

Analizy struktur węgla oraz skał w oparciu o wyniki ilościowych badań mikroskopowych, ze szczególnym uwzględnieniem metod fluorescencyjnych

KATARZYNA GODYŃ, MARIUSZ MŁYNARCZUK, MIROSLAW WIERZBICKI

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

Dokonano rozpoznania i opisu struktur odmienionych występujących w pokładach węgla kamiennego z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Analizowano ponadto spękane i porowate utwory osadowe (dolomit, piaskowiec) oraz poddane trójosiowemu ściskaniu skały magmowe (granit). Do badań stosowano mikroskop polaryzacyjny do światła odbitego, wykorzystując obiektywy suche, immersję olejową, a w szczególnych przypadkach przystawkę do światła fluorescencyjnego oraz metody automatycznej analizy obrazu.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, struktury odmienione, analizy mikroskopowe, fluorescencja

1. Wstęp

Jednymi z najniebezpieczniejszych naturalnych zjawisk występujących w kopalniach węgla kamiennego są wyrzuty gazów i skał. Niosą one za sobą bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia i życia załóg górniczych. Po raz pierwszy zjawiska wyrzutowe zostały opisane ponad 150 lat temu, a najczęściej rejestrowano je w kopalniach francuskich, belgijskich oraz holenderskich (Bodziony i Lama, 1996).

Wyrzuty są ściśle związane z występowaniem w pokładach węgla gazu o wyższym niż atmosferyczne ciśnieniu. Gaz występujący w węglu może mieć różny skład, a jego zawartość wzrasta wraz z głębokością prowadzenia robót górniczych. Za niebezpieczne zjawiska kopalniane odpowiadają zwykle takie gazy jak metan oraz ditlenek węgla. Ich obecność jest nierozdzielnie związana z pokładami węgla, i gdy odnotowuje się w nich pewną ciągłą ich zawartość, stosując środki prewencyjne (m.in. stały pomiar stężenia gazów, odgazowywanie, wentylacja), można skutecznie zapobiegać niebezpiecznym oraz tragicznym w skutkach zjawiskom wyrzutowym (Branny i Filipek, 2008; Su i in., 2008). Jednak w górotworze pojawiają się również takie rejony, gdzie standardowe działania nie przynoszą pożądanego efektów. Są to miejsca wyjątkowo niebezpieczne i szczególnie narażone na występowanie zagrożeń związanych z wyrzutami gazów i skał. Tego typu obszary nazywane „pułapkami gazowymi” charakteryzują się odmienną (osłabioną) budową strukturalną węgla, a co za tym idzie zwiększoną pojemnością gazową oraz podwyższonym ciśnieniem gazu występującego w porach i szczelinach, w stosunku do otaczających formacji. Takie formy pojawiać się mogą w rejonach zaburzeń geologicznych, co doprowadziło już niejednokrotnie do tragicznych w skutkach zdarzeń i katastrof górniczych (Jakubów i in. 2006).

Autorzy opracowań dotyczących zjawisk wyrzutowych są zgodni, iż prawie wszystkie wyrzuty zachodzą w rejonach zaburzeń tektonicznych, gdyż występujące tam węgle osłabione strukturalnie są „niestabilne” z uwagi na mniejszą zwięzłość oraz wysoką pojemność gazową Li i in. (2003) Cao i in. (2000), Beamish i Crosdale (1998), Shepherd i in. (1980). Sądzą oni również, że szczególne zagrożenie wyrzutowe występuje wówczas, gdy grubość warstwy zdeformowanej tektonicznie przekracza 0,8 m. Li i in. (2003) – twierdzą, że zagrożenie wyrzutowe występuje wyłącznie w rejonach zaburzeń strukturalnych.

2. Cel badań

Ze względu na to, że nie istnieją jak dotąd efektywne metody wykrywania stref występowania węgla o strukturach zdeformowanych na skutek zjawisk tektonicznych (Hargraves, 1983; Beamish and Crosdale, 1998), należy szukać nowych metod skuteczniających właściwą prewencję w kopalniach węgla kamiennego. Bodziony i in. (1990) sugerowali, że właściwy monitoring spękań węgla może stać się przydatnym parametrem dla ściślejszego rozróżnienia lokalnego zagrożenia wyrzutowego w poszczególnych częściach pokładu.

