

*Mariusz Młynarczuk\**

## ZASTOSOWANIE METOD ANALIZY OBRAZU DO OPISU UKSZTAŁTOWANIA POWIERZCHNI PRZEŁAMÓW SKALNYCH\*\*

---

### 1. Wstęp

Morfologia powierzchni przełamu rozdzielczego częstokroć niesie informację o właściwościach fizyczno-mechanicznych górotworu. Wywiera ona znaczny wpływ na przemieszczenia poprzeczne do kierunku ścinania [4] oraz decyduje o oporach poślizgu na kontaktach powierzchni podzielności [10]. Znajomość morfologii powierzchni pęknięcia może też odgrywać istotną rolę w zrozumieniu problemów związanych z przepuszczalnością górotworu i migracją w nim płynów. Zwracają na to uwagę m.in. prace [11] oraz [5].

W praktyce ocena chropowatości powierzchni skalnych opiera się częstokroć na odczuciach subiektywnych [2]. Takie intuicyjne podejście wydaje się dalece niezadowolające. Z drugiej strony, praca [1] wykazuje niezbyt dużą użyteczność parametrów chropowatości zestawionych w Polskiej Normie do opisu powierzchni przełamów skalnych. Dlatego też niezwykle istotne jest opracowanie metodyki pomiarowej umożliwiającej jak najpełniejszy opis powierzchni przełamu.

Na przestrzeni ostatnich lat problem ten coraz częściej poruszany jest w pracach związanych z geologią i mechaniką skał: [3, 6, 13, 14]. Należy podkreślić coraz powszechniejsze wykorzystanie do tych celów profilometrów laserowych. W przypadku badań laboratoryjnych postępują tak m.in. [7–9, 11, 12] oraz wielu innych.

W niniejszej pracy zaproponowano metodę oceny chropowatości skał w oparciu o przekształcenia analizy obrazu, ze szczególnym uwzględnieniem metod morfologii matematycznej. Starano się wykazać, że ich zastosowanie do obróbki danych pochodzących z profilometrii (np. laserowych) może w znaczny sposób przyczynić się do ulepszenia ilościowego opisu powierzchni przełamów rozdzielczych.

---

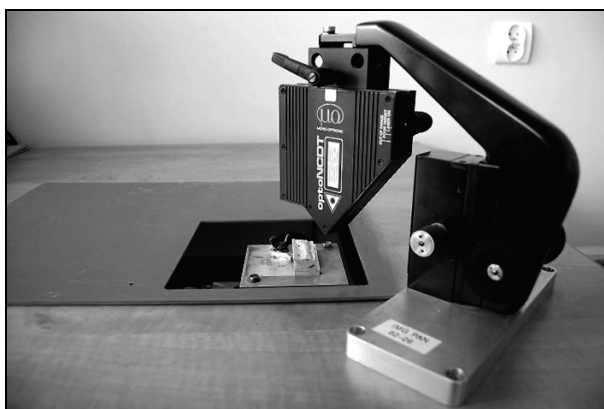
\* Instytut Mechaniki Górotworu PAN, Kraków

\*\* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2008 jako projekt badawczy nr N520 053 31/1346

## 2. Zarys proponowanej metody opisu morfologii przelamu

Używany w pomiarach profilomierz laserowy (rys. 1) jest urządzeniem badawczym, wykorzystywanym w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN. W jego skład wchodzi:

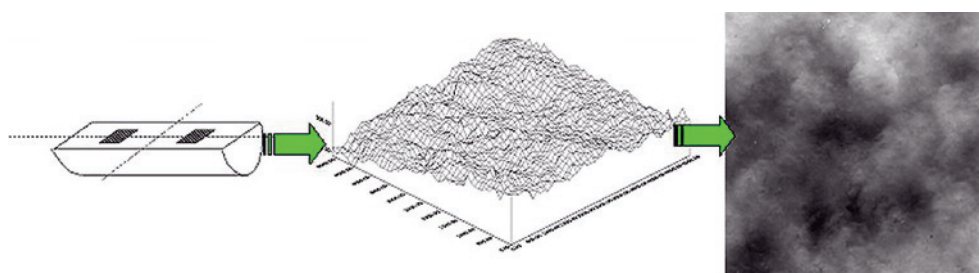
- głowica laserowa firmy MicroEpsilon,
- precyzyjny koordynatometr XY firmy Spindler & Hoyer,
- komputer wraz z oprogramowaniem.



