

# „Geologia eksploracyjna”: struktury nieciągłe

Jacek Szczygieł

W poprzednim artykule starałem się wprowadzić w tę część geologii, z którą grotolaz ma do czynienia przemieszczając się po jaskini, czy szukając jej otworu. Skupiłem się na warstwowaniu, które jest podstawową strukturą w skałach osadowych. Niniejszym tekstem chciałbym przybliżyć struktury zaburzające ciągłość warstwowania, czyli struktury nieciągłe.

Struktury nieciągłe dzielimy na dwie grupy: spękania i uskoki.

Spękanie jest to „powierzchnia nieciągłości mechanicznej, utworzona przez pęknięcie, czyli przerwanie ciągłości skały, bez makroskopowo dostrzegalnych przemieszczeń wzdłuż tej powierzchni” (Dadlez & Jaroszewski, 1994).

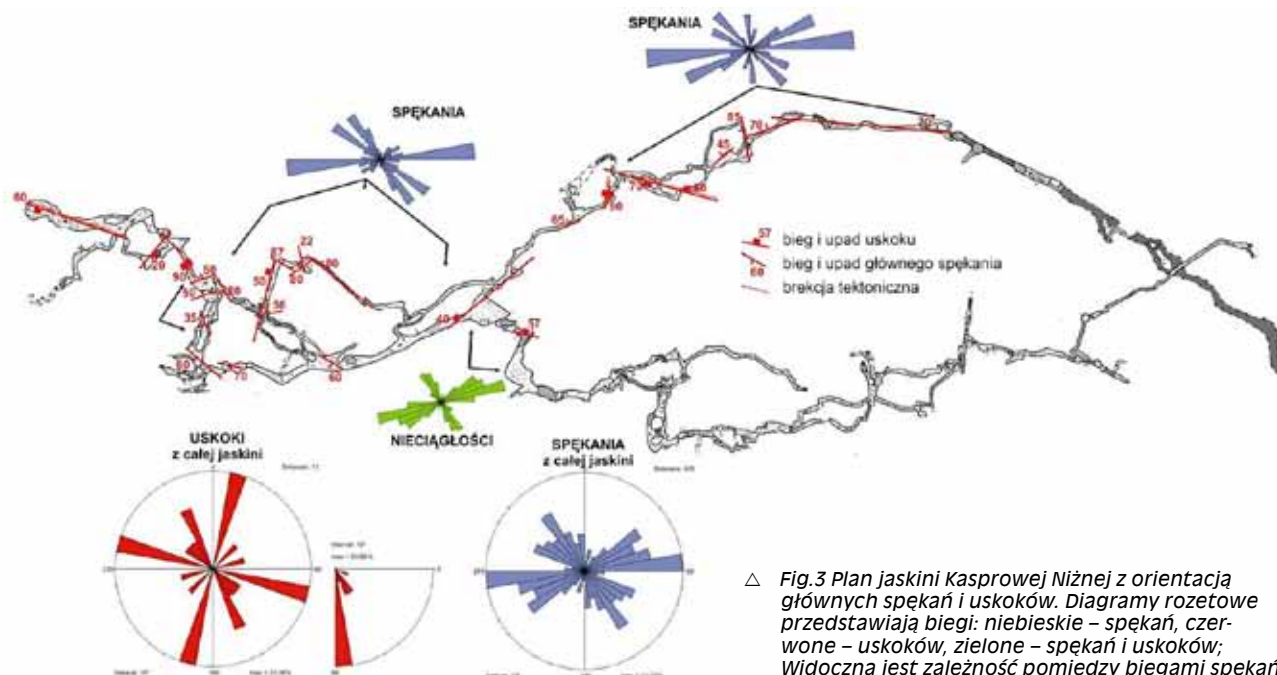
Uskok natomiast to „struktura utworzona przez przerwanie ciągłości skał i przesunięcie rozpojonych części wzdłuż powierzchni uskokowej lub strefy uskokowej” (Dadlez & Jaroszewski, 1994).

Mówiąc wprost i spękania, i uskoki są przerwaniami ciągłości tyle, że w przypadku uskoków dostrzegalne jest przemieszczenie dwóch „części pęknięcia”. Nieciągłości powstają w wyniku deformacji, które zwłaszcza w obszarach górskich są wieloetapowe. Niektóre spękania mogą powstawać już w czasie tworzenia się skały lub w czasie jej „przeobrażania”, np. z wapienia w dolomit.

