

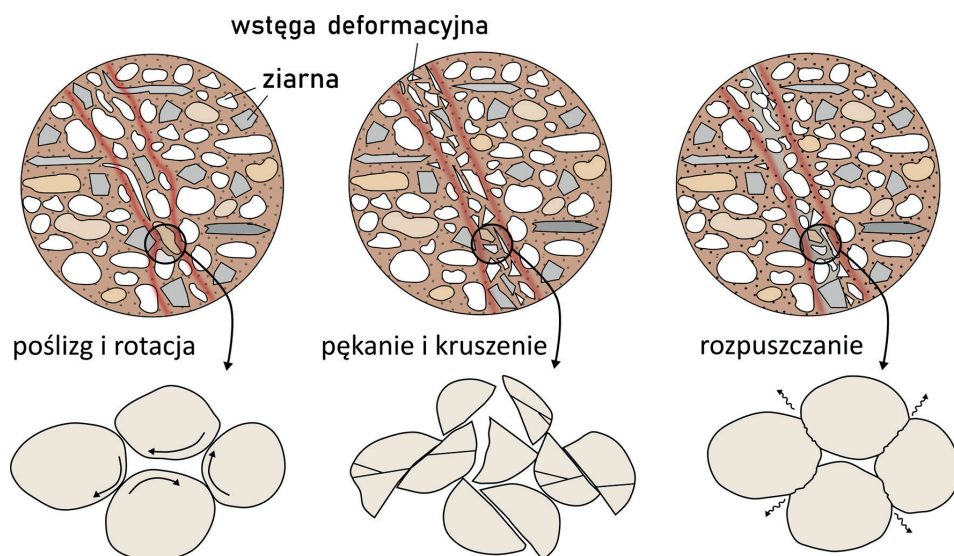
# MIKROSKOPIJNE GRANICE W SKAŁACH: WSTĘGI DEFORMACYJNE

Widok z Tarnicy  
w kierunku zachodnim,  
na pierwszym planie  
widoczne warstwy  
piaskowców ze wstęgami  
deformacyjnymi

Choć są to niewielkie struktury deformacyjne,  
to występują w licznych nagromadzeniach.  
Zawierają w sobie cenne informacje geologiczne,  
a także stanowią wyzwanie dla inżynierów złożowych.



1



### Piotr Strzelecki

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

**D**yslokacje są szczególnym przykładem granic geologicznych. Są to struktury deformacyjne, które występują w różnej skali i przybierają różną formę – przykładem dyslokacji są uskoki. Dyslokacje powstają w wyniku przemieszczenia się mas skalnych względem siebie i tworzą powierzchnie lub strefy, wzdłuż których nastąpiło przemieszczenie. Jako przykład wielkoskalowych dyslokacji mogą posłużyć granice płyt tektonicznych, wzdłuż których występują systemy uskoków rozciągających się na setki kilometrów. Dyslokacje mniejszej skali znajdziemy także w obrębie płyt litosfery w postaci kilkumetrowych bądź większych uskoków, dających się śledzić na dystansie kilkudziesięciu kilometrów. Wielkoskalowe procesy mogą objawiać się również w postaci mikrodeformacji widocznych w obrazie mikroskopowym. Właśnie do takich deformacji są zaliczane wstęgi deformacyjne.

## Wstęgi deformacyjne

Wstęgi deformacyjne to mikrostruktury deformacyjne, które powstają w skałach zbudowanych z ziaren, np. w piaskowcach – powstałych z nagromadzenia okruchów mineralnych i skalnych. Te mikrostruktury zawdzięczają swoją nazwę charakterystycznemu wyglądowi. Przypominają rozległe, a zarazem wąskie pasma. Ich długość nierzadko osiąga rozmiary kilku

bądź kilkunastu metrów. Z kolei grubość wstęg nie przekracza kilku centymetrów, a często zaledwie kilku milimetrów. W czasie formowania się wstęgi nie dochodzi do dużego przemieszczenia – jest to jedynie kilka centymetrów lub milimetrów, a ciągłość skały zostaje zachowana. W efekcie nie powstaje wyraźna granica w formie powierzchni oddzielności, jak to się dzieje w przypadku uskoków. Jednak w wyniku przemieszczenia w obrębie wstęgi powstaje wąska strefa zmian. Wyznacza ona także grubość takiej mikrostruktury i jest przedmiotem badań podczas analizy mikroskopowej wstęg. Na podstawie charakteru mikrostruktury możemy określić właściwości wstęg i mechanizmy ich powstawania.