Celem niniejszej pracy było więc rozpoznanie i opis struktur odmienionych powstałych na skutek metamorfizmu dyslokacyjnego, występujących w pokładach węgla kamiennego. Analizowano ponadto spękane i porowate utwory osadowe oraz ściśnięte trójosiowo skały magmowe. Stosowano różne mikroskopowe techniki badawcze oraz szukano nowych, efektywniejszych metod usprawniających te badania. Dokonano próby opisu struktur przy wykorzystaniu mikroskopowej techniki fluorescencyjnej.

3. Metodyka badań

Do badań zastosowano materiał węglowy pochodzący z KWK Zofiówka, Szczygłowice, Brzeszcze oraz Pniówek. Były to węgle zróżnicowane macerałowo, miały także różną budowę strukturalną.

Z wybranych fragmentów węgla wykonano zglądy o polu powierzchni nie mniejszym niż 3 cm². Do analiz wykonano szereg próbek o różnej charakterystyce:

- rozkruszone i wyselekcjonowane do wybranych klas ziarnowych
- kawałkowe, wykonane z większych fragmentów materiału węglowego

Część próbek, zamiast standardowym klejem zalano preparatem (Epodye-Struers) wykazującym własności fluorescencyjne. Zglądy poddano szlifowaniu powierzchni, w celu osiągnięcia należytego stopnia odbicia promieni świetlnych od powierzchni próbek.

Do analiz zastosowano mikroskop polaryzacyjny AXIOPLAN firmy ZEISS oraz sterowany komputerowo stół mechaniczny XYZ. Obraz spod mikroskopu optycznego przekazywany był za pomocą kamery CCD na monitor. Stosowano powiększenia 200-320X, co jest zgodne z PN-ISO 7404-3: 2001, dotyczącą petrograficznych analiz węgla kamiennego.

Wykonano pomiary w świetle odbitym białym oraz przy użyciu przystawki fluorescencyjnej. Dokonano analiz suchym obiektywem, jak i stosując immersję olejową. Analizy z zastosowaniem immersji są stosowane w celu poprawienia jakości obrazu pochodzącego z mikroskopu optycznego. Przestrzeń pomiędzy preparatem a obiektywem wypełniana jest specjalną cieczą odpowiednio załamującą światło. Współczynnik załamania światła olejku immersyjnego jest zbliżony do współczynnika załamania szkła soczewki. Efektem tak prowadzonych badań jest bardziej kontrastowy i wyraźny obraz, gdyż nie następuje załamanie się światła po przejściu ze środowiska optycznie gęstszego (szkła) do środowiska optycznie rzadszego (powietrza), jak to ma miejsce w przypadku suchego obiektywu. Działanie mikroskopu z przystawką fluorescencyjną oparte jest na zjawisku fluorescencji. Ta cecha może być pochodzenia naturalnego (np. fluorescencja macerałów z grupy liptynitów) lub być wynikiem dołączenia fluoroforów, czyli substancji chemicznych, które fluoryzują po wzbudzeniu światłem o określonej długości. Do badań węgla stosuje się filtr fluorescencyjny, który filtruje fale świetlne do długości 450-490 nm. Mikroskop fluorescencyjny jest przydatny do identyfikacji niektórych macerałów węgla. Posłużył on również do zobrazowania oraz zliczenia ilości i gęstości sieci spękań na węglu strukturalnie odmienionym oraz analizowanych skałach. Rezultat ten został osiągnięty na skutek impregnacji próbek klejem o własnościach fluorescencyjnych.

Wykonano analizy ilościowe wybranych próbek, z szczególnym uwzględnieniem udziału spękań oraz węgla odmienionego strukturalnie.

Dokonano również analizy liniowej w celu zliczenia spękań w wybranych preparatach węgla. Na tej podstawie skonstruowano wykresy odzwierciedlające uprzywilejowane kierunki pęknięcia substancji węglowej.

