

Dr hab. inż. prof. AGH Edyta Puskarczyk¹

Mgr Weronika Mikołajewska^{1,2}

¹)Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i
Ochrony Środowiska, Katedra Geofizyki

²)ORLEN S.A., Oddział Geologii i Eksploatacji PGNiG w Warszawie, Dział Projektowy w Pile

e-mail: mikolaje@agh.edu.pl, ORCID: 0009-0002-3931-8430; puskar@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0001-
5277-0507

Charakterystyka parametrów petrofizycznych w obrębie struktur "deformation bands"

Struktury „deformation bands”, znane z polskiej literatury specjalistycznej pod pojęciem wstęg deformacyjnych, stanowią strefy deformacji o niewielkim zrzucie, powstające w porowatych skałach osadowych (Aydin, 1978; Fossen i in., 2018). Zazwyczaj mają one założenia tektoniczne i mogą wskazywać na bliską odległość od uskoku, np. stanowiąc jego opierzenie (Fossen i in., 2007), choć mogą



powstawać także w wyniku kompaktacji (Antonellini i in., 1994). Struktury te występują powszechne w utworach o różnym wieku i historii tektonicznej. Obecność tych struktur na obszarze Polski została stwierdzona m.in. w odsonięciach plejstoceńskich nieskonsolidowanych utworów polodowcowych (Włodarski i Jaskulski, 2009), w piaskowcach krośnieńskich (Strzelecki i Solecki, 2021) oraz piaskowcach otryckich (Strzelecki i Świerczewska, 2023). W rdzeniach wiertniczych rozpoznano je m. in. w utworach czerwonego spągowca (Mikołajewska, 2024) (fig. 1).

*Fig. 1. Wstęgi deformacyjne w utworach czerwonego spągowca
(fragment rdzenia wiertniczego z otworu W-20)*

fot. W. Mikołajewska

Cechą charakterystyczną wstęg deformacyjnych, szczególnie istotną m.in. dla branży naftowej, ukierunkowanej na poszukiwanie węglowodorów czy branży geotermalnej, jest ich wpływ na parametry filtracyjne skał. W obrębie wstęgi deformacyjnej dochodzi zazwyczaj do obniżenia porowatości, co negatywnie wpływa także na przepuszczalność (Fossen i Bale, 2007; Ballas i in., 2015). Choć pojedyncza wstęga deformacyjna, nie stanowi istotnego ograniczenia dla przepływu, to klastry wstęg deformacyjnych bądź ich liczne nagromadzenia mogą znacząco zaburzać dopływ mediów złożowych do otworów eksploatacyjnych. W skrajnych przypadkach ich obecność prowadzić może nawet do powstania segmentacji w obrębie złóż (fig. 2).

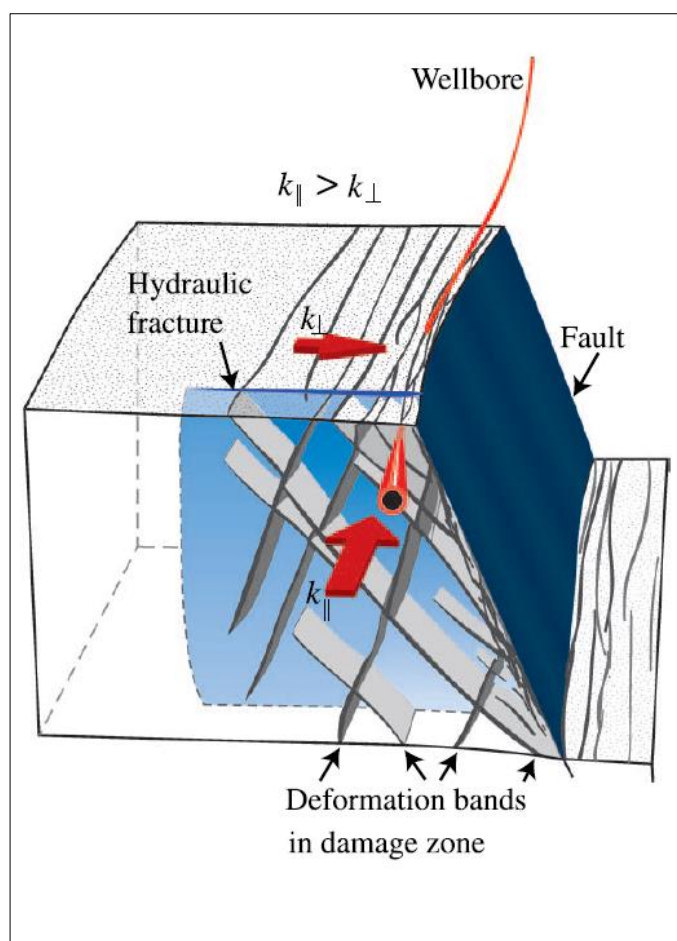


Fig. 2. Schematyczna ilustracja przedstawiająca wstęgi deformacyjne występujące w strefie uskokowej. Strzałki wskazują różnicę przepuszczalności wynikającą z obecności tych struktur (Fossen i Bale, 2007)

