

Marta Rauch

*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych
Instytut Nauk Geologicznych PAN, Ośrodek Badawczy we Wrocławiu*

Powstawanie utworów chaotycznych związanych z nasunięciami, w świetle wyników modelowania analogowego

Dotychczasowe badania terenowe w polskich Karpatach zewnętrznych prowadzone przez różnych badaczy dokumentują obecność utworów chaotycznych, które powstały w wyniku podmorskich ruchów masowych. Wychodnie utworów chaotycznych często występują w rejonie stref ścięć tektonicznych i mają charakter melanży tektonicznych związanych z nasunięciami. Wykorzystując metodę modelowania analogowego, przeprowadzono eksperyment dokumentujący sposób powstawania kompleksów chaotycznych w rejonie nasunięcia.

Słowa kluczowe: utwory chaotyczne, olistostroma, strefy ścięć tektonicznych, modelowanie analogowe, Karpaty zewnętrzne.

Formation of chaotic complexes associated with overthrusts, on the basis of analog modelling results

Previous fieldwork in the Polish Outer Carpathians conducted by various researchers document the presence of chaotic complexes, the blocks in the matrix type, which were created as a result of underwater mass movements. The outcrops of the chaotic complexes frequently occur in the region of tectonic shear zones and are characteristic for tectonic mélanges connected with overthrusts. Using the analog modelling method, the experiment was performed documenting how the chaotic complexes are formed in the region of the overthrust.

Key words: chaotic complexes, olistostrome, shear zones, analog modelling, Outer Carpathians.

Wstęp

Badania terenowe w polskich Karpatach zewnętrznych potwierdzają obecność utworów chaotycznych typu „bloki w matriks”, zwanych też olistostromami [3, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18]. Kompleksy chaotyczne typu bloki w matriks [5] to kompleksy, w których została rozerwana pierwotna ciągłość warstw [9]. Cowan [5] wyróżnił cztery typy melanży tektonicznych, bloki w matriks określił jako melanz typu III. Ten typ melanży jest zwykle polimiktyczny i charakteryzuje się obecnością bloków o różnej wielkości i zróżnicowanym kształcie, które są chaotycznie rozmieszczone w drobnoziarnistym matriks. Wielkość bloków może się wahać od kilku milimetrów do nawet kilometra. Ich kształt może być nieregularny, kanciasty lub też spłaszczony i soczewkowaty.

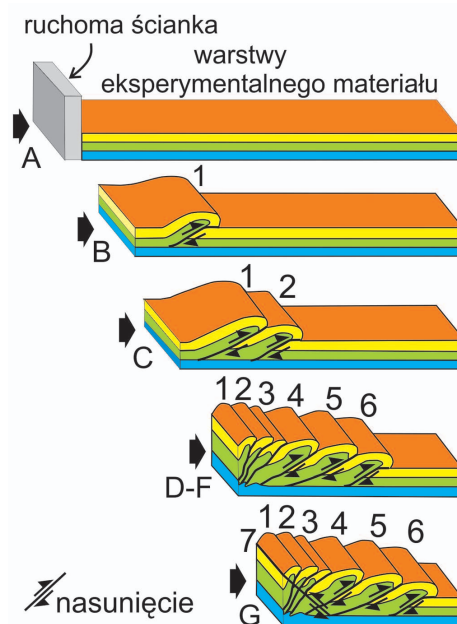
W końcowym etapie zamykania się basenów resztkowych, u czoła płaszczowin stanowiących elementy złusowanej przyzmy akrecyjnej, dochodziło do nagromadzenia ześlizgów podmorskich, olistostrom [9]. W końcowej fazie sedymentacji w karpackim basenie fliszowym, gdy aktywne były ruchy nasuwcze, od czoła nasuwających się płaszczowin odrywały się różnej wielkości pakiety skalne, które w spływach mułowo-skalnych mogły być transportowane niekiedy na duże odległości [18].

W powszechnej opinii na powstanie polskiej części karpackiej przyzmy akrecyjnej miał wpływ ruch bloku kontynentalnego zwanego ALCAPA, który zachowując się jak spychacz, spiętrzał u swego czoła osady basenu karpackiego.