Na fotografiach zilustrowano obraz węgla widoczny w obiektywie suchym, immersji olejowej oraz w świetle fluorescencyjnym. Na podstawie wykonanych zdjęć mikroskopowych przeprowadzono automatyczną analizę fluorescencyjnych obrazów węgla, w celu wyliczenia procentowej zawartości spękań i szczelin.

4. Wyniki badań

4.1. Analiza kierunków spękań

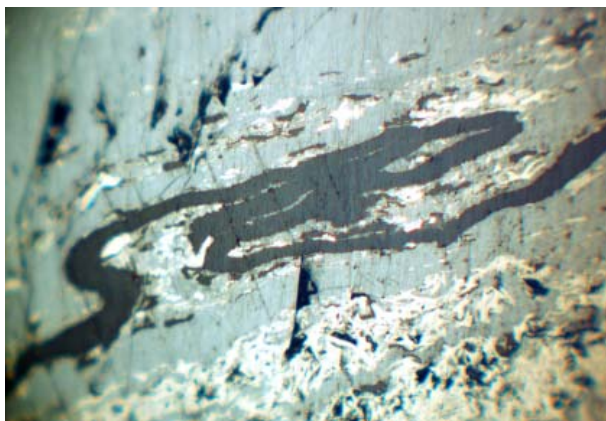
Przeprowadzono analizę liniową kierunków spękań węgla pochodzącego z rejonu uskoku tektonicznego występującego na ścianie w KWK Pniówek (próbka R1, R2 – fot. 1, 2) oraz z rejonu wyrzutu w chodniku transportowym D-6 w pokładzie 409/4 KWK Zofiówka w (próbka R3 – fot. 3,4), gdzie po zdarzeniu w 2005 roku odsłoniły się dwa uskoki usytuowane w rejonie kawerny powyrzutowej (Jakubów i in. 2006).



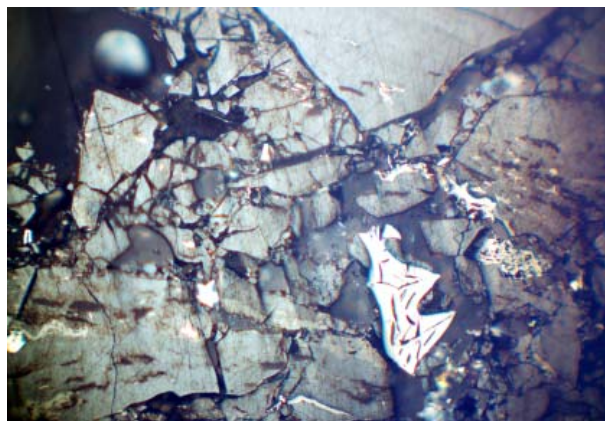
Fot. 1. Próbką R-1. Węgiel z rejonu uskoku. Fragment węgla, lekko spękany zbudowany jest z macerałów wityrynowych (kolinit) inetryrynowych (sklerotynit) i egzynyty (rezynit impregnujący wityryt). Światło odbite, immersja, pow. 320×



Fot. 2. Próbką R-1. Węgiel z rejonu uskoku. W centralnej części jaśniejsze fragmenty węgla to sklerotynit, pozostałą część wypełnia wityryt impregnowany przez rezynit. Światło odbite, immersja, pow. 320×



Fot. 3. Próbką R-3. Węgiel pochodzący ze strefy wyrzutowej. Centrum zdjęcia wypełnia ciemnoszary fragment makrospory, tkwiącej w wityrycie. Jaśniejsze fragmenty są zbudowane z macerałów inetryrynowych. Światło odbite, immersja, pow. 320×



Fot. 4. Próbką R-3. Węgiel pochodzący ze strefy wyrzutowej. Jest to fragment częściowo zniszczonej struktury węgla – kataklazy. Okruchy węgla zbudowane są z wityrytu, inetryrytu oraz egzynyty. Światło odbite, immersja, pow. 320×

Na podstawie ilościowych analiz punktowych wyznaczono, że węgle pobrane ze stref przyuskokowych KWK Pniówek oraz Zofiówka posiadały podwyższoną zawartość spękań i fragmentów odmienionych strukturalnie (tab. 1).