▷ Fig 2. Sztucznie poszerzone miejsce, widoczna jest tu powtarzalność powierzchni odpadania skały. Gdzieś w Tatrach... • fot. Jacek Szczygieł



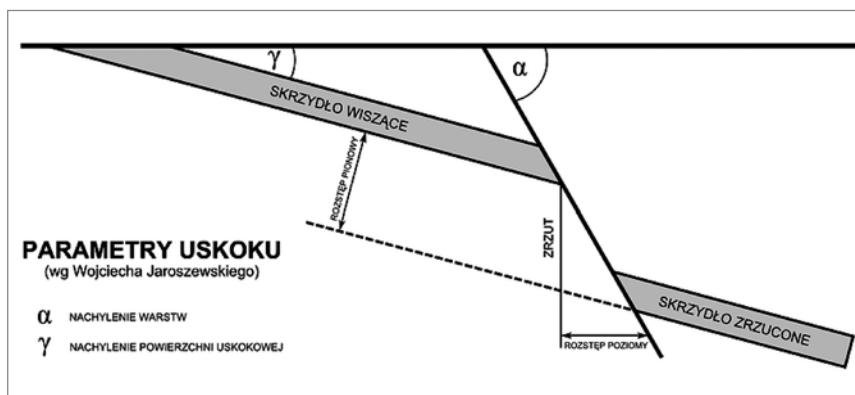
△ Fig. 1. Uskok (czerwona linia), widoczne również spękanie w formie szczeliny (niebieska linia) i kilka zespołów spękań (żółte linie); otwór jaskini Nad Dachem • fot. Jacek Szczygieł



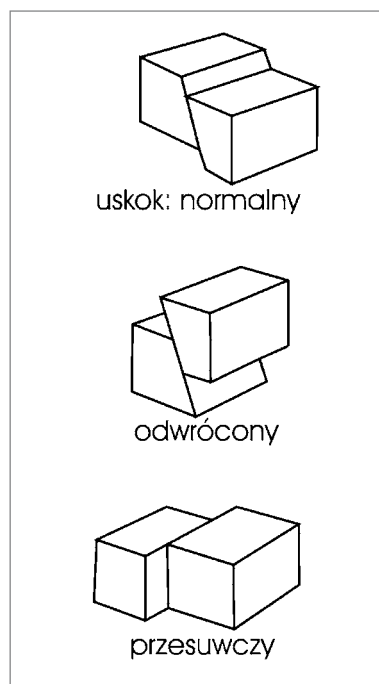
△ Fig. 3 Plan jaskini Kasprowej Niższej z orientacją głównych spękań i uskoków. Diagramy rozetowe przedstawiają biegi: niebieskie – spękań, czerwone – uskoków, zielone – spękań i uskoków; widoczna jest zależność pomiędzy biegami spękań i uskoków, a kierunkiem korytarzy.

Zmniejsza się wtedy nieco objętość skały, co powoduje powstawanie spękań. Znacznie częstsze i nas grotolazów bardziej interesujące są nieciągłości związane z deformacjami tektonicznymi. Czyli z powstawaniem gór, ich wypiętrzaniem, fałdowaniem etc. Takie struktury również odznaczają się wieloetapowością rozwoju, różną genezą, charakterem itp. Nie chciałbym wchodzić w szczegóły deformacji, reologii, układów naprężeń oraz innych czynników, które pozwoliły tektonikom na wydzielenie wielu typów genetycznych i geometrycznych spękań. Chciałbym potraktować spękania jako jedną grupę struktur, które bez wątpienia odgrywają jedną z kluczowych ról w rozwoju jaskiń.