## W grupie siła

W pierwszej chwili może się wydawać, że wstęgi to niewielkie i mało znaczące struktury. Nic bardziej mylnego. Wstęgi deformacyjne występują zazwyczaj



### mgr inż. Piotr Strzelecki

Jest geologiem. Pracuje jako asystent badawczo-dydaktyczny AGH. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z geologią strukturalną, tektoniką i petrofizyką. Jest kierownikiem projektu realizowanego w ramach grantu Preludium pt. „Geneza wstęg deformacyjnych w płaszczynie śląskiej (Bieszczady) oraz nowe, mikrotektoniczne podejście do rekonstrukcji paleonaprężeń” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (2018/31/N/ST10/02486).

piotr.strzelecki@agh.edu.pl

Rys. 1  
Rodzaje wstęg deformacyjnych uwzględniające ich kinematykę

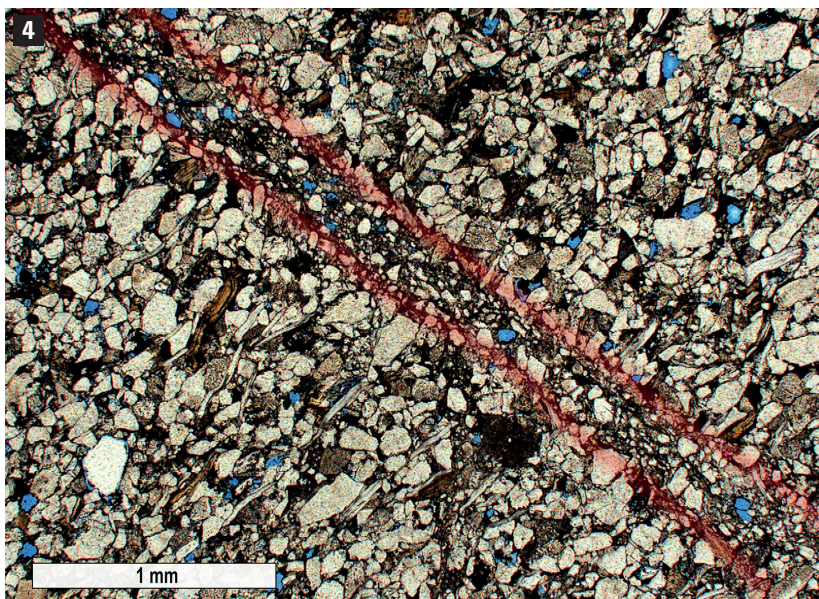
Rys. 2  
Wstęgi deformacyjne widoczne na powierzchni skały. Tworzą wyraźne równoległe względem siebie linie





Rys. 3  
Powierzchnia piaskowca  
z licznymi wstęgami  
deformacyjnymi

Rys. 4  
Obraz wstęgi deformacyjnej  
obserwowany w piaskowcu  
pod mikroskopem. Przebieg  
wstęgi jest oznaczony  
czerwonymi liniami. W obrębie  
wstęgi są widoczne mniejsze  
ziarna względem pozostałej  
części skały. Kolorem  
niebieskim są oznaczone puste  
przestrzenie w skałe



w licznych skupiskach. Ze względu na fakt, że pojedyncza wstęga wykazuje ograniczone zdolności do kumulacji przemieszczenia – wstęgi powstają sekwencyjnie, w bliskiej od siebie odległości. Stąd też występują grupowo, a kolejne można napotkać co kilka milimetrów bądź centymetrów. W efekcie na odcinku jednego metra można ich znaleźć nierzadko około 100. Występowanie stref ze wstęgami deformacyjnymi może mieć zasięg lokalny lub regionalny. W przypadku tego drugiego strefy ze wstęgami mogą rozciągać się na dystansie od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów. Wstęgi o takim zasięgu są związane z regionalnymi procesami tektonicznymi takimi jak fałdowanie lub uskokiowanie skał. Wstęgi deformacyjne mogą

tworzyć się także jako strefy zniszczeń przy uskokach. Nierzadko występowanie wstęg jest oznaką większych dyslokacji bądź je zapowiada.