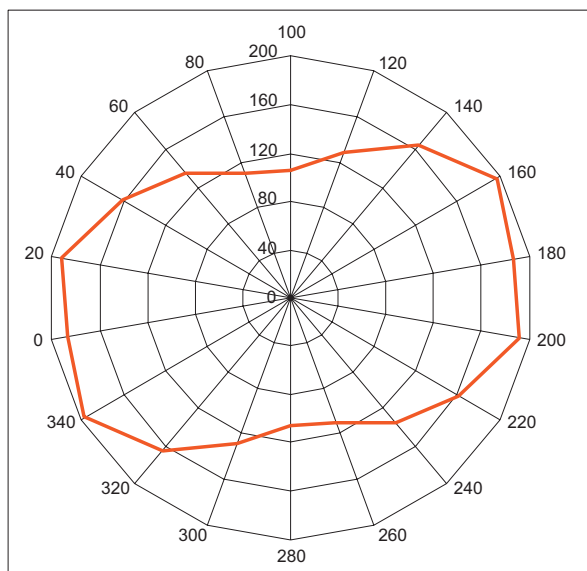
Tab. 1. Zawartość spękań, struktur odmienionych oraz nieodmienionego węgla w próbkach z KWK Pniówek (R-1, R-2) i KWK Zofiówka (R-3), pobranych z okolicy miejsc zaburzonych tektonicznie – uskokiów

Próbki	R-1	R-2	R-3
Węgiel odmieniony strukturalnie	5,6	2,5	23,34
Spękania na węglu	7,0	8,6	18,47
Węgiel nieodmieniony	87,4	88,9	58,19

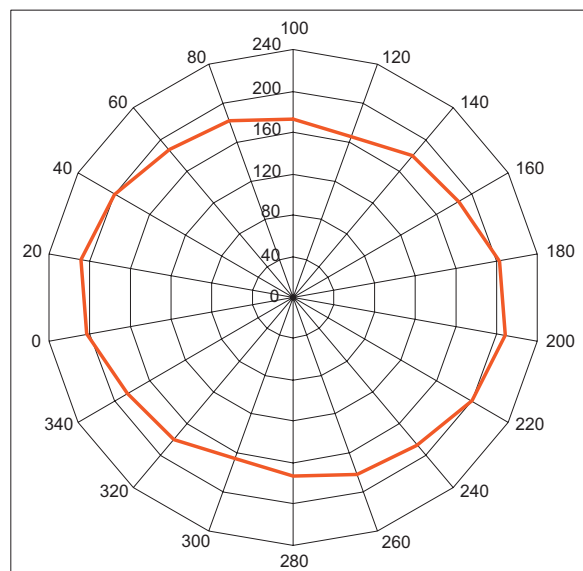
Analiza liniowa została przeprowadzona na kawałkowych próbkach węgla. Do realizacji tego celu wykonano serię zdjęć przy użyciu kamery cyfrowej podłączonej do mikroskopu polaryzacyjnego w świetle odbitym. Zastosowano powiększenie 200×. Na każdą z fotografii nałożono 12 linii, a następnie zliczano ilość spękań i szczelin przecinających je. Po zliczeniu linie pomiarowe obracano o kąt 20° i dokonywano ponownego zliczenia liczby przecięć na linii. Wyliczając przecięcia na wszystkich 9-ciu kierunkach – liniach pomiarowych, skonstruowano wykresy – róże kierunków spękań widoczne na rys. 1 i 2.

Próbka z KWK Pniówek została przy pobieraniu ukierunkowana. W węglu (pr. R-1) występuje uprzywilejowany kierunek pęknięcia macerałów (rys. 1). Jest on niemal prostopadły do uławicenia warstw.

W materiale pobranym z KWK Zofiówka (pr. R-3), nie dokonano orientacji pobranego materiału, jednakże wyniki (rys. 2) wskazują, że praktycznie nie występuje tutaj jeden dominujący kierunek pęknięcia węgla.