Większości z nas spękania kojarzą się ze szczelinami, które faktycznie w sporej części są rozmytymi lub rozwartymi spękaniami. Tymczasem idąc wzdłuż ściany skalnej czy korytarzem jaskini mijamy dziesiątki spękań, pomimo że szczelin może nie być wcale. Otóż chcąc rozpoznać spękanie, musimy szukać powierzchni – nierozmytych obszarów ściany, od których odpadł fragment skały. Rzadko są to świeże obrywy, które wyraźnie różnią się barwą. Często są to struktury o powierzchni nie większej niż kilkanaście cm<sup>2</sup>. Korytarze jaskini powstają w oparciu nie tylko o spękania o dużym zasięgu, takie które widzimy np. w stropie i śpągu korytarza i możemy je obserwować na długim odcinku. W modelowaniu jaskini biorą również udział spękania, których rozmiary są niewielkie, ale powszechność ich występowania powoduje powstanie zespołów (jeden dominujący kierunek) oraz systemów (złożonych z zespołów; fig.1), które spotkać możemy w całym górotworze. Taka sytuacja jest wynikiem „pamięci skały”. Naprężenia, które działały na skały w przeszłości (nawet dziesiątki milionów lat temu) pozostawiły po sobie w skale pewne „osłabione kierunki”, wzdłuż których dochodzi do pęknięcia skały. Widać to np. w miejscach sztucznie poszerzonych, gdzie skała również pęka i odpada wzdłuż ściśle określonych, powtarzających się kierunków (Fig. 2). Jedynym sposobem wyłapania takich kierunków jest wykonanie serii pomiarów orientacji powierzchni spękań w interesującym nas terenie i wykonanie np. diagramu rozetowego biegów powierzchni. Jeśli populacja danych jest odpowiednio duża i reprezentatywna, powinniśmy otrzymać obraz, na którym wyraźnie dominują jedne kierunki, a innych jest bardzo mało lub nie występują wcale (Fig. 3). Wtedy kierunki te możemy porównać z planem jaskini (Fig. 3) lub diagramem rozetowym kierunków korytarzy.



△ Fig. 4 Parametry uskoku (wikipedia wg Dadlez & Jaroszewski 1994)



◁ Fig.5 Kinematyczne typy uskoku; oprócz wyżej wymienionych są również mieszane czyli zrzutowo-przesuwczych lub inwersyjno-przesuwczych; w przypadku uskoku przesuwczych mówimy o prawo- i lewoskrętnych (Dadlez & Jaroszewski 1994)

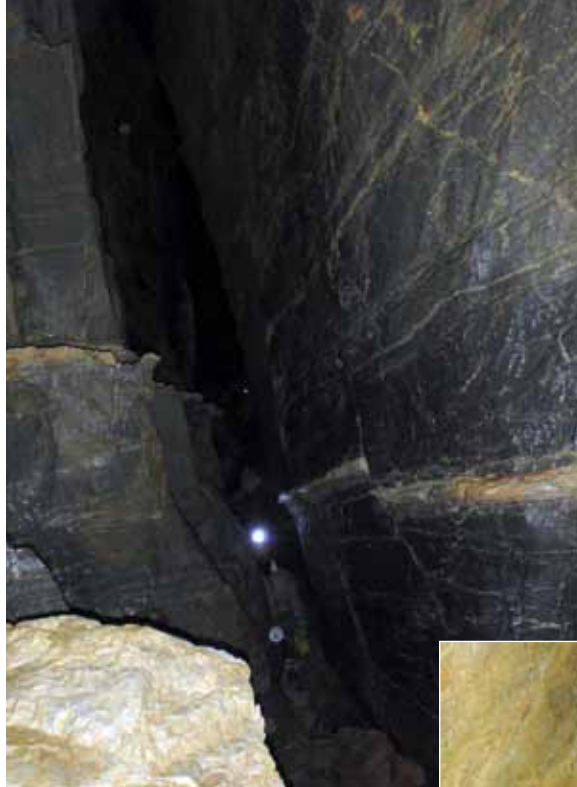


△ Fig. 6. Powierzchnia uskoku – lustro tektoniczne; Śnieżna Studnia, nad Studnią Trzech • fot. Mateusz Golicz





