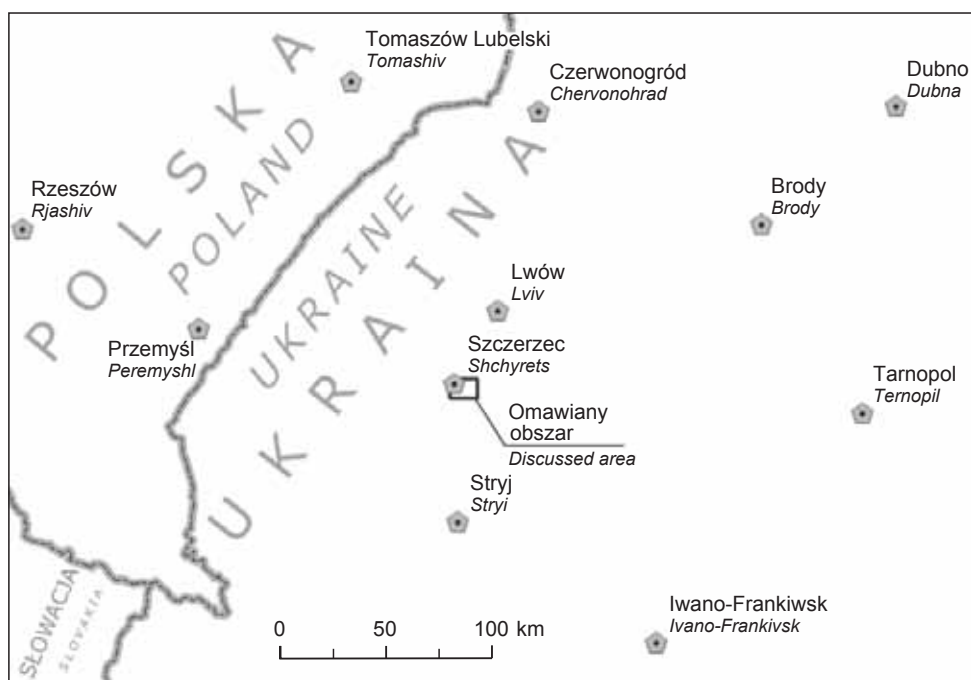


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań w okolicach Szczerca k. Lwowa (źródło: podkład satelitarny dostępny online w programie ArcGIS 10.1)

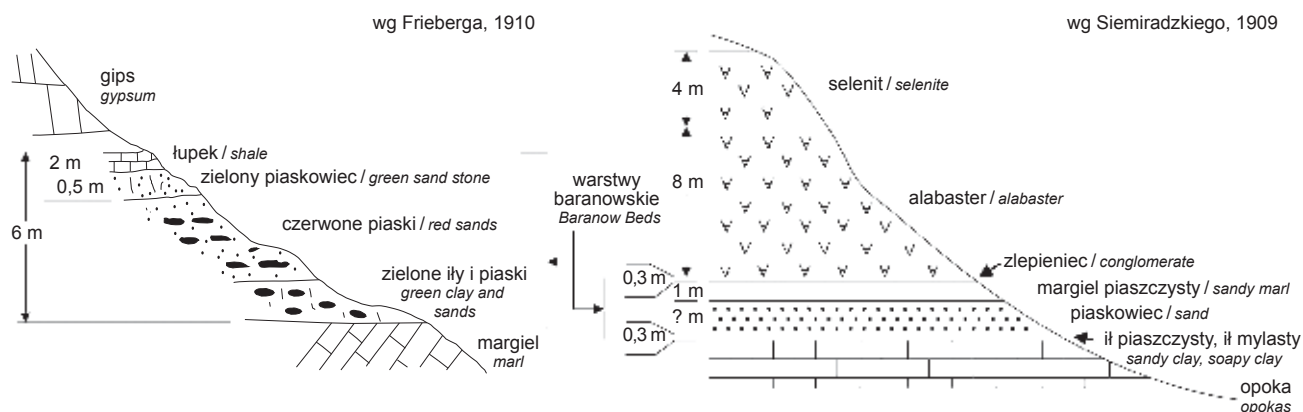


Fig. 2. Profile litologiczne wykonane na południowych zboczach Góry Cerkiewnej (źródło: Jarzyna, 2016, wg Siemiradzkiego, 1909 i Friedberga, 1910)

The lithological sections of the southern slopes of Cerkiewna Hill (source: Jarzyna, 2016, after Siemiradzki, 1909 and Friedberg, 1910)

Badane okolice Szczerca, znajdują się w zachodniej Ukrainie, w Okręgu Lwowskim, około 25 km na SSW od Lwowa (fig. 1). Teren opracowanej mapy objął powierzchnię 188 km². Geograficznie obszar ten należy do Opola Małego (Pazdro, 1953). Najwyższym punktem jest Góra Cerkiewna o wysokości 308,5 m n.p.m., natomiast najniższym dno doliny rzeki Szczyrki (ukr. Щирка) leżące 253,8 m n.p.m. w południowej części badanego obszaru. Rejon Szczerca ma charakter wyżynny.

Rejon Szczerca leży na platformie zachodnioeuropejskiej, między blokiem Lwowa (ukr. Львівський блок), blokiem horodocko-pustomyckim (ukr. Городецько-Пустомитівський блок) i blokiem wereszczuckim (ukr. Верещицький блок). Znajduje się on w obrębie paleodoliny pustomyckiej (ukr. Пустомитівська paleodolina) (Herasimow i in., 2005).

Geologiczne uwarunkowania rzeźby terenu okolic Szczerca powstały w kredzie podczas sedymentacji margli, iłwców i piaskowców (Siemiradzki, 1909; Friedberg, 1910; Lwowska Heołożniczo-Razwedoczna Ekspedycja, bez daty). Jedyne udokumentowane paleontologicznie odsłonięcie kredy na badanym obszarze znajduje się na południowych zboczach Góry Cerkiewnej, gdzie występują margle kredowe, określane również jako opoki (Siemiradzki, 1909; Friedberg, 1910) (fig. 2). Powyżej leżą z niezgodnością erozyjną utwory paleogenu (Lwowska Heołożniczo-Razwedoczna Ekspedycja, bez daty), których występowanie w okolicach Szczerca jest niepewne oraz utwory neogenu (Siemiradzki, 1909; Friedberg, 1910). Neogen jest reprezentowany przez miocen, a dokładniej baden. Skąły badenu są reprezentowane przez trzy sekwencje: utwory podewaporatowe, ewaporatowe i nadewaporatowe. Zdaniem badaczy utwory podewaporatowe rozpoczynają się warstwami baranowskimi w profilu Góry Cerkiewnej leżącymi z niezgodnością erozyjną wprost na kredzie (Siemiradzki, 1909; Friedberg, 1910) (fig. 2). Według dzisiejszych podglądów (Herasimow i in., 2005) utwory podewaporatowe, wiekowo należące do badenu dolnego (w artykule zastosowano tradycyjny podział badenu na dolny, środkowy, górny), złożone są z warstw żurawskich,

pokładów nierozdzielonych, warstw baranowskich, warstw mikołajowskich oraz warstw narajowskich podścielających gipsy badenu środkowego. Utwory ewaporatowe są wykształcone w formie lateralnie ciągłych i o stałej miąższości litosomów (fig. 3). Tworzą je gips (selenit i alabaster) oraz anhydryt. Ewaporaty powstały w zapadlisku przedkarpackim w czasie tzw. badeńskiego kryzysu zasolenia (Peryt, 2006). Wyżej w sekwencji osadowej znajduje się czwartorzędowe piętro strukturalne złożone z trzech wydzieleni: piasków i glin piaszczystych, lessów oraz utworów napływowych (aluwiów). Aluwia wypełniają przede wszystkim doliny Szczyrki i Prerwa (ukr. Щирка i Прерва). Nie wszystkie z wymienionych utworów są odsłonięte.