Rys. 1. Róża kierunków spękań na próbce R-1

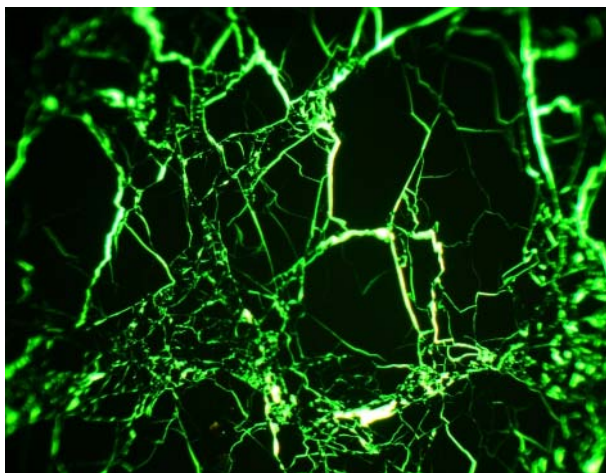


Rys. 2. Róża kierunków spękań na próbce R-3

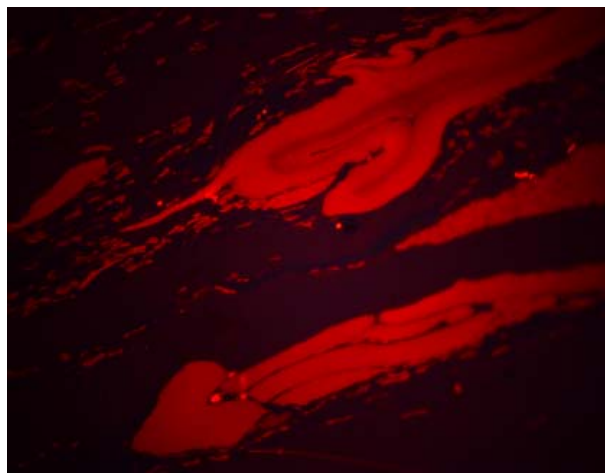
Z obserwacji mikroskopowych popartych punktowymi analizami ilościowymi (tab. 1) wynika, że stopień uporządkowania spękań w węglu zależy od stopnia zniszczenia struktury. Próbka R-1 była zdecydowanie mniej spękana od R-3. W miarę wzrostu działania sił, destrukcja struktury i sieć spękań jest większa, a także mniej uporządkowana.

4.2. Analiza spękań przy użyciu fluorescencji

Standardowe mikroskopowe metody stosowane do określania stopnia degradacji struktury węgla (punktowa analiza ilościowa) są niekiedy obciążone znacznym błędem. Efekt ten jest spowodowany stopniem skomplikowana wtórnej struktury, trudnej do zidentyfikowania, nawet przy pomocy obiektywów immersyjnych. Z tego powodu zastosowano mikroskop działający w świetle fluorescencyjnym wraz z obiektywem przystosowanym do immersji. Dało to zadowalający wynik. Przed rozpoczęciem analiz zatopiono próbkę w kleju o właściwościach fluorescencyjnych, który został wtłoczony w pory i spękania. W oświetleniu lampą fluorescencyjną na obrazie mikroskopowym pojawiły się szczeliny świecące na jaskrawy zielony kolor. Fotografia nr 5 przedstawia je jako na jasnoszare spękania (fot. 5).



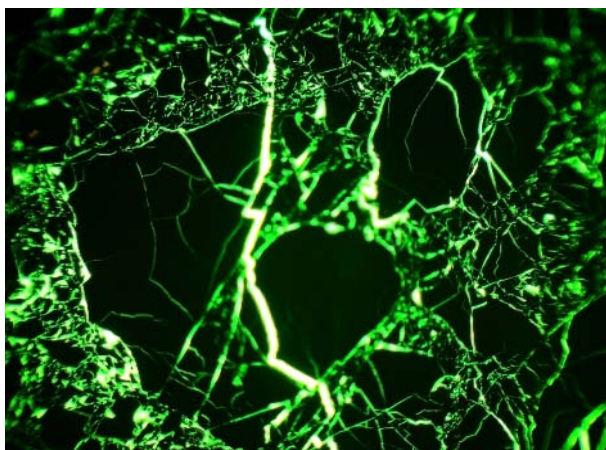
Fot. 5. Próbką R-3. Węgiel ze strefy powyrzutowej. Spękania wypełnia fluorescencyjna substancja. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×



