



Referat został wygłoszony w dniu 22 marca 2023 r. na posiedzeniu Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddział w Krakowie

**prof. dr hab. inż. Jan Golonka (referujący),**

dr hab. Anna Waśkowska, prof. AGH, dr. inż. Kamil Cichostępski, dr hab. inż. Jerzy Dec, prof. AGH, prof. dr hab. inż. Kaja Pietsch, dr inż. Monika Łój, dr inż. Grzegorz Bania, dr hab. inż. Włodzimierz Jerzy Mościcki, prof. AGH, dr hab. inż. Sławomir Porzucek, prof. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza im Stanisława Staszica w Krakowie,  
Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska,

**E-mail, ORCID:** jgonlonka@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0001-9671-5809, waskowsk@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0003-4090-8534, kcichy@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0001-7982-4763, geodec@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0002-2911-5771, pietsch@agh.edu.pl, ORCID: brak, mloj@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0002-3687-5453, bania@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0002-9661-8184, moscicki@agh.edu.pl ORCID: 0000-0003-3593-9192, porzucek@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0002-8250-2703.

## **Melanże pienińskiego pasa skałkowego**

Zarówno procesy tektoniczne, jak i osadowe (podmorskie ruchy masowe) przyczyniły się do powstania melanży w pienińskim pasie skałkowym (PPS). Nazwa pas skałkowy pochodzi od obecności w tej strukturze „skałek”, czyli kontrastujących z otoczeniem, twardszych i bardziej odpornych na erozję elementów, które tkwią wśród mniej odpornych utworów klastycznych, tj. piaskowców, łupków i margli (Birkenmajer, 2017, Golonka et al., 2018b). Skałki zbudowane są z wapieni, które powstawały w częściach grzbietowych lub stokowych basenów, natomiast piaskowce i łupki zbudowane są z kompleksów fliszowych. Część skałek jest olistolitami, to znaczy różnego rozmiaru blokami skalnymi jednorodnymi lub złożonymi, które przemieszczały się grawitacyjnie do głębszych stref basenów fliszowych (Golonka et al., 2015). Inne skałki dostały się do utworów fliszowych w wyniku deformacji tektonicznych, które miały miejsce podczas ruchów orogenicznych. Zderzenia i wzajemne przesuwanie płyt litosfery spowodowały powstanie struktury pienińskiego pasa skałkowego, który ma formę tzw. struktury kwiatowej, ograniczonej z obu stron głębokimi uskokami (Birkenmajer, 1983, 2017,

Golonka et al., 2018a). Po wypiętrzeniu, pieniński pas skałkowy podlegał procesom erozyjnym, które doprowadziły do usunięcia mniej trwałych kompleksów i odpreparowania płycej znajdujących się bloków wapiennych, które dziś tworzą skałki, wyraźnie widoczne w krajobrazie (Golonka et al., 2018b).

Olistostromy te mają układ liniowy. Tworzą dwa pasy związane z występowaniem jednostek złatniańskiej i hulińskiej (Golonka et al., 2015, 2018ab, 2019, 2022), w których głównymi elementami są kompleksy fliszowe. Jednostki te związane są z odrębnymi basenami, odpowiednio basenem złatniańskim i magurskim.

Południowy pas skałek związany jest z płaszczowiną złatniańską, zawierającą między innymi górnokredowe utwory fliszowe formacji sromowieckiej i paleoceno-eoceńskie utwory fliszowe formacji żylińskiej. Paleogeńskie wapienie rafowe typu Kambühel zawarte są we fliszu formacji żylińskiej (Potfaj, 2002, Krobicki et al., 2004, Krobicki & Olszewska, 2005, Ludwiniak, 2014, Golonka et al., 2015, 2022). Zostały one przetransportowane wraz z postępującą w kierunku basenu złatniańskiego pryzmą akrecyjną (Golonka et al., 2015, 2022). Olistolity basenu złatniańskiego reprezentują typ A (małe „blocks -in-matrix”), B (duże „blocks -in-matrix”) i C (olistolity prawie bez „matrix”) (Pini, 1999, Golonka et al., 2022).