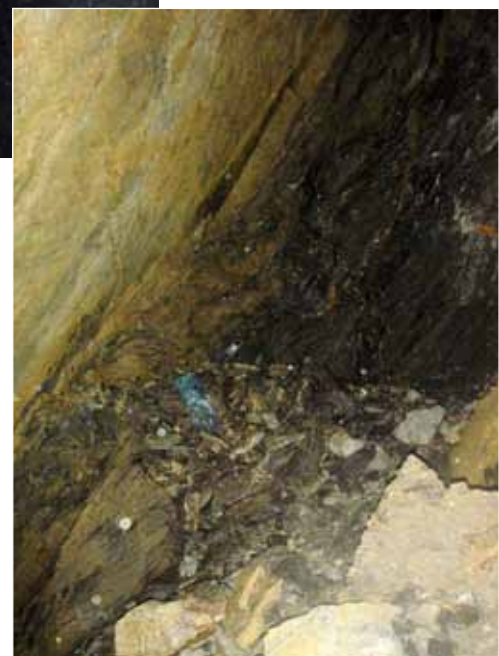
△ Fig. 7. Strefa uskokuwa na dnie Pomarańczarni; liniami zaznaczone powtarzające się spękania w strefie uskoku. (fot. J. Szczygieł)



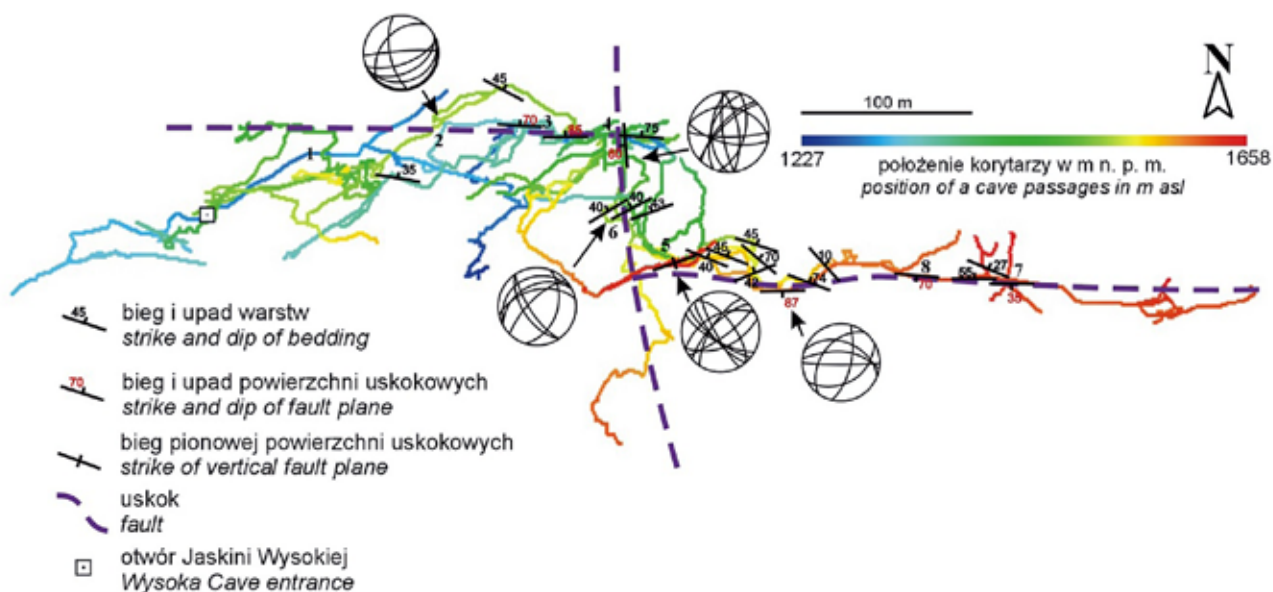
△ Fig. 8. Efekt uskoku w postaci zrzuconych warstw (prawa strona) widoczny dzięki dobrze zaznaczającemu się warstwowaniu; Kanion, Ptasia Studnia (fot. J. Szczygieł)



◁ Fig. 9. Lustro tektoniczne z dobrze wykształconymi rysami (linia niebieska) i zadziorami (linia czerwona), lustro to ma kilkadziesiąt m<sup>2</sup> powierzchni; Jaskini Wysoka – Za Siedmiu Progami, „lustro” w Koloseum. (fot. J. Szczygieł)



▷ Fig. 10. Po lewej stronie widać litą, niezerodowaną ścianę wapienną, a po prawej pustkę w łupkach; gruz na dnie również stanowią w większości łupki; Sala na Wielkim Luzie; Jaskinia Mała w Mułowej (fot. J. Szczygieł)



1. Wodna Pulapka    2. Korytarz Wolnych Sobót
3. Stary Kanion    4. Koloseum
5. Boczny Meander    6. Sala Z Balkonem
7. Sala 13-tego    8. Kruche Partie

△ Fig. 11. Plan strukturalny Jaskini Wysokiej - Za Siedmiu Progami (wg. Szczygieł 2012)

To z kolei pozwoli nam ocenić na ile i czy w ogóle poszczególne zespoły spękań wpływają na przebieg jaskini.