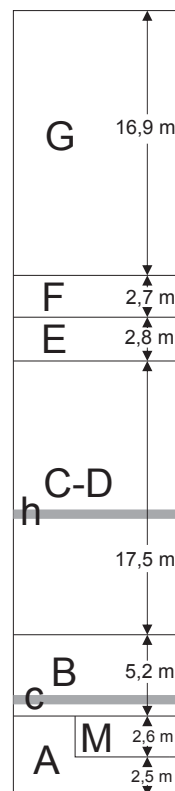


Fig. 3. Litostratygrafia gipsów badenu w północnej części zbiornika przedkarpackiego

A–G – siedem jednostek zwanych litosomami; c, h – dwie warstwy przewodnie, interpretowane jako izochroniczne lub prawie izochroniczne (źródło: Jarzyna, 2016, wg Bąbła, 2005)

Lithostratigraphy of the Badenian gypsum in the northern part of the Carpathian Foredeep Basin

A–G – seven units called lithosomes; c, h – two marker beds, interpreted as isochronous or near-isochronous (source: Jarzyna, 2016, after Bąbła, 2005)

WYKORZYSTANE DANE

Dane kartograficzne udostępniane na terenie Ukrainy są stosunkowo skąpe i trudno dostępne, zarówno jeśli chodzi o mapy topograficzne, jak i geologiczne. Najlepszą i najbardziej wiarygodną publikacją, dotyczącą geologii okolic Szczerca, jest arkusz mapy geologicznej Mikołajów–Bóbrka w skali 1:75 000 Atlasu Geologicznego Galicyi, opracowany przez Teisseyre'a (1894–1895), oraz mapa w skali 1:50 000 znajdująca się w pracy Friedberga (1910). Mapa Teisseyre'a (1894–1895) została wykonana bardzo starannie i stanowi dobry fundament do dalszych prac na tym obszarze. Niestety nie opublikowano do niej tekstu objaśniającego.

Ponadto istnieje też ukraińska mapa geologiczna bez pokrywy czwartorzędowej (Lwiwska Heołohiczno-Razwedoczna Ekspedycja, brak daty). Jednakże mapa ta nie pokrywa całego obszaru branego pod uwagę w tym artykule, a niektóre dane przez nią przedstawione są kontrowersyjne i budzące wątpliwości. Skorzystano również z mapy geologicznej Ukrainy, arkusz Drohobycz (ukr. Дрогобич), gdzie zamieszczono mapę utworów czwartorzędowych w skali 1:200 000 i mapę odkrytą, bez utworów czwartorzędowych, w skali 1:200 000 (Herasimow i in., 2005).

WYKORZYSTANE OPROGRAMOWANIE

Do wykonania zaplanowanej pracy wybrano program ArcGIS 10.1, składający się z trzech głównych komponentów: ArcMap, ArcScene i ArcCatalog. Ciągłe rozbudowywany program ArcGIS to doskonale narzędzie do gromadzenia danych w postaci rastrowej, jak i wektorowej, analizy przestrzennej wizualizacji 2D i 3D, projektowania i modelowania. W programie tym możliwe jest utworzenie Numerycz-

nego Modelu Terenu (NMT, ang. *Digital Elevation Model – DEM*) oraz bardzo wszechstronna analiza tego modelu, geomorfologiczna analiza powierzchni terenu, przedstawienie modelu 3D terenu z uwzględnieniem kamieniołomów, skarp uskokowych, rzek, jezior i innych elementów (Tonini i in., 2007). W tej pracy wykorzystano te funkcje m.in. do trójwymiarowego zobrazowania budowy geologicznej.

METODY BADAŃ

Sporządzenie trójwymiarowej mapy geologicznej wymagało wykonania następujących zadań i czynności:

- uaktualnienie przedstawionych przez poprzednich autorów map wydziałów do obecnie przyjętej terminologii stratygraficznej,
- proces digitalizacji arkusza mapy topograficznej okolic Szczerca w skali 1:10 000 i pozyskanie wersji cyfrowej mapy geologicznej,
- kalibrację w układzie współrzędnych geodezyjnych wszystkich potrzebnych obrazów cyfrowych,
- wektoryzację danych wysokościowych oraz geologicznych,
- utworzenie numerycznego modelu terenu i naniesienie na jego powierzchnię zwektoryzowanej budowy geologicznej.

Dalszy etap prac dotyczył już wykorzystania powstałej mapy, czyli:

- zidentyfikowanie wysokości poszczególnych granic geologicznych,
- wykonanie przekrojów geologicznych i morfologicznych prezentujących najważniejsze aspekty budowy tego terenu.

Na początku prac w programie ArcGIS utworzono plik geobazy danych (ang. geodatabase file). Plik ten gromadzi rezultaty pracy w jednym miejscu, bez potrzeby ciągłego wyboru lokalizacji dla pliku wyjściowego w czasie prac. W geobazie określono obszar projektu na mapie (12,9 × 9,2 km) oraz zadano układ współrzędnych geo-

graficznych: Ukraina2000 (<http://law-formula.com.ua/aktualno/25-zemelne-pravo/472-sistemi-geodezichnikh-koordinat-v-ukrajini.html>; access: 01 October, 2016). Do utworzenia trójwymiarowej mapy wykorzystano w programie następujące dane: mapa topograficzna w skali 1:10 000 (Mapa topograficzna...), mapa geologiczna w skali 1:75 000 (Teisseyre, 1894–1895), podkład satelitarny dostępny online w programie ArcGIS 10.1. Ponadto w celu dalszej analizy geologicznej dodano mapy geologiczne (Friedberg, 1910; Lwiwska Heołohiczno-Razwedoczna Ekspedycja, brak daty).

W celu stworzenia NMT w programie ArcMap utworzono obiekt liniowy (ang. *feature class: line*) o nazwie „poziomice”. W ramach jego edycji zwektoryzowano wszystkie poziomice na mapie topograficznej, nadając każdej poziomicy wartość wysokościową w tabeli atrybutów (ang. *attribute table*). Na obszarze występują dwa kamieniołomy (Szczerzec i Pisky) znacząco wyróżniające się w morfologii. Aby uwzględnić je w NMT, utworzono obiekt liniowy: kamieniołomy. Na podkładzie satelitarnym zaznaczono granice kamieniołomów, kierując się granicami ścian wyrobisk, zakładając, że będą one reprezentować dna kamieniołomów. Wysokość dna kamieniołomu w Szczercu wynosi 269 m n.p.m., w Piskach – 264 m n.p.m. Przy pomocy narzędzia Topo to Raster, gdzie plikami wejściowymi były poziomice i kamieniołomy, stworzono NMT.