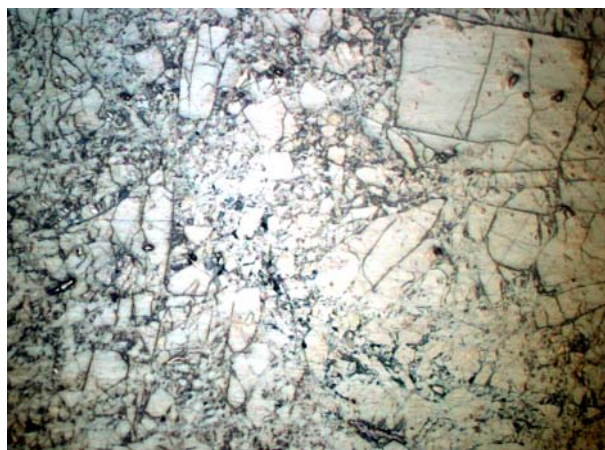
Fot. 6. Próbką R-1. Węgiel z rejonu uskoku. Fragment węgla zawierający macerały liptynitów – duże makrospory. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×

Węgiel, poza macerałami z grupy liptynitów (egzynitów), świecącymi na pomarańczowo-czerwono (na fotografii nr 6 widocznymi jako ciemnoszare wydłużone formy), jest we fluorescencji całkowicie czarny. Na podstawie fotografii dokonano automatycznej analizy obrazu i porównano jej wyniki ze standardową analizą punktową.

Badano węgiel odmieniony z kopalni Zofiówka (fot. 7, 8). W obu przypadkach wynik był bardzo zbliżony. W próbce węgla analizowanej z użyciem fluorescencji zawartość spękań wyniosła 17,48%, a wynik mikroskopowej analizy punktowej był tylko nieznacznie większy (18,47%).



Fot. 7. Przykładowe zdjęcie węgla (pr. R-3), wykorzystane do automatycznej analizy obrazu. Spękania wypełnia fluorescencyjna substancja. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×



Fot. 8. Węgiel odmieniony strukturalnie pochodzący z rejonu uskoku (pr. R-3). Na zglądzie wykonano punktową analizę ilościową. Światło odbite, immersja, pow. 320×

4.3. Zastosowanie fluorescencji w skałach

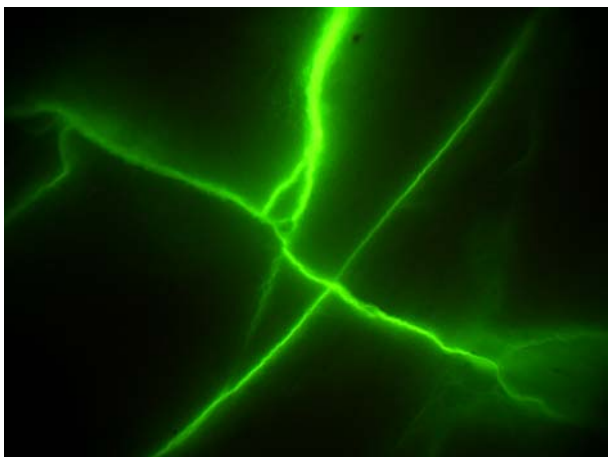
Dokonano próby wykorzystania światła fluorescencyjnego do analizy spękań skał. W badaniach wykorzystano próbki wapienia z Morawicy, piaskowca z Tumlina, dolomitu z Rudnej oraz granitu ze Strzelina, poddanego trójosiowemu ścisłaniu.