**Rys. 1.** Profilomierz laserowy — widok ogólny stoiska i zbliżenie głowicy laserowej

Badana próbka skalna umieszczona jest na przesuwym, sterowanym komputerowo stoliku XY. Pozwala on na jej przemieszczenie z krokiem  $1\ \mu\text{m}$  lub z jego wielokrotnością. Próbka dochodzi do zadanych uprzednio współrzędnych XY, po czym następuje zatrzymanie stolika, a głowica laserowa dokonuje pomiaru „wysokości” Z. Po zakończeniu pracy

urządzenia otrzymujemy tablicę współrzędnych XYZ punktów zmierzonych na analizowanej powierzchni. Dane z tej tablicy możemy obrabiać i prezentować na wiele sposobów. Jednym z nich jest ich przedstawienie w formie obrazu (rys. 2).



**Rys. 2.** Analizowane pole na przełame zapisywane jest w pamięci komputera w formie tabeli wartości XYZ, którą można interpretować jako wykres 3D oraz jako standardowy obraz

W komputerowej analizie obrazów obraz rozpatrywany jest jako zbiór pikseli, którym przypisuje się położenie oraz poziom szarości. Jeżeli wielkość kroku pomiarowego profilomierza laserowego jest znana i nie zmienia się podczas całego pomiaru, to wyniki możemy zapisać w postaci macierzy  $M \times N$ , gdzie  $M$  — ilość pomiarów w kierunku  $X$ , a  $N$  — ilość pomiarów w kierunku  $Y$ . Wartościami tej macierzy są oczywiście współrzędne wysokości  $Z$ . Od takiego zapisu jest już tylko krok do utworzenia obrazu. Każdą daną pomiarową możemy zapisać jako jeden piksel obrazu w taki sposób, że położenie  $X$  oraz  $Y$  tego piksela będzie tożsame z położeniem punktu w macierzy  $M \times N$ . Natomiast stopień szarości obrazu będzie odpowiadał wartości  $Z$  wziętej z właściwej komórki macierzy.

Proponowane podejście pozwala na wykorzystanie do analizy przełamu skalnego całego aparatu matematycznego stosowanego w standardowych metodach przekształcenia i analizy obrazów oraz w morfologii matematycznej.

### 3. Materiał pomiarowy

Do prowadzenia badań wyselekcjonowano 5 skał o zróżnicowanym charakterze petrograficznym i o różnych właściwościach fizyczno-mechanicznych. Skałami tymi były: piaskowiec z Tumlina, kwarcyt z Wiśniówki, wapień z Czatkowic, dolomit z Rędzin i dolomit z Laskowej Góry.

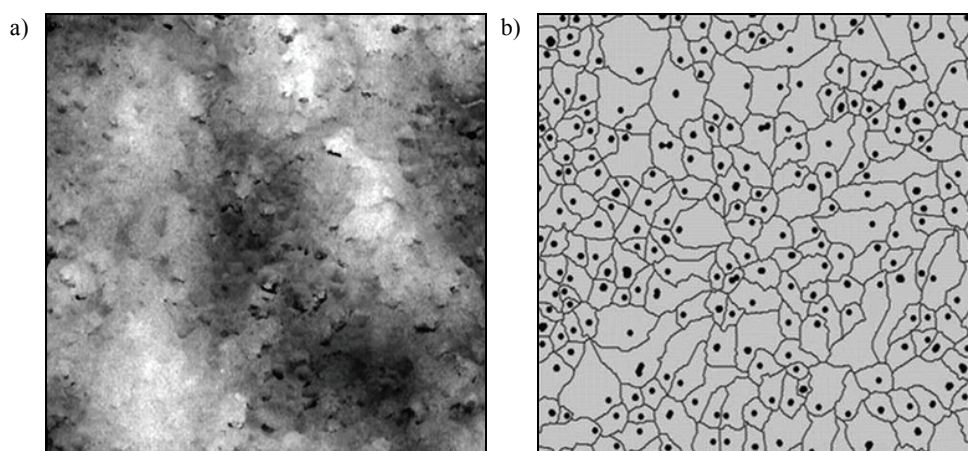
Przełamy skalne wykorzystywane w badaniach wykonano poprzez zastosowanie tzw. testu brazylijskiego. Na każdym z badanych przełamów wybrano po dwa pola pomiarowe, które zostały zeskanowane przy użyciu profilomierza laserowego. Na każdym polu zmierzono wysokości 262 144 punktów tworzących kwadratową siatkę o rozmiarze  $512 \times 512$  punktów, oddalonych od siebie o  $10 \mu\text{m}$ . W wyniku tej operacji uzyskano macierze zawierające współrzędne XYZ punktów pomiarowych, które następnie przetransponowano na obrazy. Były one punktem wyjścia do prowadzonych badań.