Następnie zwektoryzowano mapę geologiczną z uwzględnieniem dwóch wspomnianych wyrobisk górnictwa powsta-

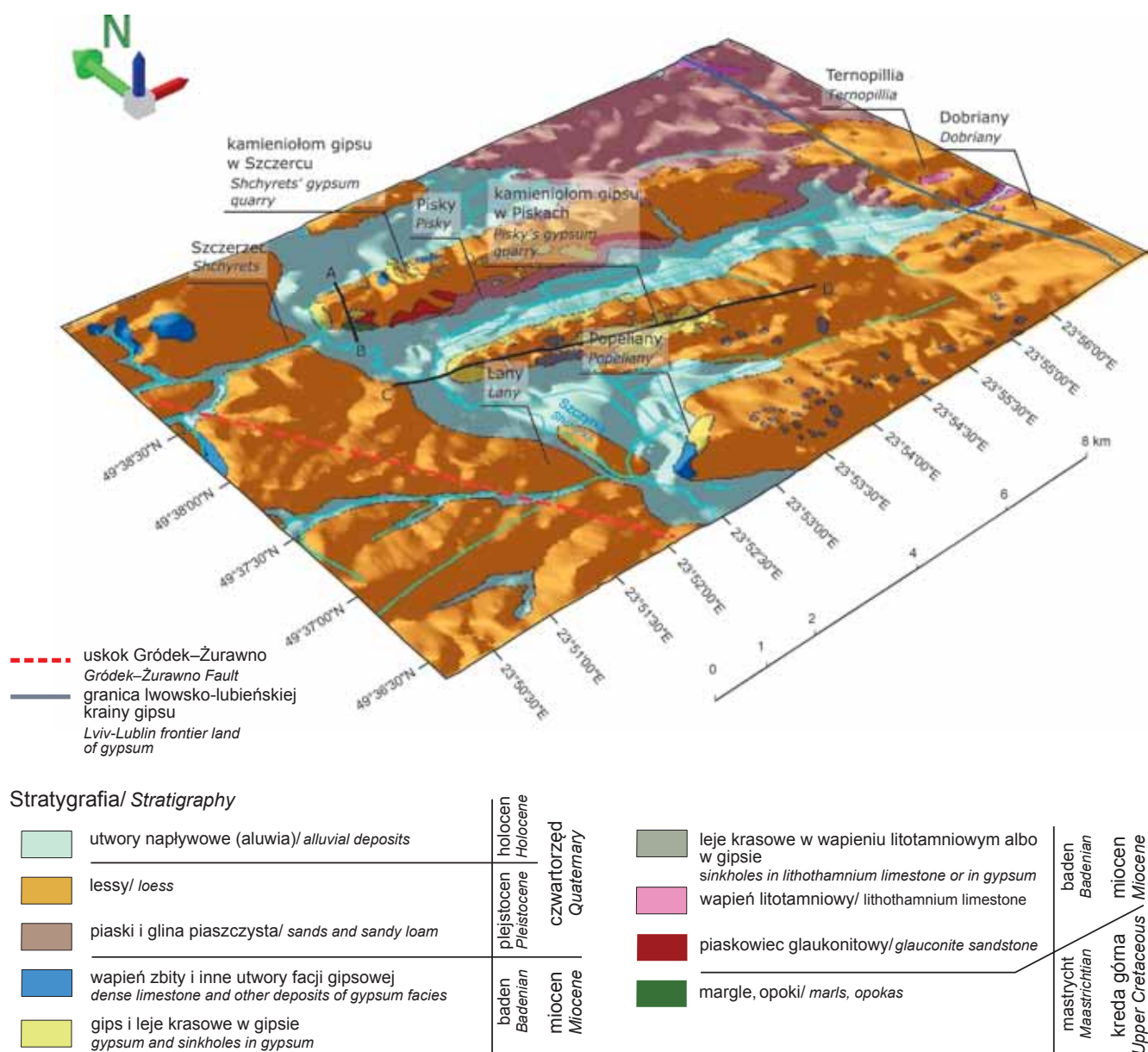


Fig. 4. Trójwymiarowa mapa geologiczna okolic Szczercza k. Lwowa z naniesionymi liniami przekrojów pokazanych na figurach 7 i 8, zgodnie z Atlase Geologicznym Galicyi, arkusz Mikołajów–Bóbrka (źródło: Teisseyre, 1894–1895)

Three-dimensional geological map of the Shchyrets' area near Lviv with marked cross-sections shown in Figures 7 and 8, according to Atlas Geologiczny Galicyi, sheet Mikołajów–Bóbrka (source: Teisseyre, 1894–1895)

łych już po czasie kartowania przez Teisseyre'a. Nową mapę naniesiono na NMT, otrzymując w ten sposób trójwymiarową mapę geologiczną (fig.4).

Wykorzystane dane morfologiczne są zawarte na mapie topograficznej o cięciu poziomym co 5 m (poziomice

ciągłe) i co 2,5 m (poziomice ciągłe i przerywane, Mapa topograficzna...).

Dodatkowo wykonano mapę nachylenia i ekspozycji zboczy (fig. 5). Materiał ten umożliwia analizę geomorfologiczną okolic Szczercza.

ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW MORFOLOGICZNYCH NA MAPIE 3D

Na trójwymiarowej mapie geologicznej, posiłkując się mapą nachylenia i ekspozycji zboczy oraz NMT, możemy prześledzić wszelkie geomorfologiczne aspekty, które podkreślają złożoność rzeźby badanego obszaru. Z doliną rzeki

Szczyrki, płynącej z północy na południe, wiąże się dobrze widoczna asymetryczność ukształtowania terenu (fig. 6). Zjawisko to jest typowe dla rzek Opola Małego (Pazdro, 1953). Niesymetryczność doliny jest widoczna w miej-