## Wstęga wstędze nierówna

Wstęgi deformacyjne wykazują się zróżnicowanym charakterem swojej mikrostruktury i kinematyki, stąd też możemy wydzielić ich kilka rodzajów. Najprostszy podział wstęg uwzględnia dwa kryteria, a mianowicie: (1) kinematykę, czyli sposób, w jaki dwa fragmenty skały względem siebie się przemieszczały, i (2) mechanizm deformacji, czyli sposób interakcji ziaren w obrębie wstęgi podczas jej formowania. Uwzględniając czynnik kinematyczny, możemy wyróżnić wstęgi dylatacyjne, czyli takie, które powstają w wyniku rozszerzania się skały, oddalania od siebie fragmentów skalnych i wypełniania powstałej przestrzeni przez drobniejsze, luźniej upakowane ziarna. Z kolei w wyniku kompaktacji, czyli procesu odwrotnego do dylatacji, następuje zmniejszenie objętości skały i zbliżenie się do siebie jej fragmentów. W wyniku tego procesu następuje zagęszczenie materiału w obrębie takiej wstęgi. Trzecim i jednocześnie najpowszechniej występującym typem wstęg są te powstałe wskutek ścinania, czyli przemieszczenia fragmentów skały wzdłuż pewnej powierzchni. Jej przebieg i powstanie danego typu wstęgi ma związek z rodzajem naprężeń działających na skały. Z kolei mikrostruktura wstęg jest uzależniona od mechanizmu ich powstawania. Możemy wyróżnić trzy podstawowe mechanizmy zachodzące w obrębie wstęgi podczas jej formowania, są to: poślizg i rotacja ziaren, ich kruszenie i pękanie oraz rozpuszczanie. Wystąpienie konkretnego mechanizmu deformacji wiąże się z warunkami, w jakich ona następuje, np. od głębokości, na jakiej dana skała się znajduje, lub stanu utwardzenia skały. W przypadku skał luźnych, np. piasku, ziarna będą się ślizgały i rotowały. W przypadku skał utwardzonych, np. piaskowców, ziarna będą się kruszyły i pękały i w konsekwencji zmniejszały swoją wielkość. W przypadku skał, które znajdują się na znacznych głębokościach, w wyniku zwiększonej temperatury i ciśnienia może zostać uruchomiony proces rozpuszczanie ziaren. Stąd też wstęgi mogą wykazywać się zróżnicowanym charakterem, którego zbadanie pozwala wnioskować o warunkach, w jakich nastąpiła deformacja.

## Znaczenie wstęg deformacyjnych

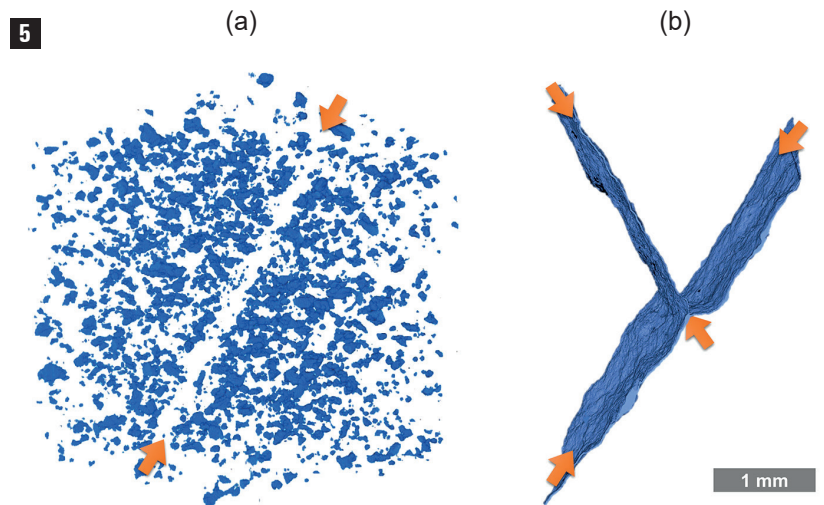
Dla naukowców wstęgi deformacyjne są kluczowe w poznawaniu historii geologicznej badanych obszarów. Dzięki analizie ich mikrostruktury i przestrzennej orientacji można wnioskować o warunkach, w jakich następowała deformacja, co jest



szczególnie pomocne przy tworzeniu rekonstrukcji tektonicznych. Badania nad właściwościami wstęg mają także znaczenie dla przemysłu wydobywczego. Wstęgi deformacyjne występują w piaskowcach, które z kolei są głównymi skałami zbiornikowymi, w których obrębie występują nagromadzenia surowców płynnych, takich jak ropa naftowa, gaz ziemny czy wody geotermalne. Dlatego też dla inżynierów złożowych poznanie rozmieszczenia i charakteru wstęg będzie miało znaczenie podczas eksploatacji wyżej wymienionych mediów i planowania odwiertów wydobywczych. Występowanie wstęg może przyczynić się do polepszenia lub pogorszenia wydajności eksploatacji. W zależności od charakteru swojej mikrostruktury wstęgi mogą polepszać właściwości filtracyjne skał, tworząc sieć dróg dla migracji płynów w ich obrębie, bądź przeciwnie, ograniczać przepływ płynów i stanowić barierę na drodze ich migracji. Okazuje się, że badania prowadzone nad „ziemskimi” wstęgami mogą przyczynić się do lepszego poznania i zrozumienia budowy geologicznej i procesów zachodzących na innych planetach. Strefy przypominające nagromadzenia wstęg deformacyjnych zostały zaobserwowane na zdjęciach satelitarnych powierzchni Marsa. W osadach w rejonie krateru Arabia Terra strefy występowania wstęg tworzą rozległe sieci o długości kilkuset metrów. Być może w przyszłości bardziej szczegółowe dane dostarczone przez kolejne misje badawcze pozwolą poznać więcej detali na temat tych struktur, a one same okażą się pomocne w rozwiązywaniu problemów i zagadnień związanych z np. występowaniem marsjańskiej wody czy też identyfikowaniu procesów tektonicznych?