#### 4. Wyniki pomiarów

Ciekawe wyniki można otrzymać stosując podstawowe przekształcenia analizy obrazów, tj. wyznaczenie objętości obrazu, analizę gradientów (w tym kierunkowych), analizę minimów i maksimów globalnych itp. [9].

W badaniach prezentowanych w niniejszej pracy opisane zostaną parametry, których wyznaczenie wymaga zaprogramowania zaawansowanych i bardziej złożonych algorytmów morfologicznych. W rezultacie otrzymuje się jednak informacje, których wyznaczenie jest niezwykle skomplikowane lub wręcz niemożliwe przy standardowym podejściu do problemu analizy ukształtowania powierzchni.

Na rysunku 3 przedstawiono maksima lokalne oraz ich tzw. strefy wpływu. Strefy te wyznaczono przy użyciu przekształcenia linii działów wodnych (*watershed*). Stosując analogię z ukształtowaniem terenu, można przyjąć, że maksima są szczytami gór, a granice stref wpływu są czymś w rodzaju przełęczy pomiędzy tymi górami. W każdej ze stref istnieje również minimum lokalne. Mając informację o minimach i maksimach leżących w granicach stref możemy obliczyć ich względną wysokość. Wyznaczając dodatkowo odległość między tymi ekstremami, jesteśmy w stanie obliczyć nachylenie łączącego je odcinka. Możemy je z pewnym przybliżeniem traktować jako lokalne nachylenie zbocza w analizowanej strefie.



Rys. 3. Maksima lokalne i strefy ich wpływu (b) wyznaczone dla obrazu dolomitu (a)

Do praktycznej realizacji opisanego powyżej rozumowania zaproponowano następujący algorytm postępowania:

- obraz otrzymany w wyniku odwzorowania powierzchni przełamu skalnego profilomierzem laserowym poddawany jest filtracji morfologicznym filtrem przemiennym (okręgiem o promieniu 2 piksele),

- na otrzymanym obrazie wyznaczane są maksima lokalne, są one markerami do wyznaczenia linii działów wodnych (*watershed*),
- na każdym z obszarów wyznaczonych przez *watershed* znajdujemy punkty o najniższych wartościach — są to minima lokalne sąsiadujące z wyznaczonymi wcześniej maksimami,
- na każdym z obszarów wyznaczonych przez *watershed* łączymy odcinkiem punkty lokalnych minimów i maksimów, a następnie obliczamy długość tego odcinka,
- wyznaczamy różnicę wysokości pomiędzy ekstremami lokalnymi, a następnie obliczamy kąt, pod jakim nachylony jest odcinek łączący te dwa ekstrema.

W tabeli 1 zestawiono wartości średnie (dla wszystkich pól pomiarowych każdej ze skał) otrzymane w wyniku działania opisanego powyżej algorytmu.