Interpretacja zdjęć sejsmicznych, danych geofizyki otworowej (w szczególności obrazowania ścian otworu sondami np. FMI, XRFMI) czy profilowanie rdzeni wiertniczych, dają pogląd na rozprzestrzenienie struktur deformacyjnych w analizowanym rejonie. Jednak uzyskanie wiedzy dotyczącej rozlokowania struktur stanowi jedynie część składową pełnej oceny górotworu w kontekście eksploatacji mediów złożowych. Dopiero szczegółowa analiza parametrów petrofizycznych pozwala na pełną ocenę wpływu omawianych struktur na przepływy w analizowanej skale zbiornikowej. Jej najważniejszym elementem jest przepuszczalność.

Szczegółowa analiza przepuszczalności, porównująca przepuszczalność skały otaczającej (ang. host rock) do przepuszczalności w obrębie wstęgi deformacyjnej bądź klastra wstęg deformacyjnych, wskazuje na spadek przepuszczalności sięgający nawet sześciu rzędów wielkości (Fossen i in., 2018), przy czym najczęściej spadek ten sięga dwóch rzędów wielkości (np. Van Ojik et al., 2020). Na potrzeby prowadzenia analiz dotyczących segmentacji złóż, te dane bezpośrednie są skalowane i wykorzystywane w pośredniej analizie przepływów w utworach złożowych.

W celu uzyskania pełnego obrazu wykształcenia struktur i ich klasyfikacji (Fossen i in., 2007), niezbędne jest jednak poparcie tych analiz dalszymi badaniami, do których zalicza się m.in. mikroskopową analizę płytek cienkich (fig. 3), badania z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej (SEM), analizy ciśnień kapilarnych (MICP) czy magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR).

Literatura:

1. Antonellini, M. A., Aydin, A., Pollard, D. D. (1994). Microstructure of deformation bands in porous sandstones at Arches National Park, Utah. *Journal of Structural Geology*, 16(7), 941-959.
2. Aydin A. (1978). Small faults formed as deformation bands in sandstone. *Pure and Applied Geophysics*, 116, 913–930.
3. Ballas G., Fossen H., Soliva R. (2015). Factors controlling permeability of cataclastic deformation bands and faults in porous sandstone reservoirs. *Journal of Structural Geology*, 76, 1-21.
4. Fossen H., Bale A., 2007. Deformation bands and their influence on fluid flow. *AAPG Bulletin* (Tulsa), 91(12), 1685-1700.
5. Fossen H., Schultz R.A., Shipton Z.K., Mair K. (2007). Deformation bands in sandstone: a review. *Journal of the Geological Society, London*, 164, 755–769.
6. Fossen H., Soliva R., Ballas G., Trzaskos B., Cavalcanre C., Schultz R.A. (2018). A review of deformation bands in reservoir sandstones: geometries, mechanisms and distribution. In: Ashton M., Dee S.J. & Wennberg O.P. (eds) *Subseismic-Scale Reservoir Deformation*. Geological Society (London), Special Publications, 459, 9-33.
7. Mikołajewska W. (2024). From granular flow to cataclasis - changes in deformation bands development in selected wellbores from the Upper Rotliegend deposits (Polish Lowlands). *AAPG Europe region conference Energy transition. Workshop abstracts*, 28-29 May 2024, Krakow, 117.
8. Strzelecki P. J., Solecki M. L. (2021). Wpływ mikrotekstury i procesu kwasowania skały na jej parametry zbiornikowe: studium przypadku piaskowców krośnieńskich z rejonu Dwernika, Bieszczady. *Przegląd Geologiczny*, 69(7), 454-457.
9. Strzelecki P. J., Świerczewska, A. (2023). Wpływ więźby skały na mechanizm deformacji: studium przypadku wstęp deformacyjnych w piaskowcach otryckich (Bieszczady). *Przegląd Geologiczny*, 71(4), 231-234.
10. Van Ojik K., Silvius A., Kremer Y., Shipton Z. K. (2020). Fault seal behaviour in Permian Rotliegend reservoir sequences: case studies from the Dutch Southern North Sea. *Geological Society, London, Special Publications*, 496 (1), 9-38.
11. Włodarski W., Jaskulski M. (2009). Złożone układy spękań w kemach z wyciśniętym jądrem na wybranych przykładach. *Implikacje paleośrodowiskowe. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 194, 101-118.