W przypadku uskoków również chciałbym się ograniczyć do opisu ich podstawowych cech i pominąć szczegółowe geometryczne, kinematyczne i dynamiczne podziały. Każdy uskok charakteryzuje się określonymi cechami (Fig. 4). Skoro uskok to struktura przemieszczająca masy skalne, trudno pominąć podział uskoków ze względu na zwrot i kierunek ruchu, (zaprezentowany na fig. 5).

Uskoki, podobnie jak spękania, również charakteryzują się różnym zasięgiem i wcale nie muszą być rozległe. Uskoki możemy obserwować w kilku formach:

- pojedynczych powierzchni (Fig. 6),
- stref uskokowych (Fig. 7)
- skutków uskoku przy braku samej struktury (Fig. 8).

Pojedyncze powierzchnie widoczne są jako lustra tektoniczne, dzięki nim możemy odróżnić je od spękań (Fig. 9).

**Lustro tektoniczne to „powierzchnia wygładzona przez tarcie przyuskokowe i drobne formy jego urzeźbienia tarcowego czyli tektoglify” (Dadlez & Jaroszewski 1994) wśród których możemy obserwować: rysy ślizgowe (zgodne z kierunkiem ruchu) i zadziory (poprzeczne do tego kierunku; Dadlez & Jaroszewski 1994).**

Lustra tektoniczne wraz z rysami stanowią najlepszy dowód na obecność uskoku. Lustro można rozpoznać po wygładzonej, często wręcz wypolerowanej, mieniącej się powierzchni, często z brunatnymi i białymi przebarwieniami.

Uskoki w formie stref tektonicznych są dość trudne do rozpoznania, a jeszcze trudniejsze do zdiagnozowania zwrotu przemieszczenia. Charakteryzują się zagęszczoną siecią spękań. Im bliżej jądra uskoku, tym spękania są gęstsze. Bardzo często w strefach uskokowych i przy uskokach występują spękania zapadające względem uskoków ok. 10–30°. Właśnie dzięki spękanom opierającym uskok jesteśmy w stanie określić zwrot przemieszczenia. Jest to już jednak bardziej zaawansowana tektonika.

W jaskiniach występują również uskoki, o których wiemy ze względu na skutek, jaki wywarły na skałę, ale nie jesteśmy w stanie określić dokładnego biegu struktury. Z jednej strony mogą być dość proste do rozpoznania ze względu na to, że widzimy różnice w obu skrzydłach uskoku. Może się jednak zdarzyć, że uskoku nie rozpoznamy np. ze względu na osady jaskiniowe, lub ze względu na mylącą intersekcję (patrz cz. 1 – JASKINIE 71) innej struktury.

## Uskoki a jaskinie

Obecność uskoku w jaskini krasowej może się odznaczyć w dwojaki sposób: albo otworzyć nam drogę w głąb, albo totalnie ją zamknąć. W poprzednim artykule pisałem o tym, że woda „szuka” łatwej, prostej drogi w dół, i że często okazują się nią powierzchnie bardziej stromą od uławicenia to siłą rzeczy (a w zasadzie grawitacji) nią popłynę. Sęk w tym, że uskoki – zwłaszcza te powstałe w wyniku ścinania – są „zaciśnięte” i pomimo większego nastromienia struktury, woda nie jest w stanie się w nią wdrzeć. Tu z pomocą idą spękania opierające. Jest to jednak zmiana ze skoncentrowanego przepływu na transport siecią mniejszych powierzchni, na ogół o znacznie mniejszym zasięgu. Istnieje jednak możliwość, że skała jest na tyle silnie spękana, że przepływ wody powoduje nie tylko jej rozpuszczanie, ale również erozję mechaniczną. Mówiąc wprost porywa ze sobą okruchy spękanej skały. Przykładem takiego zjawiska może być Czarny Łąd w jaskini Małej w Mułowej, który rozwinął

się wzdłuż kontaktu łupków i wapieni, gdzie np. w Sali na Luzie i Sali na Wielkim Luzie wapienie są prawie nienaruszone krasowieniem, a sala o wymiarach 20x15 m rozwinięta jest w potraskanych i mniej odpornych mechanicznie łupkach, które jednak krasowieniu nie ulegają (Fig. 10).