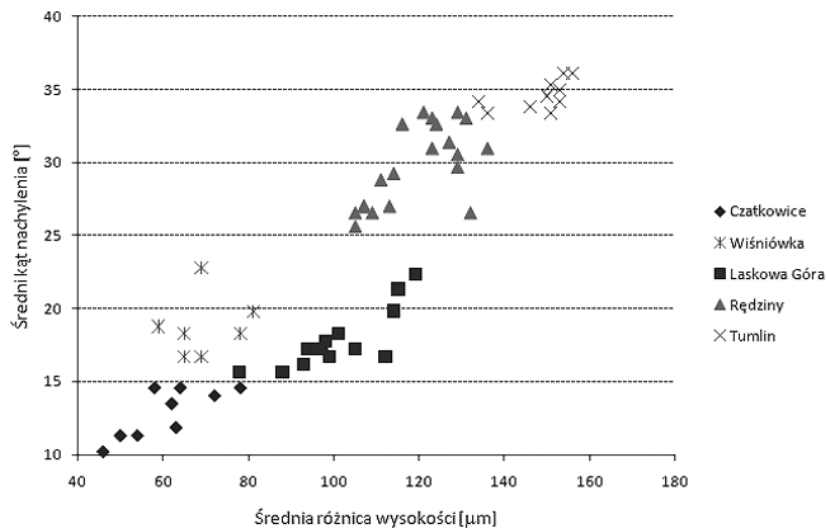
TABELA 1

**Wartości średnie parametrów otrzymanych w wyniku działania algorytmu**

Nazwa skały	Średnia wielkość obszaru [ $\mu\text{m}^2$ ]	Średnia różnica wysokości [ $\mu\text{m}$ ]	Średnia odległość min – max [ $\mu\text{m}$ ]	Średni kąt nachylenia [stopnie]
Wapień z Czatkowic	0,066	0,061	0,264	12,9
Kwarcyt z Wiśniówki	0,049	0,070	0,209	18,8
Dolomit z Laskowej Góry	0,086	0,101	0,308	17,9
Dolomit z Rędzin	0,057	0,120	0,226	29,8
Piaskowiec z Tumilna	0,058	0,148	0,227	34,6

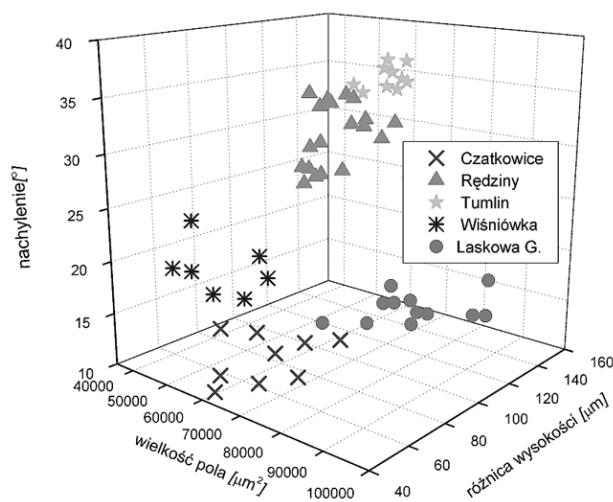
W oparciu o parametry, których średnie wartości zestawiono w tabeli 1, możemy zdefiniować przestrzeń wielowymiarową, w której każda z osi reprezentować będzie jeden z tych parametrów. Przy takim postępowaniu każdy obraz (czyli pomiar pojedynczego pola) będzie opisany jednym punktem. W teorii rozpoznawania obrazów tak zdefiniowana przestrzeń nosi nazwę przestrzeni cech.

Rysunek 4 przedstawia przykładową przestrzeń cech wyznaczoną przez średnie różnice wysokości oraz średnie kąty nachylenia. Zwróćmy uwagę, że punkty opisujące poszczególne obrazy (pola pomiarowe) są zgrupowane. Świadczyć to może o tym, że proponowane w pracy parametry opisujące ukształtowanie przełamów różnicują skały ze względu na ich cechy strukturalno-teksturalne. Dotyczy to w zasadzie wszystkich analizowanych w tej pracy skał. Niewielkie odstępstwa niektórych pomiarów od średnich wartości dla danej skały sugerują, że w danych przypadkach analizowano pola o nieco innych cechach — prawdopodobnie o nieco innym uziarnieniu.