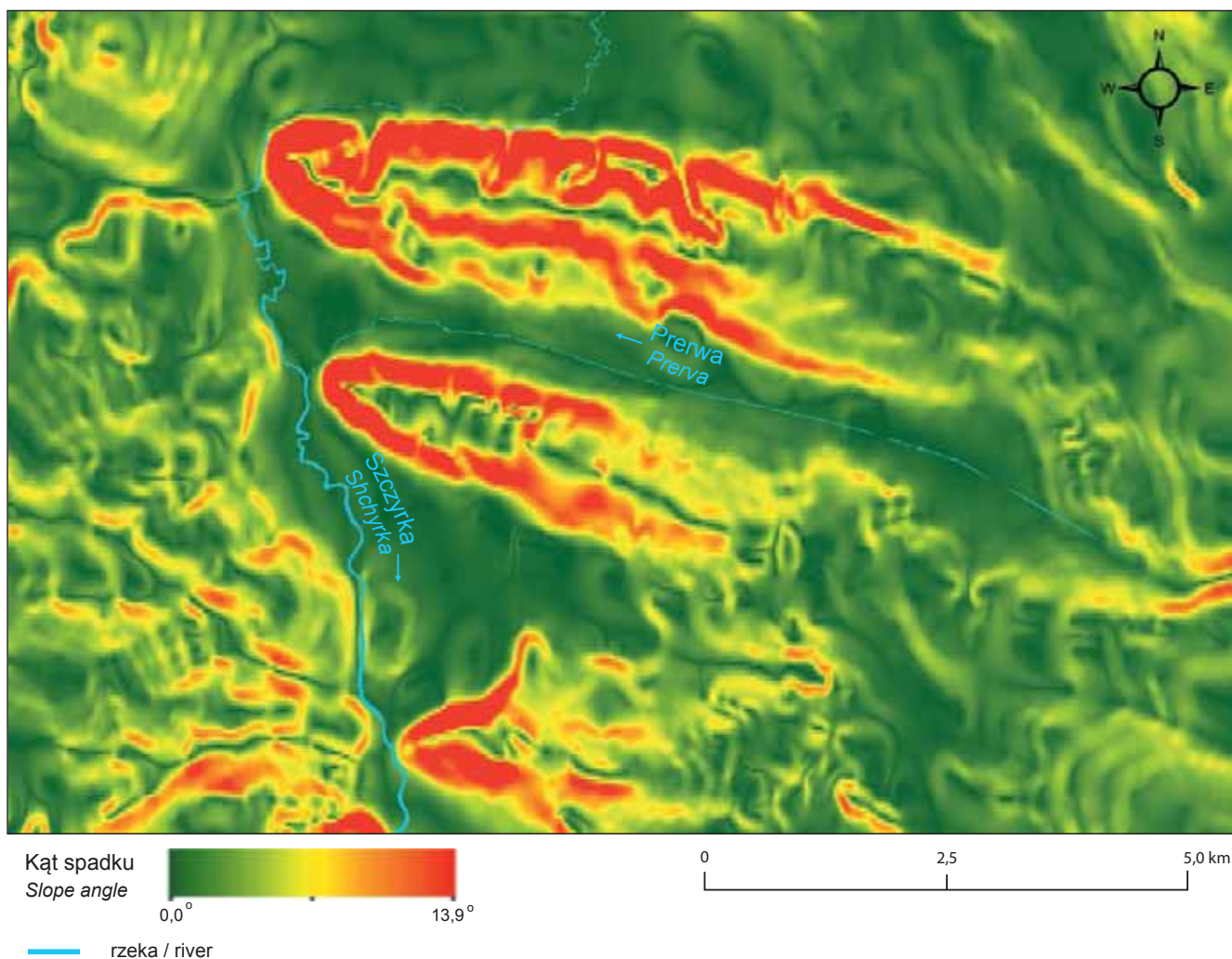


Fig. 5. Mapa nachylenia zboczy okolic Szerca k. Lwowa

Slope map of the environs of Shchyrets near Lviv

szach, gdzie rzeka płynie obok wysokich wzniesień, zaznaczających się na mapie równoleżnikowym przebiegiem. Na tych odcinkach zbocze doliny jest znacznie bardziej strome na wschodzie, a na zachodzie ma łagodny charakter. Sytuacja ta jest widoczna na mapie nachylenia zboczy, gdzie po wschodniej stronie rzeki ich nachylenie wynosi 7–12°, a po przeciwnej stronie mamy wartości 1–4°.

Charakterystyczną cechą jest to, że wychodnie lekko nachylonych ku północy lub północnemu-wschodowi gipsów, znajdujące się na stromym, wschodnim zboczu, leżą bardzo wysoko ponad dnem doliny. Taka sytuacja może być rezultatem działalności tektonicznej uskoku obniżającego teren na zachód od Szerczyki, bądź też efektem szczególnego położenia starszego podłoża. Przyczyna asymetrii może być oczywiście bardziej złożona (Klimaszewski, 1978; Brzezińska-Wójcik, 2014; Hołub, Jacyszyn, 2008).

Teren Szerca leży na zachodnim, wysuniętym krańcu Opoli Małego, gdzie Szerczyka jest zachodnią granicą ob-

szaru. Obszar ten charakteryzuje się wyżynnym charakterem, najwyższe punkty przekraczają wysokość 300 m n.p.m. Analizowany obszar leży na pograniczu dwóch krain geograficznych – Opoli Małego i Podniestrza Zachodniego. Podniestrze cechuje się znacznie mniejszymi wartościami hipsometrycznymi w stosunku do tych w Opolu Małym. Wartości wysokości opadają w kierunku zachodnim. Fakt ten może wynikać z antyklinalnego ułożenia kredy (Pazdro, 1953) i może mieć wpływ na znacznie mniejszą średnią wysokość terenu po prawej stronie rzeki Szerczyki.

W kilku miejscach na mapie, na stokach wzgórz są widoczne charakterystyczne spłaszczenia terenu – tarasy. Są one widoczne na mapie nachylenia zboczy, gdzie kąty nachyleń dla tarasów wynoszą 1–2°, a dla pozostałej części 6–10° (fig. 5). Rzeźba tych tarasów jest prawdopodobnie uwarunkowana strukturalnie – jest wynikiem występujących tu niemalże horyzontalnie gipsów badenu środkowego i związanego z nimi poziomu denudacyjnego (Pazdro, 1953).