Niektóre minerały posiadają właściwości fluorescencyjne. Fluorescencję, w różnym zakresie długości światła ultrafioletowego, posiadają m.in. fluoryt, kalcyt, dolomit, baryt, gips, cyrkon, halit, rubin, sfaleryt. Ze względu na te właściwości, analiza spękań może nie dać miarodajnych wyników. Przykładowe fotogra-

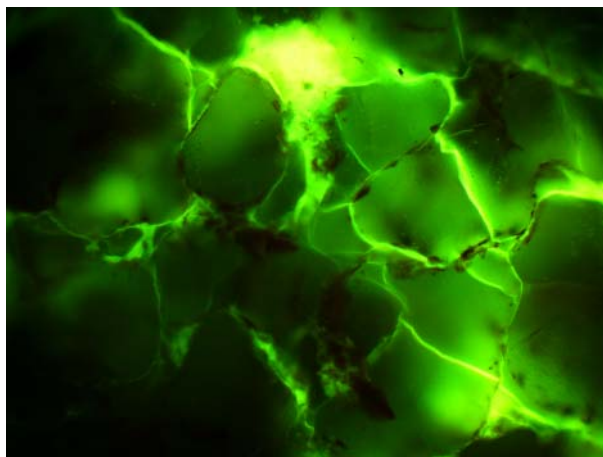
fie poszczególnych skał obrazują, w jaki sposób światło fluorescencyjne działa na powierzchnię tych skał, zaimpregnowaną klejem fluorescencyjnym (fot. 9-12).

Analizowane w ultrafiolecie spękania i pory są wyraźnie widoczne w wapieniu oraz granicie. W skałach tych można zastosować metodę fluorescencyjną, która uwidacznia spękania i szczeliny, co pozwala prześledzić ich rozkład i gęstość.

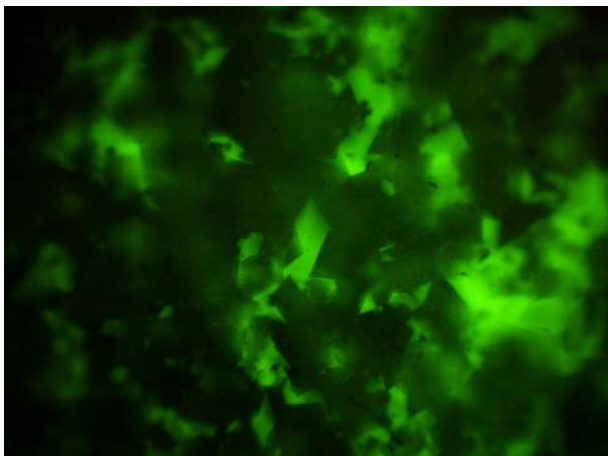
W piaskowcu i dolomicie, oprócz fosforyzującego kleju wypełniającego pory i szczeliny, „świecą” również inne składniki budujące osady. Z uwagi na te cechy skał, zjawisko fluorescencji nie może w tym przypadku być wykorzystane do dalszych analiz.



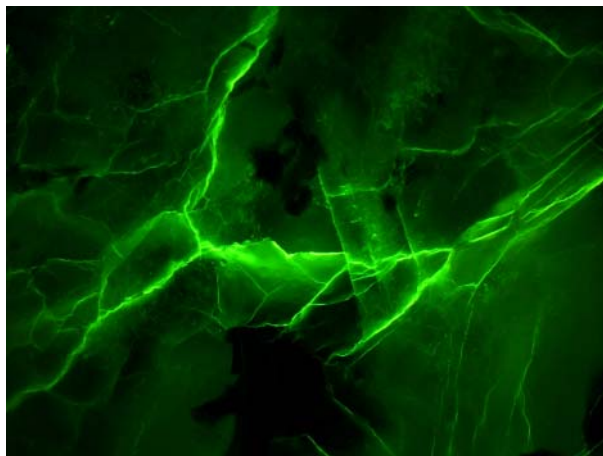
Fot. 9. Spękany wapień z Morawicy. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×



Fot. 10. Porowaty piaskowiec z Tumlina. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×



Fot. 11. Porowaty dolomit z Rudnej, pobrany z kopalni „Rudna”. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×



Fot. 12. Granit ze Strzelina poddany trójosiowemu ściskaniu. Światło odbite, fluorescencja, immersja, pow. 320×

5. Wnioski

Węgiel odmieniony strukturalnie występuje w miejscach, gdzie pojawiają się różnego rodzaju zaburzenia tektoniczne bądź litologiczne. Strefa tych zmian (shear zone) wg Bodzionego i Lamy (1996) wynosi od 30 mm do ponad 1,5 m. Tego rodzaju miejsca, w pokładach węgla, charakteryzują się znaczną porowatością, a co za tym idzie zwiększoną pojemnością gazową. Z tego względu stanowią niezwykle niebezpieczne obszary w pokładach węgla, stanowiąc realne zagrożenie wyrzutami gazów i skał.