Drugi pas zawiera olistolity utworzone w basenie magurskim (Cieszkowski et al., Golonka et al., 2015, 2017, 2022). Największym z olistolitów jest tam Blok Homole-Biała Woda w Jaworkach, który reprezentuje tak zwaną olistoplakę (Richter et al., 1973, Camerlenghi & Pini, 2009, Golonka et al., 2022). Jest to także główna atrakcja geoturystyczna odwiedzana przez wielu turystów (Krobicki et al., 2013, Golonka et al., 2015, 2022). Ten olistolit składa się z sekwencji jurajsko-kredowych sukcesji czorsztyńskiej niedzickiej, zdeponowanej na grzbiecie czorsztyńskim i jego zboczu. Jest on otoczony utworami paleoceńskiej formacji jarmuckiej, która należy do jednostki hulińskiej (Watycha, 1964, Oszczykko et al., 2010, Golonka et al., 2022). Olistolit ten ma złożoną strukturę wewnętrzną. W jego obrębie, utwory sukcesji niedzickiej są nasunięte na utwory sukcesji czorsztyńskiej. PPS w tym obszarze wykazuje również strukturę kwiatową (Birkenmajer, 1983, 2017, Golonka et al., 2022). To sprawia, że melanże tektoniczne i osadowe na tym obszarze są trudne do rozróżnienia. Kolejny olistolit w tym pasie jest reprezentowany przez bazalt znajdujący się w obrębie formacji jarmuckiej. Powstał on we wczesnej kredzie (Birkenmajer & Pécskay, 2000, Birkenmajer & Lorenc, 2008)

w środowisku wyspy oceanicznej (Oszczypko et al., 2012, Golonka et al., 2015, 2022), kolejno został przetransportowany i złożony w basenie magurskim podczas górnokredowej sedymentacji utworów turbidytowych. Kilka kolejnych olistolitów zdeponowanych w basenie magurskim znajduje się też w utworach turbidytowych jednostki hulińskiej i krynickiej płaszczowiny magurskiej. Pochodzenie olistostrom jest związane z przekraczaniem grzbietu czorsztyńskiego przez przesuwający się klin akrecyjny w kredzie i paleocenie (Golonka et al., 2015, 2022).

Badania geofizyczne, to znaczy sejsmiczne, grawimetryczne, geoelektryczne pozwalają na uzyskanie obrazu struktury geologicznej obszarów, gdzie odsłonięcia nie dostarczają wystarczającej informacji (Łój et al., 2009, Woźniak et al., 2018, Cichostępski et al., 2019, Golonka et al., 2022). Metody sejsmiczne oparte są na analizie przebiegu fal sprężystych we wnętrzu Ziemi. Badania grawimetryczne rejestrują anomalie będące odwzorowaniem rozkładu gęstości objętościowej mas skalnych, a geoelektryczne wykorzystują zróżnicowanie skał pod względem oporności elektrycznej. Wyniki badań geofizycznych wykonanych wszystkimi trzema metodami na profilu przecinającym Pieniny Spiskie przedstawiono na Fig. 1. Wyniki badań grawimetrycznych przedstawiono w postaci rozkładu anomalii rezydualnych siły ciężkości (Fig. 1a). Ujawniły one liczne dodatnie i ujemne anomalie, które odpowiadają wzrostom i obniżeniom gęstości płytko zalegających utworów. Płytkie pomiary sejsmiczne są uzupełnieniem głębokich badań sejsmicznych, które obrazowały strukturę geologiczną pienińskiego pasa skałkowego poniżej 300 metrów (Golonka et al., 2019). Płytkie badania sejsmiczne, wykonane w okolicy wsi Krempachy, pozwalają na tomograficzne odwzorowanie strefy przypowierzchniowej tego fragmentu pienińskiego pasa skałkowego. Odwzorowanie to jest pokazane na Fig. 1b wraz z informacjami geologicznymi uzyskanymi w wyniku badań odkrywek, stratygrafii, litologii i upadu skał PPS (Golonka et al., 2022). Można zauważyć bardzo dobrą korelację z wynikami badań grawimetrycznych, albowiem wyniki metody sejsmicznej zależne są również od gęstości objętościowej. Badania metodą tomografii elektrooporowej (ERT) na tym samym profilu umożliwiły (Fig. 1c) odtworzenie rozkładu oporności elektrycznej skał budujących ten fragment PPS. Ukazują one złożoność budowy geologicznej w tym rejonie. Wykryte formy potwierdzają możliwość występowania struktur typu olistolity. Obiekty wysokooporowe HR w środkowej części profilu mogą odpowiadać wapieniom. Niskooporowe LR świadczą do dużej zawartości składnika ilastego w utworach