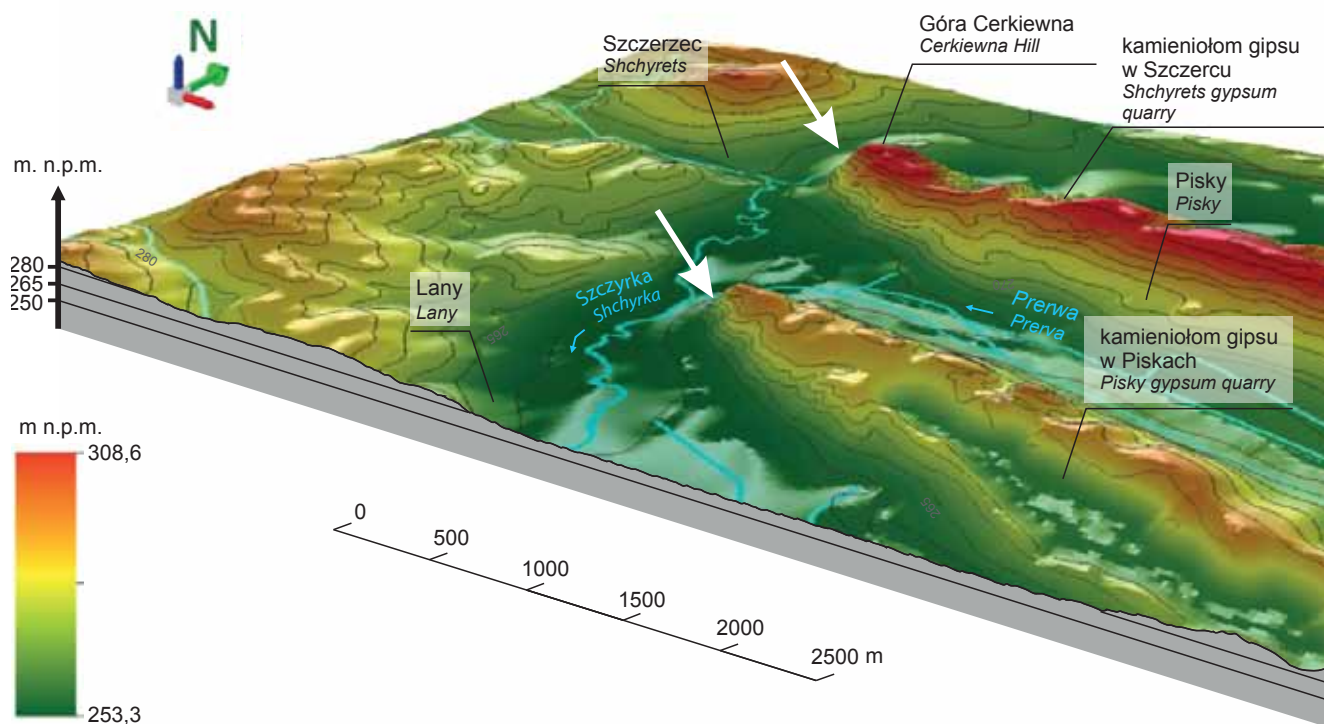


Fig. 6. Numeryczny Model Terenu okolic Szczercza, przecięty prostopadle do biegu rzeki Szczyrki

Asymetryczność doliny rzecznej jest zaznaczona białymi strzałkami w miejscach, gdzie zbocza doliny ekspozycje na zachód są wyraźnie bardziej strome od zboczy o ekspozycji wschodniej. Zastosowano 4-krotne przewyższenie

Digital Elevation Model of the Shchyrets' area, cut perpendicular to the course of the Shchyryka River

Asymmetry of the river valley is shown by white arrows in places where the western-exposed valley slopes are evidently steeper than the eastern-exposed slopes. The vertical exaggeration is 4 times

BUDOWA GEOLOGICZNA NA PODSTAWIE OBRAZU 3D

Powstałą mapę wykorzystano do sporządzenia dwóch przekrojów geologicznych oraz do wykonania pomiarów niwelacyjnych wychodni na tym obszarze.

W południowym fragmencie mapy, w miejscowości Popeliany, dokonano pomiarów wysokościowych wychodni warstw formacji tiraskiej – wapienia ratyńskiego i leżącego pod nim gipsu. Na figurze 7 przedstawiono niwelacyjny zasięg występowania wapieni i gipsów.

Przekroje geologiczne zostały wykonane w miejscach stosunkowo dobrze rozpoznanych. Pierwszy z nich, A–B, o kierunku północ–południe, przecina Górę Cerkiewną w Szczercu (fig. 8). W terenie zbadano położenie gipsów badeńskich – 40/3 N, a ich miąższość przekracza 25 m. Niżej leżą warstwy baranowskie reprezentowane przez pakiet skał o miąższości 6 m (Friedberg, 1910). Podłoże kredowe, na którym leżą piaskowce glaukonitowe warstw

baranowskich, opada w kierunku północno-zachodnim. Maksymalna wysokość występowania kredy w tym przekroju to 263 m n.p.m. Osady czwartorzędowe nie zostały szczegółowo zbadane. Znana jest jedynie ogólna miąższość osadów aluwialnych i eolicznych podana dla całego rejonu – lessy 1–5 m miąższości, a osady aluwialne 2,50–8,25 m (Herasimow i in., 2005).

Kamieniołom gipsu w Piskach przecina przekrój geologiczny NNW–SSE wzdłuż linii C–D (fig. 9). Dno kamieniołomu sięga najstarszego litosomu A gipsów badeńskich, których położenie tektoniczne to 119/4 N (pomiar wykonany w kamieniołomie). Poniżej gipsów leżą kolejno utwory badenu dolnego: warstwy mikołajewskie, warstwy baranowskie i pokłady nierozdzielone. Pod nimi wrysowano nierozdzielone pokłady paleogenu (Lwiwska Heołohiczno-Razwedoczna Ekspedycja, brak daty).

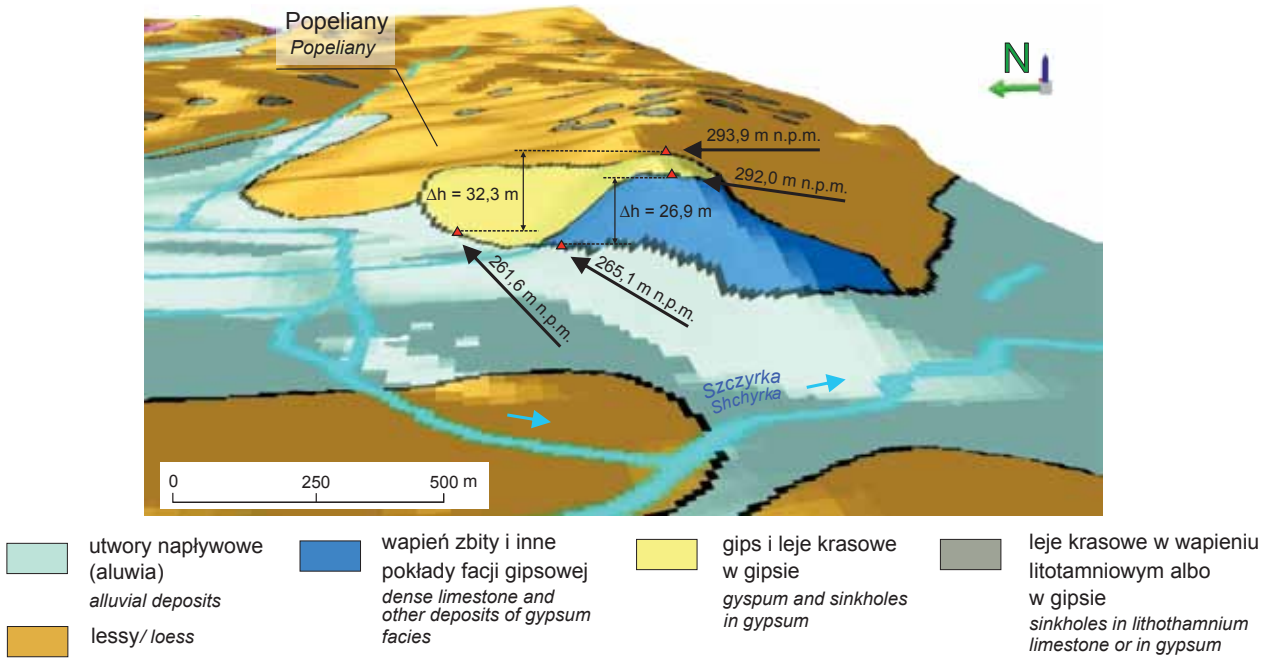


Fig. 7. Pomiary niwelacyjne granic występowania wychodni gipsów i wapienia ratyńskiego badenu środkowego na obszarze wzgórza w Popelianach

Measurements of the elevation of occurrence of gypsum and Ratyń limestone exposures on the hill at Popeliany