Przykładem jaskini, w której rozwoju uskoki odegrały ważną rolę, jest wschodnia część systemu Wysokiej – Za Siedmiu Progami. Na przekroju W-E przez tę jaskinię możemy dostrzec znaczną zmianę w kubaturach korytarzy. Zachodnia część systemu charakteryzuje się piętrową budową, której poziome korytarze mają w większości „freatyczną przeszłość”. Poszczególne piętra połączzone są młodszymi, wadycznymi studniami i meandrami o nieco większych rozmiarach, lecz i tak nieporównywalnych z częścią wschodnią. Od Koloseum w kierunku wschodnim przebiega szczelina o długości 200 m i wysokości od blisko 150 na zachodzie do 30 m na krańcu wschodnim. Moim zdaniem jest to wynik sprzężenia dwóch uskoków w rejonie Koloseum: subpołudnikowego i równoleżnikowego. O obecności uskoków w tym rejonie świadczą fragmenty korytarzy, w których brak jakichkolwiek śladów erozji krasowej, za to można licznie zaobserwować zawałiska w spągu korytarzy, a na ścianach i stropie lustra tektoniczne i spękania. Samo Koloseum, które jest potężną pustką, w planie ma wydłużony, trójkątny kształt, a wyraźne ślady przepływu wody widoczne są w rejonie Kaskad '80. Obecność dużych uskoków w tym rejonie obrazują nie tylko rozmiary korytarzy, ale również lustra tektoniczne (i towarzyszące im struktury), które na przestrzeni Koloseum-Sala 13-stego wykazują zbliżone parametry (szegóły – Szczygieł 2012).

Podobnie jak w przypadku uławicenia (patrz cz.1) warto porównywać obserwacje z jaskiń z obserwacjami z powierzchni. Jako że uskoki powodują dezintegrację skały, obszary uskoków są bardziej podatne na erozję. W związku z tym na powierzchni terenu uskoki w większości odznaczać się będą różnego typu formacjami wklęsłymi, od zacięć przez żleby, zachody, po przełęcz i doliny. Na przykład w dolinie Mułowej można dość łatwo dostrzec przemieszczone warstwy żółto wietrzącego dolomitu na tle szarego wapienia. Na uskoku tym założony jest również Ściek w Progu Mułowym. Jest to przykład uskoku, wzdłuż którego nie odkryto żadnych dużych jaskiń, pomimo jego znacznych rozmiarów. Innym przykładem może być uskok w Kasprowej Wyżniej, który jest poprzeczny do rozciągłości sali i zlokalizowany w jej wschodniej części. Można go utożsamiać z nieciągłością wzdłuż której rozwinęła się przełęczka przy wschodnim otworze i stromy żleb który z niej schodzi.

Czy uskok lub spękanie jest nam pomocne i otwiera naszą drogę, czy ją blokuje, możemy stwierdzić jedynie w terenie i żadne reguły nie opiszą jednoznacznie tego problemu. Obserwacje struktur nieciągłych są bardziej skomplikowane, mniej jednoznaczne i wymagają bardziej wnikliwej analizy niż w przypadku obserwacji uławicenia. Bez wątpliwości jednak, próby zrozumienia choćby lokalnej budowy geologicznej mogą nam pomóc w rozwikłaniu problemów eksploracyjnych. □

## Literatura:

Dadlez, R. & Jaroszewski, W. (1994). Tektonika. PWN. Warszawa  
Szczygieł, J. (2012). Wgłębna budowa geologiczna górnej części Wąwozu Kraków w świetle badań jaskini Wysokiej – Za Siedmiu Progami, Tatry Zachodnie. przegląd geologiczny, 60(4), 232–238.

PS. Polecam również literaturę pomocniczą wymienioną w poprzednim artykule