geologicznych (iły, mułowce, margle. Należy zwrócić uwagę, że pomimo, że wyniki badań metody geoelektrycznej nie są zależne od gęstości, czy prędkości fali sejsmicznej to istnieje bardzo dobra ich korelacja z wynikami z pozostałych dwóch metod geofizycznych.

Badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki, **grant NCN –2019/35/B/ST10/00241.**

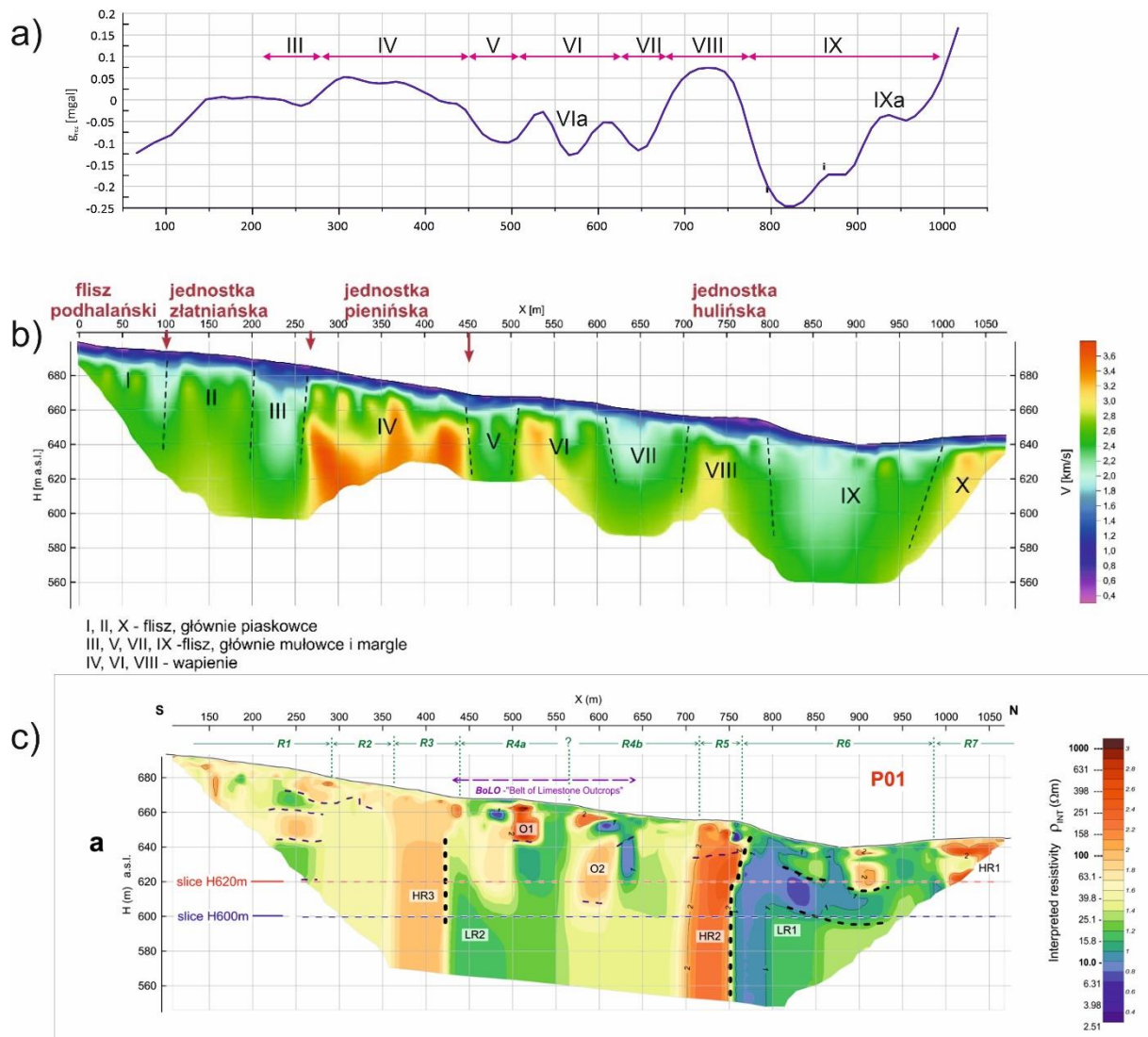


Fig. 1. Wyniki badań geofizycznych profili w Pieninach Spiskich:

- rozkład anomalii rezydualnych siły ciężkości,
- model prędkości fali P skał PPS z pomiarów SRT (wg. Golonka et al., 2022, zmodyfikowane),
- wyniki interpretacji badań metodą tomografii elektrooporowej.

## Literatura

- Birkenmajer, K. Geologia Pienin. *Monografie Pienińskie* **2017**, 3, 5–66.
- Birkenmajer, K. Strike-slip faults in the northern boundary zone of the Pieniny Klippen Belt, Carpathians. *Studia Geologica Polonica* **1983**, 77, 89-112. (In Polish, English summary).
- Birkenmajer, K.; Lorenc, M.W. Lower Cretaceous exotic intraplate basaltoid olistolith from Biała Woda, Pieniny Klippen Belt, Poland: geochemistry and provenance. *Studia Geologica Polonica* **2008**, 131, 237-246.
- Birkenmajer, K.; Pécskay, Z. Early Cretaceous K-Ar age of a large basalt olistolith at Biała Woda, Pieniny Klippen Belt, West Carpathians, Poland. *Studia Geologica Polonica* **2000**, 117, 27-35.
- Camerlenghi, A., & Pini, G.A. Mud volcanoes, olistostromes and Argille scagliose in the Mediterranean region. *Sedimentology* **2009**, 56(1), 319-365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.01016.x>
- Cichostępski, K.; Dec, J.; Kwietniak, A. Relative amplitude preservation in high-resolution shallow reflection seismic: a case study from Fore-Sudetic Monocline, Poland. *Acta Geophys.* **2019**, 67, 77–94. <https://doi.org/10.1007/s11600-018-00242-6>