Rekonstrukcje oligoceńsko-miocenińskiej tektonicznej ewolucji systemu karpacko-panońskiego [7, 12, 14] sugerują, że blok ALCAPA przemieszczał się generalnie ku N i E.

Modelowanie analogowe umożliwia odtworzenie ewolucji danej struktury lub orogenu w warunkach laboratoryjnych. Jest laboratoryjną metodą badawczą znaną już w XIX wieku, kiedy prowadzono eksperymenty mające na celu badanie mechanizmów powstawania fałdów i uskoków, modelując odpowiedniki struktur obserwowanych w naturze [2]. Obecnie metoda ta jest bardzo popularna na świecie. W eksperymencie określa się, jaki wpływ ma dany czynnik na końcowy efekt modelowania, badane są różne czynniki, takie jak np. tarcie podłoża, tarcie wewnętrzne materiału badawczego, miąższość danego eksperymentalnego materiału itp. [1]. Naukowcy analizują również wzajemny wpływ tektoniki, sedymentacji i erozji na końcowy wynik modelowania [8]. Wynikiem końcowym takiego eksperymentu jest trójwymiarowy model danej struktury lub orogenu. Modelowanie analogowe wykorzystuje się też do badania orogenów fałdowo-nasuwczych i pryzm akrecyjnych [1, 6, 13, 15]. W tych badaniach stosuje się taranową odmianę tej metody. W takim eksperymencie (rysunek 1) w warstwę materiału eksperymentalnego wpychany jest taran (ang. *indenter*), zwykle w formie pionowej, ruchomej płyty, u której czoła spiętrzany jest materiał w formie stosu łusek, które powstają kolejno ku przedpolu, a na pewnym etapie zaczynają się tworzyć nasunięcia wsteczne. Taki stos łusek stanowi eksperymentalną pryzmę

akrecyjną. Jak już wcześniej wspomniano, wyniki eksperymentu zależą od wielu czynników, takich jak np. rodzaj i właściwości materiału, miąższość warstwy materiału itp.



Rys. 1. Schemat formowania się eksperymentalnej pryzmy za Mulugetą i Koyim [13], uproszczony. W kolejnych etapach (A–F) powstają kolejne nasunięcia ku przedpolu eksperymentalnej pryzmy, a w końcowym etapie eksperymentu (G) zaczynają tworzyć się również nasunięcia wsteczne. Czarna, pojedyncza strzałka z lewej strony wskazuje kierunek ruchu ścianki

Metodyka badań

Doświadczenia wykonano na specjalnym urządzeniu do modelowania analogowego, które znajduje się w Laboratorium Modelowania Analogowego „TectoModel Lab” w Instytucie Nauk Geologicznych PAN, Ośrodek Badawczy we Wrocławiu. Jako materiału doświadczalnego użyto suchego piasku kwarcowego o gęstości 1,55 g/cm³, kohezji 23 kPa i kącie tarcia wewnętrznego wynoszącym 28°.

Piasek, pierwotnie biały, został zabarwiony na różne kolory w celu umożliwienia obserwacji powstających deformacji

w czasie doświadczenia. Warstwy kolorowego piasku wysypano w urządzeniu do modelowania, zbudowanym z pudełka o ściankach ze szkła umocowanych na metalowej płycie. Jedna ścianka tego eksperymentalnego pudełka jest mobilna i przemieszczała się do jego wnętrza, zachowując się jak odpowiednik sypacza. Warstwy kolorowego piasku zostały poddane ścisnaniu u czoła ruchomej ścianki, co wywołało stopniowe powstawanie kolejnych nasunięć i w efekcie u jej czoła z piasku uformował się stos łusek.