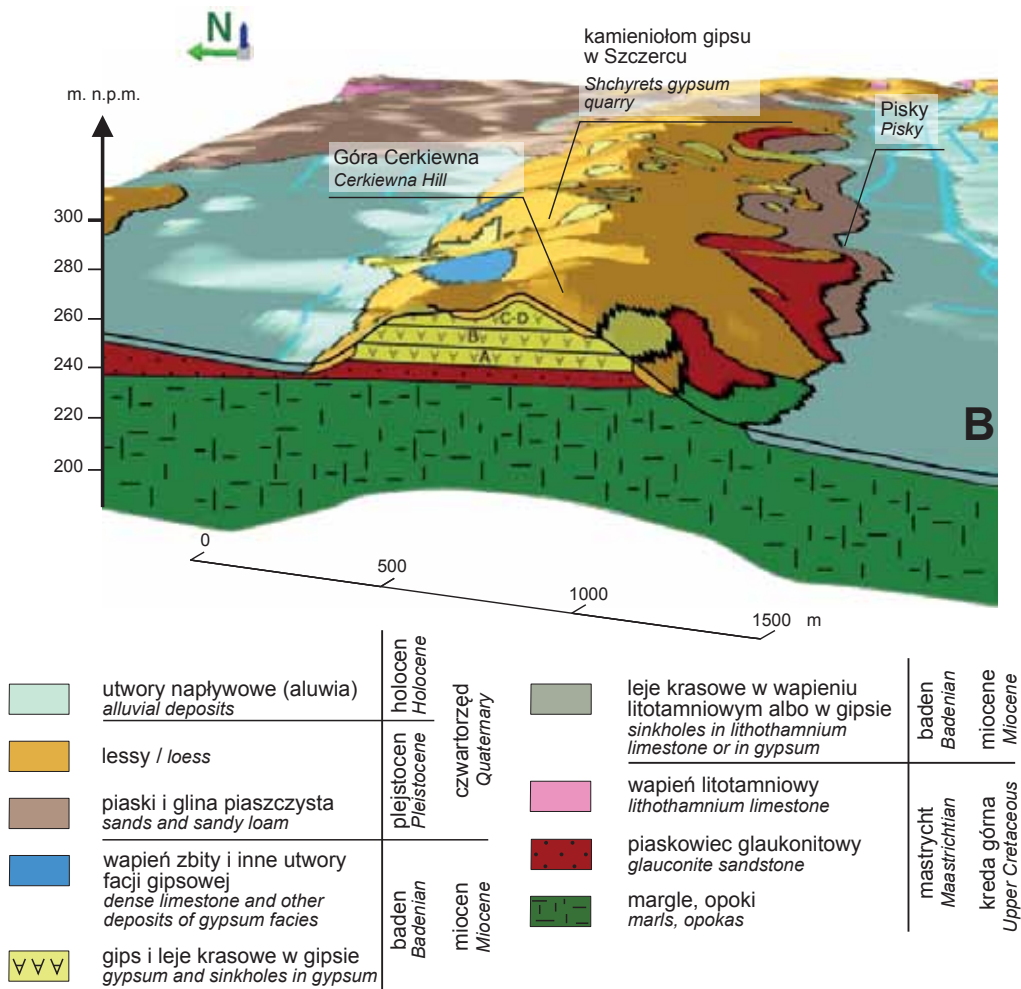


Fig. 8. Przekrój geologiczny przez Górę Cerkiewną w Szczercu (źródło: Teisseyre, 1894–1895)

Geological cross-section through Cerkiewna Hill at Shchyrets (source: Teisseyre, 1894–1895)

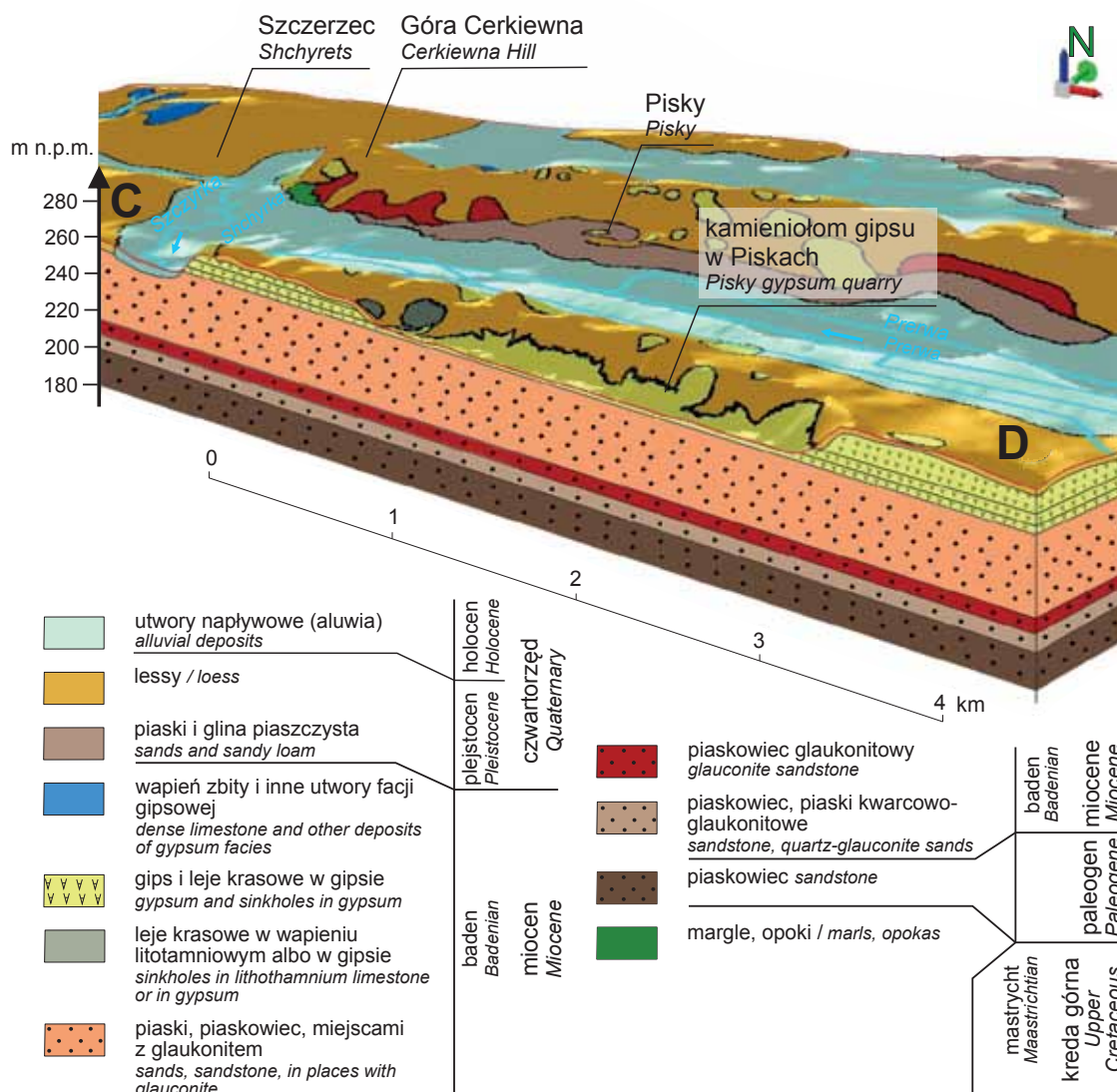


Fig. 9. Przekrój geologiczny przez kamieniołom w Piskach
(źródła: Teisseyre, 1894–1895, Lwiwska Heolohiczno-Razwedoczna Ekspedycja)