- Cieszkowski, M.; Golonka, J.; Krobicki, M.; Ślęczka, A.; Oszczypko, N.; Waškowska, A.; Wendorff, M. The Northern Carpathians plate tectonic evolutionary stages and origin of olistoliths and olistostromes. *Geol. Acta* **2009**, 22, 101–126. <https://doi.org/10.3166/ga.22.101-126>
- Golonka, J.; Krobicki, M.; Waškowska, A.; Cieszkowski, M.; Ślęczka, A. Olistostromes of the Pieniny Klippen Belt, Northern Carpathians. *Geol. Mag.* **2015**, 152, 269–286.
- Golonka, J.; Krobicki, M.; Waškowska, A.; Cieszkowski, M.; Ślęczka, A. Reply. Discussion of 'Olistostromes of the Pieniny Klippen Belt, Northern Carpathians'. *Geological Magazine* **2017**, 154, 193-200.
- Golonka, J.; Pietsch, K.; Marzec, P. The North European Platform suture zone in Poland. *Geol., Geoph., & Environ.* **2018a**, 44, 5–16.
- Golonka, J.; Krobicki, M.; Waškowska, A. The Pieniny Klippen Belt in Poland. *Geol., Geoph., & Environ.* **2018b**, 44(1), 111–125.
- Golonka, J.; Pietsch, K.; Marzec, P.; Kasperska, M.; Dec, J.; Cichostępski, K.; Lasocki, S. Deep structure of the Pieniny Klippen Belt in Poland. *Swiss J. Geosci.* **2019**, 112, 475–506. <https://doi.org/10.1007/s00015-019-00345-2>
- Golonka, J.; Waškowska, A.; Cichostępski, K.; Dec, J.; Pietsch, K.; Łój, M.; Bania, G.; Mościcki, W.J.; Porzucek, S. Mélange, Flysch and Cliffs in the Pieniny Klippen Belt (Poland): An Overview. *Minerals* **2022**, 12, 1149. <https://doi.org/10.3390/min12091149>.
- Krobicki, M.; Golonka, J. Wąwóz Homole. The Homole Gorge. In: Słomka, T. (Ed.) *Katalog obiektów geoturystycznych w obrębie pomników i rezerwatów przyrody nieożywionej. The catalogue of geotourist sites in nature reserves and monuments*. Kraków: AGH Publishing House, Poland, **2013**; pp. 357–361.
- Krobicki, M.; Golonka, J.; Kołodziej, B.; Olszewska, B.; Oszczypko, N.; Słomka, T.; Tragelehn, H.; Wieczorek, J. Paleocześskie olistolity wapieni koralowo-glonowych rejonu Haligowiec (pieniński pas skałkowy, Słowacja). In *Egzotyki karpackie – znaczenie w rekonstrukcjach*