Wyniki badań

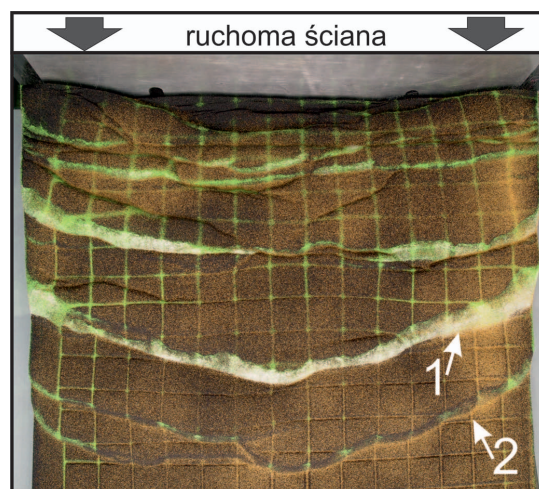
Przemieszczająca się ścianka urządzenia (rysunek 2) wymusiła powstawanie kolejnych nasunięć i formowanie się piaszczystych łusek. Każde nowo powstające nasunięcie powodowało formowanie się antykliny nadnasuwczej w skrzydle stropowym tego nasunięcia. Tworząca się antyklina zaznaczała się progiem morfologicznym w stropie eksperymentalnego materiału (rysunki 2, 3A, 4). Powstające kolejne

łuski uformowały stos, będący eksperymentalną pryzmą akrecyjną (rysunek 2).

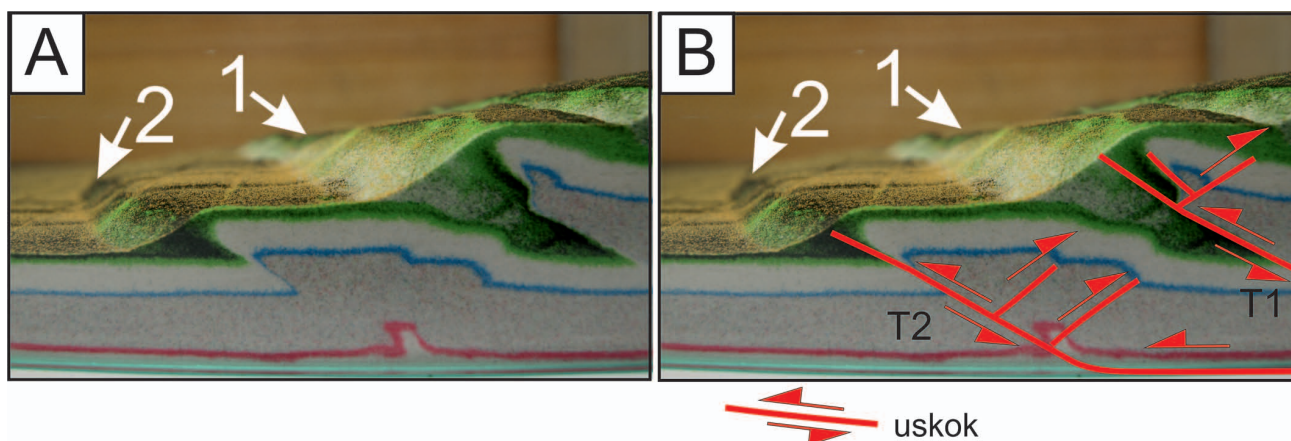
Antyklina nadnasuwcza początkowo zaznaczała się jedynie progiem morfologicznym w stropie modelu. W trakcie kolejnych etapów doświadczenia, przy dalszym nasuwaniu się łuski, taki próg stawał się coraz wyższy i bardziej stromy, co w efekcie powodowało, że piasek budujący taki próg

zaczynał się osypywać tak, jak u czoła nasunięcia 2 (rysunki 2, 3, 4; nasunięcie T2).

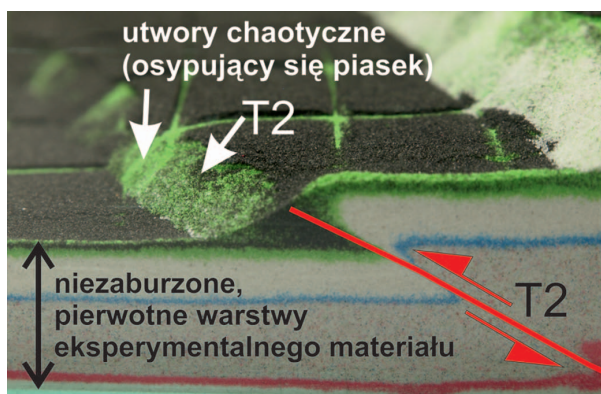
W kolejnych etapach aktywności danej łuski jej frontalna część ulegała dalszej erozji, osypujący się piasek dostawał się w dużej części pod powierzchnię aktywnego nasunięcia, pozostała część różnokolorowego piasku została przecięta przez nasunięcie, a reszta została włączona w skrzydło stropowe nasunięcia (rysunki 3B, 5; nasunięcie T1).