Geological cross-section through the Pisky quarry (source: Teisseyre, 1894–1895, Lwiwska Heolohiczno-Razwedoczna Ekspedycja)

PODSUMOWANIE

Wykonano trójwymiarową mapę geologiczną z zastosowaniem oprogramowania ArcGIS 10.1, wykorzystując mapę topograficzną w skali 1:10 000 (Mapa topograficzna...) oraz mapę geologiczną, arkusz Mikołajów–Bóbrka, w skali 1:75 000 (Teisseyre, 1894–1895). Pokazano zalety tej mapy na wybranych przykładach analiz geomorfologicznej i geologicznej. Wygenerowano mapy nachylenia i ekspozycji zboczy. Wykonano analizę asymetryczności doliny Szczyrki, zinterpretowano przypuszczalne pochodzenie tarasów na wzgórzach. W celu zaprezentowania zastosowania mapy w interpretacji geologicznej utworzono dwa przekroje geologiczne i przedstawiono niwelacyjną zależność warstw gipsów i wapieni na północnym zboczu wzgórza w miejscowości Popeliany. Opracowana trójwymiarowa mapa geologiczna (3D) w dobry sposób ukazuje zależności jakie wystę-

pują między budową geologiczną a rzeźbą terenu. Nałożenie wychodni utworów geologicznych na cieniowaną mapę hipsometryczną daje możliwości analizy niedostępne podczas pracy z mapą 2D.

Podziękowania. Serdecznie dziękuję moim promotorem: dr. hab. Maciejowi Bąblowi prof. UW i mgr. Damianowi Ługowskiemu, bez ich pomocy i wskazówek nie powstałby powyższy artykuł. Również dziękuję prof. Andrzejowi Boguckiemu za udostępnienie mapy topograficznej oraz dr. hab. Stanisławowi Wołkowiczowi prof. nadzw. PIG-PIB i dr. Markowi Jasionowskiemu za cenne wskazówki i uwagi.

Badania finansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki, decyzja nr DEC-2012/05/B/ST10/00918.

LITERATURA

- BĄBEL M., 2005 — Event stratigraphy of the Badenian selenite evaporites (Middle Miocene) of the northern Carpathian Foredeep. *Acta Geol. Pol.*, **55**, 1: 9–29.
- BĄBEL M., ŁUGOWSKI D., NEJBERT K., OLSZEWSKA-NEJBERT D., KRAWCZYK M., KOTOWSKI J., SZCZEPAŃSKA I., YATSYSHYN A., BOGUICKI A., MUKHAB., BERMES A., JANOWSKI J., BURAM., 2015 — Rapid growth of hydration caves in the weathering anhydrite rocks, Pisky quarry, Ukraine. *W: Abstracts of 31st IAS Meeting of Sedimentology held in Krakow on 22nd–25th of June 2015*: 56. Polish Geological Society, Kraków.
- BĄBEL M., JACYCZYŃ A., OLSZEWSKA-NEJBERT D., NEJBERT K., BOGUICKI A., MAKSYMOW I., MIK W., BERMES A., ŁUGOWSKI D., KACPRZAK K., PRZYBYLIK G., WITKOWSKI M., 2013 — Jaskinie z pęcznienia (ang. swelling caves) w strefie współczesnego wietrzenia anhydrytów w kamieniołomie Pisky w okolicach Lwowa. *W: Od Czarnohory po Góry Świętokrzyskie – Geologiczne Peregrynacje* (red. M. Bąbel i in.). Polsko-Ukraińska Sesja Naukowa, Warszawa–Bocheniec, 15–19 października 2013: 19–26. Instytut Geologii Podstawowej WG UW, Warszawa.
- BĄBEL M., YATSYSHYN A., ŁUGOWSKI D., NEJBERT K., OLSZEWSKA-NEJBERT D., BOGUICKI A., KREMER B., 2014 — Swelling caves from the weathering zone of anhydrite rocks in western Ukraine. *W: 19th International Sedimentological Congress, Sedimentology at the Crossroads of New Frontiers, Abstracts Book*. Geneva, Switzerland, 18–22 August 2014: 35. IAS, Université de Genève.
- BOGUICKI J. A., JACYCZYŃ A., ŁANCZONT M., HOŁUB B., 2009 — Do geomorfologii dolyn Serednego Dnistra, Prutu, *W: Najdawniejszy lesi Podillia o Pokuttia, problemy genezy, stratygrafii, paleogeografii* (red. A. Boguski): 15–27. Wydaw. Centr. LUN im. I. Franko.
- BRZEZIŃSKA-WÓJCİK T., 2014 — Jaka jest rola czynnika strukturalnego w rozwoju dolin asymetrycznych na Roztoczu? *W: V Warsztaty Geomorfologii Strukturalnej, Strukturalne i litofacjalne uwarunkowania rozwoju rzeźby Roztocza w aspekcie historii tektoniczno-basenowej Karpat i zapadliska przedkarpackiego* (red. W. Margielewski i in.). Zwierzyniec–Józefów–Horyniec, 24–26 września 2014: 32–34. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków–Zwierzyniec.
- FRIEDBERG W., 1910 — Miocän in Szczerzec bei Lemberg. *Jahrbuch der Kaiserlich Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, **60**, 1: 163–178.
- GŁOWACKI T., 2005 — Projekty GIS. Administracja i użytkowanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- HERASIMOW L.S., MAKAROWA I.W., CZALYJ S.W., PLOTNIKOWA A.A., HERASIMOWA I.I., POLKUNOWA H.W., JEWTUSZKO T.L., KUZOWENKO W.W. (red.), 2005 — Derzawna heolohiczna karta Ukrainy, masztab 1:200 000. Karpatska serja, arkuszy M-34-XXIII (Pszemysl), Pojasnjuwalna zapyska. Derzawnyj komitet pryrodnyh resursiw Ukrainy, NAK „Nadra Ukrainy”, DP „Zahidukrheolohija”, Lwiwska Heolohorozwiduwalna Ekspedycja. Kyiw: 132.
- JARZYNA A., 2016 — Trójwymiarowy model rzeźby terenu i analiza budowy geologicznej okolic Szczyrca k. Lwowa [pr. dypl. inż.]: 46. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Warszawa.
- KARABINOS P., 2011 — Integrating a geologic map and cross-sections into an interactive 3-D block diagram with Google SketchUp. Department of Geosciences, Williamstown.
- KLIMASZEWSKI M., 1978 — Geomorfologia. PWN, Warszawa.
- LWIWSKA HEOLOHICZNO-RAZWEDOCZNA EKSPEDYCIJA, brak daty — Mapa geologiczna okolic Pisków w skali 1:25 000 [w języku ukraińskim]. *W: Zemlelohija ekolohoresursna bezpeka Zemli* (red. G. Rudko, O. Adamenko). 2009: fig. 5.34. Akadempres, Kyiw.
- ŁUGOWSKI D., BĄBEL M., BOGUICKI A., JACYCZYŃ A., OLSZEWSKA-NEJBERT D., NEJBERT K., JARZYNA A., BERMES A., PRZYBYLIK G., 2016. Gipsy i anhydryty badeńskie rejonu Szczyrca k. Lwowa. *W: Wyzwania Polskiej Geologii*, 3. Polski Kongres Geologiczny, Tom Kongresowy. (red. J. Wojewoda): 225–228. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Wrocław.
- MAPA TOPOGRAFICZNA okolic Szczerca, arkusz 1:10 000. Miejsce i rok wydania nieznane [w języku rosyjskim].
- NEJBERT K., ŚLIWIŃSKI M.G., BENOWITZ J., LAYER P., YATSYSHYN A., TOMENIUK O., OLSZEWSKA-NEJBERT D., BĄBEL M., 2012 — ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of late Badenian pyroclastic deposits from Schyrets’ (near Lviv, Ukraine) and its stratigraphic significance. *W: Environmental, Structural and Stratigraphical Evolution of the Western Carpathians*, 8 Conference 2012, Abstract Book (red. Š. Józsa, i in.). Bratislava, 6–7 December: 33. Comenius University, Faculty of Natural Sciences, Bratislava
- ONYSZCZYK O.M., FEDCZENKO T.O., PETROWSKYJ O.P., KAZJUKA I.M., 2011 — Hlybyinna budowa piwniczno-zahidnoj czastyny karpatskoj NHP za rezultatami intehralnoj interpretacij kompleksu heoloho-heofizycznych danych. *Heodynamika*, **2**, 11.
- PAZDRO Z., 1953 — Jednostki tektoniczne w budowie Opola Małego i fazy ich rozwoju, *Biul. Inst. Geol.* (bez numeru): 1–114.
- PERYT T.M., 2006 — Sedymentacja ewaporatów badeńskich w zbiorniku przedkarpackim, *Prz. Geol.*, **54**, 5: 438–444.
- PERYT D., GEDL P., PERYT T.M., 2014 — Foraminiferal and palynological records of the Late Badenian (Middle Miocene) transgression in Podolia (Shchyrets near Lviv, western Ukraine). *Geol. Quart.*, **58**, 3: 465–484.
- PETRICHENKO O.I., PERYT T.M., POBEREGSKY A.V., 1997 — Peculiarities of gypsum sedimentation in the Middle Miocene Badenian evaporite basin of Carpathian Foredeep. *Slovak Geol. Mag.*, **3**, 2: 91–104.
- PETROWSKYJ O.P., BODLAK P.M., FEDCZENKO T.O., KOSTYK A.O., JAREMYN I.J., HNEWUSZ W.W., 2013 — Suczasna prostorowa heoloho-heofizyczna model hlybyinnoj budowy piwdenno-shidnoj czastyny karpatskoho naftohazopromyslowoho rajonu ta adekwatnist hrawitacijnomu polju. *Heofizyka*, **2**, 15: 271–273.
- POBEREZHSKY A.V., JASIONOWSKI M., 1999 — Gypsum section at Pisky. *W: International Symposium, Evaporates and carbonate-evaporate transitions, Field trips guidebook*. Lviv, Ukraine, 10–13 September, 1999: 19–22.
- SIEMIRADZKI J., 1909 — Geologia Ziem Polskich. T. 2. Formacje młodsze (Kreda Dyluwium): 1–584. Nakładem Muzeum im. Dzieduszyckich, Lwów.
- SUSINI S., DONATIS M.D., 2007 — 3D model of a sector of the South Scotia Ridge (Antarctica). *Comput. & Geosc.*, **35**, 1: 83–91.