*paleogeograficzno-geotektonicznych*. Krobicki M. (ed.). Ogólnopolskie seminarium, Kraków, Poland, 13 December **2004**, pp. 53-55. (In Polish only).

Krobicki, M.; Olszewska, B. Urgonian-type microfossils in exotic pebbles of the Late Cretaceous and Palaeogene gravelstones from the Sromowce and Jarmuta formations (Pieniny Klippen Belt, Polish Carpathians). *Studia Geologica Polonica* **2005**, *124*, 215–235.

Ludwiniak, M. Miocene transpression effects at the boundary of Central Carpathian Paleogene Basin and PieninyKlippen Belt: examples from Polish-Slovakian borderland. *Geol. Geoph. Environ.* **2018**, *44*, 91–110.

Łój, M., Madej, J., Porzucek, S., Zuchiewicz, W. Monitoring geodynamic processes using geodetic and gravimetric methods: an example from the Western Carpathians (south Poland). *Geologia*, **2009**, *35*(2), 217–247.

Oszczypko, N.; Olszewska, B.; Malata, E. Cretaceous (Aptian/Albian–Cenomanian) age of “black flysch” and adjacent deposits of the Grajcarek thrust–sheets in the Małe Pieniny Mts. (Pieniny Klippen Belt, Polish Outer Carpathians). *Geol. Quart.* **2012**, *56*, 411–440.

Oszczypko, N.; Oszczypko–Clowes, M. The Paleogene and Early Neogene stratigraphy of the Beskid Sądecki Range and Lubovnianska Vrchovina (Magura Nappe, Western Outer Carpathians). *Ac. Geol. Pol.* **2010**, *60*, 317–348.

Pini, G.A. Tectonosomes and olistostromes in the Argille Scagliose of the Northern Apennines, Italy. *Geological Society of America Special Paper* **1999**, *335*, 75.

Potfaj, M. The saddle between Haligovce and Lesnica. Guide to geological excursions. *XII th Congress Carpath.-Balkan Geol. Assoc., Bratislava, Slovak Republic, appendix*, **2002**; pp. 1-4.

Richter, D. Olisthostrom, Olistholit, Olisthorymma und Olisthoplaka als Merkmale von Gleistungs- und Resedimentationsvorgängen infolge synsedimentärer tectogenetischer Bewegungen in Geosynklinalbereichen. *Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie Abhandlungen* **1973**, *143*(3), 304-344.

Watycha, L. *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50.000. (bez utworów czwartorzędowych). Rejon Karpat i Przedgórze*. Arkusz Krościenko. Wydawnictwa Geologiczne: Warszawa, Poland, **1964**. (In Polish).

Woźniak, T.; Bania, G.; Mościcki, J.W.; Ćwiklik, M. Electrical resistivity tomography (ERT) and sedimentological analysis applied to investigation of Upper Jurassic limestones from the Krzeszowice Graben (Kraków Upland, southern Poland). *Geol. Quart.* **2018**, *62*, 287–302. <https://doi.org/10.7306/gq.1403>.