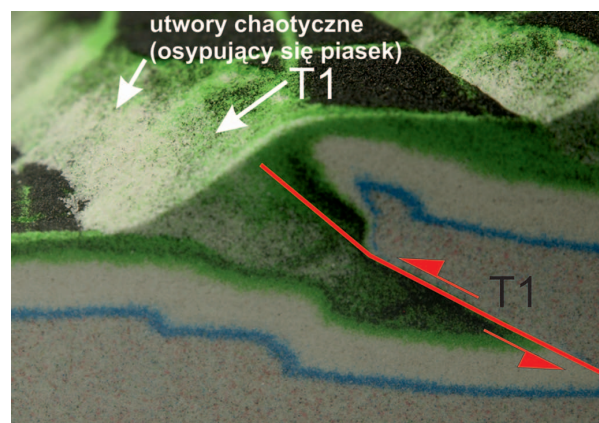
Rys. 2. Model eksperymentalnej pryzmy akrecyjnej, widok z góry. Czarnymi strzałkami zaznaczono zwrot ruchu ruchomej ścianki eksperymentalnego urządzenia. Widoczne są poszczególne łuski pryzmy w formie morfologicznych stopni. Numerami zaznaczono łuski widoczne na przekrojach (rysunki 3, 4)



Rys. 3. Widok z boku frontalnej części eksperymentalnej pryzmy, numerami zaznaczono dwie łuski widoczne na rys. 2: A – zdjęcie modelu; B – zdjęcie modelu z zaznaczoną orientacją bazalnych nasunięć T1 i T2 łusek i towarzyszących im uskoków drugiego rzędu



Rys. 4. Nasunięcie drugie (T2), widok z boku (por. rys. 2 i 3). Widoczna jest erozja antykliny nadnasuwczej, w formie osypującego się, różnokolorowego piasku. Gromadzący się piasek u czoła aktywnego nasunięcia jest odpowiednikiem utworów chaotycznych



Rys. 5. Nasunięcie pierwsze (T1), widok z boku (por. rys. 2 i 3). Widoczna jest erozja antykliny nadnasuwczej, w formie osypującego się, różnokolorowego piasku, w wyniku czego tworzy się kompleks chaotyczny u czoła nasunięcia

Podsumowanie

Wyniki modelowania analogowego potwierdzają wnioski wypływające z dotychczasowych terenowych badań utworów chaotycznych w polskich Karpatach zewnętrznych sugerujące, że mechanizmem powstawania utworów chaotycznych są ruchy masowe związane z wynoszeniem fragmentów płaszczowin [np. 4, 9, 10, 11, 16, 17]. W świetle rezultatów modelowania analogowego strefa znajdująca się u czoła

nasuwającej się płaszczowiny wydaje się miejscem sprzyjającym gromadzeniu się utworów chaotycznych. Na taki mechanizm powstawania tzw. półwyspu Woli Łużańskiej i czapek tektonicznych płaszczowiny magurskiej z okolic Jasła, zlokalizowanych na osadach płaszczowiny śląskiej, wskazywała już Szymakowska [18], co potwierdziły późniejsze badania Jankowskiego [9, 10].

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 9, s. 601–664

Artykuł nadesłano do Redakcji 23.06.2015 r. Zatwierdzono do druku 21.07.2015 r.

Praca powstała na podstawie badań wykonanych w ramach grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, nr NN525363637.