## Gdzie można zobaczyć wstęgi deformacyjne?

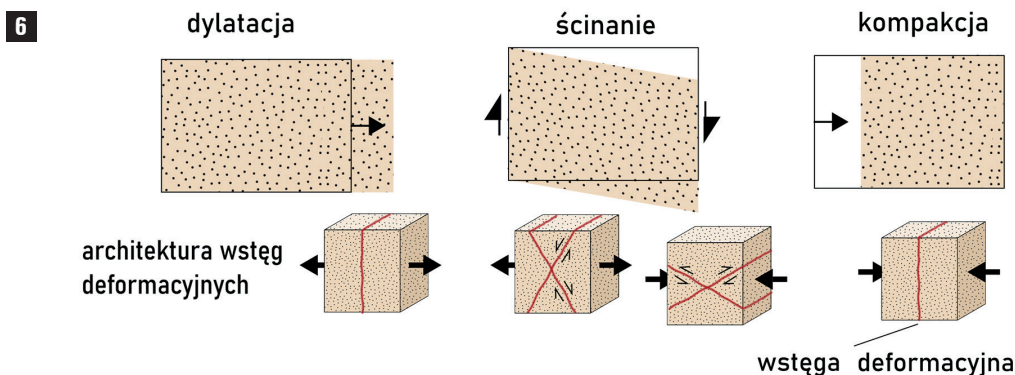
Niewątpliwie przez swój specyficzny wygląd wstęgi deformacyjne mogą stanowić atrakcję geoturystyczną. Już dziś ich występowanie jest udokumentowane na terenie kilku parków narodowych na świecie. Jedne z pierwszych opisów wstęg deformacyjnych doty-



Rys. 5  
Trójwymiarowe obrazy przestrzeni porowej skały (kolor niebieski) z zaznaczonym przebiegiem wstęg deformacyjnych (pomarańczowe strzałki). Przepływ wody i innych mediów złożowych, takich jak ropa i gaz, zachodzi przez puste przestrzenie w skałe – przestrzeni porową. Przebieg i charakter wstęgi może stanowić barierę (a) bądź też drogę dla migracji płynów (b)

czą wstęg zaobserwowanych w piaskowcach Navajo na terenie stanu Utah w Stanach Zjednoczonych. Tam też można podziwiać je, odwiedzając Park Narodowy Arches. Na szczęście, żeby je zobaczyć, nie musimy od razu udawać się w tak daleką podróż. Największe nagromadzenie dotychczas udokumentowanych wstęg deformacyjnych w Polsce znajduje się w Bieszczadach, na obszarze Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Wstęgi deformacyjne można napotkać, wędrując po bieszczadzkich połoninach. Są dość łatwo dostrzegalne. Szczególnie są dobrze widoczne w grubych warstwach piaskowców, które często odsłaniają się na szlakach. Piaskowce ze wstęgami deformacyjnymi odróżniają się od otaczających skał i zwracają na siebie uwagę liniowymi wzorami, które wstęgi tworzą na ich powierzchni. Liczne wystąpienia wstęg odnajdziemy także na najwyższym szczycie polskiej części Bieszczad – Tarnicy. Występowanie wstęg deformacyjnych na tym obszarze jest związane z procesami górotwórczymi, które zachodziły podczas orogenezy alpejskiej. Obszar ten w wyniku kolizji płyt tektonicznych uległ deformacji, podczas której dochodziło do intensywnego skracania warstw skalnych. Jednym z zapisów pozostałych w skałach po tym procesie są właśnie wstęgi deformacyjne. ■

Rys. 6  
Rodzaje mikrostruktur wstęg w zależności od mechanizmu deformacji



Chcesz wiedzieć więcej?

Fossen H., Schultz R.A., Shipton Z.K., Mair K., *Deformation bands in sandstone: a review*, „Journal of the Geological Society” 2007, 164, s. 755–769.

Fossen H., Bale A., *Deformation bands and their influence on fluid flow*, „AAPG Bulletin” 2007, 91, s. 1685–1700.

Sikora R., Strzelecki P., Radzik N. i in., *Wybrane problemy geologii strukturalnej w południowo-wschodniej części polskiego segmentu Karpat zewnętrznych* [w:] red. nauk. Peryt T. „LXXXVII zjazd naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego: osiągnięcia współczesnej geologii w kolebce górnictwa naftowego w Karpatach: 26–29.06.2019 r., Czarna: materiały zjazdowe” 2019, s. 61–73.