- TEISSEYRE W., 1894–1895 — Mikołajów i Bóbrka, 1:75 000. Atlas Geologiczny Galicyi. Zeszyt 22. Zakład wojskowy geograficzny w Wiedniu. Wydawnictwo Komisji Fizyograficznej Akademii Umiejętności, Kraków 1912.
- TONINI A., GUASTALDI E., MECCHERI M., 2007 — Three-dimensional reconstruction of the Carrara Syncline (Apuane Alps, Italy): An approach to reconstruct and control a geological model using only field survey data. *Comput. & Geosc.*, **35**, 1: 33–48.
- WENGLINSKI I.W., GORIECKI W.A., 1979 — Stratotypy mio-cenowych otłożeń Wołyńo-Podolskiej płyty, Priedkarpackowo i Zakarpackowo progibow: 1–175. Naukowa Dumka, Kijów.

SUMMARY

The paper describes the construction of a three-dimensional (3D) geological map of the environs of Shchyrets, 25 km SSW of Lviv (Fig. 1). This area provides an important exposure of Badenian (Middle Miocene) evaporites and associated Badenian deposits in the Carpathian Foredeep Basin, studied by geologists for a long time. The produced 3D map is an update based on currently available cartographic data, which are generally difficult to access and incomplete. The most detailed work is the 1:75,000 geological map by Teisseyre (1894–1895), sheet “Mikołajów i Bóbrka”, being part of the Geological Atlas of Galicia (Geologiczny Atlas of Galicyi). The compilation of the 3D geological map was based mainly on this publication. The resulting map is obviously the basis for further transformations, analysis, interpretation and 2D and 3D visualization.

The study area is an upland with elevations from 253.8 to 308.5 m a.s.l. The oldest recognized geological deposits in the area are Late Cretaceous (Maastrichtian) in age (Fig. 2). The Paleogene clastic deposits lie above with erosional discontinuity and are not exposed on the surface. The younger Badenian deposits are separated from the substrate by the next erosional discontinuity. The Badenian is divided into three parts: the sub-evaporite unit (sandstones, marls, limestones), the evaporite unit (gypsum, anhydrite and carbonate deposits), and the supra-evaporite unit (marls and clays). Among these units, the gypsum deposits, ca. 45 m in thickness, are the best exposed in two

quarries at Shchyrets and Pisky. In these quarries, one of the most complete sections of the Badenian evaporites in the Carpathian Foredeep is visible (Fig. 3). The Quaternary cover is composed of sands, sandy loam, loess, and clastic alluvial deposits.

The map was constructed in the ArcGIS 10.1. At the start of the work the geological units were updated to the currently accepted stratigraphic terminology. Then, a paper version of the topographic map at the scale 1:10,000 was digitized. The acquired digital versions of geological maps and contour lines from the topographic map underwent a process of vectorization. All digital images were calibrated in the coordinate system of Ukraine 2000. Next, a Digital Terrain Model (DTM) was created and it was applied to the vectorized geological structure (Fig. 4). Additionally, the map of slope inclinations was compiled and analysed (Fig. 5). Based on the obtained geological 3D map and other data, a preliminary analysis of geomorphic features was made (Fig. 6), as well as the measurements of the height of geological exposures (Fig. 7). Exemplary representative geological cross-sections were made (Figs. 8, 9). Based on the 3D geological map the asymmetry of Shchyryka River valley was quantitatively described and shortly analysed. Structural terraces on the slopes of Cerkiewna Hill were identified. To conclude, the obtained geological 3D map enables better analysis of the geological and geomorphological structure than traditional two-dimensional map.