Literatura

- [1] Buiter S. J. H.: *A review of brittle compressional wedge models*. Tectonophysics 2012, vol. 530–531, s. 1–17.
- [2] Cadell H. M.: *Experimental researches in mountain building*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh 1888, vol. 35, s. 337–357.
- [3] Cieszkowski M.: *Strefa Michalczowej – nowa jednostka strefy przedmagurskiej w zachodnich Karpatach fliszowych i jej geologiczne otoczenie*. Kwartalnik AGH Geologia 1992, t. 18, z. 1–2, s. 1–125.
- [4] Cieszkowski M., Golonka J., Krobicki M., Slaczka A., Waszkowska A., Wendorff M.: *Olistolity w serii śląskiej i ich związek z fazami rozwoju basenu śląskiego*. Kwartalnik AGH Geologia 2009, t. 35, z. 2/1, s. 13–21.
- [5] Cowan D. S.: *Structural styles in Mesozoic and Cenozoic mélanges in the western Cordillera of North America*. Geological Society of America Bulletin 1985, vol. 96, s. 451–462.
- [6] Davis D., Suppe J., Dahlen F. A.: *Mechanics of fold-and-thrust belts and accretionary wedges*. Journal of Geophysical Research 1983, vol. 88, s. 1153–1172.
- [7] Fodor L., Csontos L., Bada G., Györfi I., Benkócs L.: *Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data*. [W:] Durand B., Jolivet L., Horvath F., Seranne M. (eds.): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 1999, vol. 156, s. 295–334.
- [8] Graveleau F., Dominguez S.: *Analogue modelling of the interaction between tectonics, erosion and sedimentation in foreland thrust belts*. Comptes Rendus Geoscience 2008, vol. 340, s. 324–333.
- [9] Jankowski L.: *Chaotic complexes in Gorlice region (Polish Outer Carpathians)*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 2007, nr 426, s. 27–52.
- [10] Jankowski L.: *Kompleksy chaotyczne Karpat Polskich*. Materiały konferencyjne „Przewodnik sesji terenowej”, Kraków–Polańczyk 2008, s. 26–88.
- [11] Jankowski L.: *Kompleksy chaotyczne w rejonie gorlickim (polskie Karpaty zewnętrzne)*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 2007, nr 426, s. 27–52.
- [12] Kováč M., Král J., Márton E., Plašienka D., Uher P.: *Alpine uplift history of the Central Western Carpathians: geochronological, paleomagnetic, sedimentary and structural data*. Geologica Carpathica 1994, vol. 45, s. 83–96.
- [13] Mulugeta G., Koyi H.: *Three-dimensional geometry and kinematics of experimental piggyback thrusting*. Geology 1987, vol. 15, s. 1052–1056.
- [14] Nemčok M., Houghton J. J., Coward M. P.: *Strain partitioning along the western margin of the Carpathians*. Tectonophysics 1998, vol. 292, s. 119–143.
- [15] Rauch M.: *The Oligocene–Miocene tectonic evolution of the northern Outer Carpathian fold-and-thrust belt: insights from compression-and-rotation analogue modelling experiments*. Geological Magazine 2013, vol. 150, issue 6, s. 1062–1084.
- [16] Slaczka A.: *Warstwy krosnienskie dolne z Roztok Dolnych (polskie Karpaty Wschodnie)*. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego 1963a, t. 33, z. 2, s. 181–186.
- [17] Slaczka A., Oszczytko N.: *Olistostromes and overthrusting in Polish Carpathians*. Abstracts, VIII RCMNS Congress, Hungary, Budapest 1985, s. 517–519.
- [18] Szymakowska F.: *Olistostromy z warstw krosnienskich Karpat Środkowych*. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego 1976, t. 46, z. 1–2, s. 39–54.



Dr hab. inż. Marta RAUCH
 Adiunkt w Instytucie Nauk Geologicznych
 Uniwersytetu Wrocławskiego
 pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław
 E-mail: marta.rauch@wroc.uni.pl
 Kierownik Laboratorium Modelowania Tektonicznego
 Instytut Nauk Geologicznych Polska Akademia Nauk

Ośrodek Badawczy we Wrocławiu
 ul. Podwale 75, 50-449 Wrocław
 E-mail: ndrauch@cyf-kr.edu.pl