Rys. 4. Analizowane pola w przestrzeni cech: średnia różnica wysokości — średni kąt nachylenia

Dwuwymiarowa przestrzeń cech bardzo rzadko jest wystarczająca do opisania różnic pomiędzy obiektami. Jest ona jednak prosta do wizualizacji i dlatego została tutaj zasygnalizowana. Rysunek 5 przedstawia uzyskane wyniki w przestrzeni trójwymiarowej. Od strony wizualnej grupuje ona w zdecydowanie lepszy sposób badane skały. Potwierdza to fakt, że ukształtowanie przełamów skalnych zależy od cech strukturalno-teksturalnych skał, a proponowane w pracy metody pomiarowe potrafią te zależności zaobserwować.



Rys. 5. Analizowane skały w trójwymiarowej przestrzeni cech: średnia wielkość pola — średnia różnica wysokości — średni kąt nachylenia

## 5. Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki prac mających na celu zbadanie możliwości wykorzystania metod analizy obrazu i morfologii matematycznej do opisu ukształtowania powierzchni przełamów skalnych uprzednio odwzorowanych przy wykorzystaniu profilomierza laserowego. Takie podejście pozwala na wyznaczenie szeregu parametrów opisujących analizowaną strukturę. Parametry te mogą być ważnym uzupełnieniem informacji uzyskanych dzięki standardowym metodom analizy ukształtowania powierzchni przełamów. Przewiedzone badania wykazały przydatność zaproponowanej metodyki badawczej oraz pozwoliły postawić tezę, że proponowana metoda pozwala na rozróżnianie (grupowanie) badanych przełamów skalnych ze względu na cechy strukturalno-teksturalne tych skał.

### LITERATURA

- [1] *Bodziony J., Ratajczak T., Aksamit J.*: Ocena chropowatości w świetle polskich norm. Sprawozdanie z działalności naukowej Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, IMG-PAN, 1998
- [2] *Chmura K.*: Własności fizykotermiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1970
- [3] *Gentier S., Riss J.*: Spherical distribution of fracture elements from linear and/or areal roughness. *Acta Stereologica*, 6/III, 1987, s. 877–882
- [4] *Kidybiński A.*: Podstawy geotechniki kopalnianej. Katowice, Wydawnictwo Śląsk, 1982
- [5] *Konecny P., Młynarczuk M.*: Zależność pomiędzy morfologią powierzchni przełamów skalnych a ich przepuszczalnością w trójosiowym stanie naprężenia. *Geotechnika w Budownictwie i Górnictwie* (eds. Brząkała, Butra, Gałczyński). Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003
- [6] *Kulatilake P.H.S.W., Um J.*: Requirements for accurate quantification of self-affine roughness using the roughness-length method. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 36, 1999, s. 5-18
- [7] *Lanaro F.*: A random field model for surface roughness and aperture of rock fractures, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 37, 2000, s. 1195–1210
- [8] *Młynarczuk M.*: Methods of Determining the Fracture Surface Roughness of Rock Samples by Means of a Laser Profilometer. „IV International Conference Stereology and Image Analysis in Material Science — STERMAT”, Wisła, 1994, s. 123–128
- [9] *Młynarczuk M.*: Możliwości wykorzystania analizy obrazu i morfologii matematycznej do analizy stereologicznej struktur skalnych. *Archives of Mining Sciences*, vol 49, 2004, s. 117–140
- [10] *Pinińska J.*: Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część IV: Karpaty fliszowe. Warszawa, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, 2003
- [11] *Power W.L., Durham W.B.*: Topography of Natural and Artificial Fractures in Granitic Rocks: Implications for Studies of Rock Friction and Fluid Migration. *J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 34, No. 6, 1997, s. 979–989
- [12] *Renard F., Schmittbuhl J., Gratier J.P., Meakin P., Merino E.*: Three-dimensional roughness of stylolites in limestones, *Journal of Geophysical Research*, vol 109, 2004, s. 1–12
- [13] *Wang J.*: Morphology and mechanical behaviour of rock joints. Doctoral Thesis. Politechnika Śląska, 1994
- [14] *Xie H., Wang J., Kwaśniewski M.A.*: Multifractal characterization of rock fracture surfaces. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* vol. 36, 1999, s. 19–27