Na podstawie analizy kierunków spękań w węglach pobranych ze stref przyuskokowych, stwierdzono, że wraz z zagęszczeniem siatki spękań, znika ich kierunkowość. Węgiel staje się coraz bardziej bezładny i zmienia się w drobne okruchy, bez jakiegokolwiek ukierunkowania i uporządkowania. W przypadku węgla o stosunkowo mało zaburzonej strukturze, możliwe jest zaobserwowanie priorytetowych kierunków pęknięcia macerałów.

Próbki węgla odmienionego strukturalnie poddano analizie w świetle fluorescencyjnym. Odpowiednio przygotowane preparaty mikroskopowe, zatopiono w kleju fluorescencyjnym, co spowodowało, że uwidoczniły się spękania na węglu. Uzyskany wynik daje nadzieję, na usprawnienie metod zliczania spękań oraz skuteczniejszego wykrywania struktur odmienionych występujących w węglu. Może to przyspieszyć procedurę pomiarową i zwiększyć ilość analizowanych próbek.

Dobre efekty stosowania fluorescencji w węglu zaowocowały próbą podobnego wykorzystania tej metody do badania szczelinowości i porowatości różnych typów skał. Okazało się, że metoda ta może być skuteczna, gdy w skale nie występują minerały posiadające naturalne właściwości fluorescencyjne. W przypadku, gdy pojawiają się składniki fluoryzujące wynik może być obciążony zbyt dużym błędem pomiarowym.

Praca została wykonana w roku 2009 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

6. Literatura

- Beamish B., Crosdale P.J., 1998. *Instantaneous outbursts in underground coal mines: An overview and association with coal type*, International Journal of Coal Geology, 35, 27-55.
- Bodziony J., Kraj W., Ratajczak T., 1990. *Zastosowanie stereologii w badaniach struktury węgla dolnośląskich*, (w:) Górotwór jako ośrodek wielofazowy – wyrzuty skalno-gazowe, red. J. Litwiniszyn, Wyd. AGH Kraków.
- Bodziony J., Lama R.D., 1996. *Sudden outburst of gas and coal in underground coal mines*, Publisher Lama & Associates, 130 Brokers Road, Mt. Pleasant, NSW 2519, Australia.
- Branny M., Filipek W., 2008. *Numerical simulation of ventilation of blind drifts with a force-exhaust overlap system in the condition of methane and dust hazards*, Archives of Mining Sciences, vol. 53, no. 2, s. 221-234.
- Cao Y., Mitchell G.D., Davis A., Wang D., 2000. *Deformation metamorphism of bituminous and anthracite coals from China*, International Journal of Coal Geology, 43, 227-242.
- Hargraves A.J., 1983. *Instantaneous outbursts of coal and gas: a review*, Proc. Australas. Inst. Min. Metall., 285 (3), 1-37.
- Jakubów A., Tor A., Wierzbicki M., 2006. *Własności strukturalne węgla w rejonie wyrzutu węgla i gazu w chodniku transportowym D-6 pokład 409/4 KWK „Zofiówka”*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Górnictwo i Zagrożenia Naturalne”.
- Li H., Ogawa Y., Shimada S., 2003: *Mechanism of methane flow through sheared coals and its role in methane recovery*, Fuel 82, 1271-1279.
- Shepherd J., Rixon L.K., Creasey J.W., 1980. *Analysis and prediction of geological structures associated with outbursts at Collinsville, Queensland*. The Occurrence, Prediction and Control of Outbursts in Coal Mines Symposium, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Parkville, Victoria, Australia, 159-171.
- Su S., Chen H., Teakl P., Xu S., 2008. *Characteristics of coal mine ventilation air flows*, Journal of Environmental Management, 86, 44-62.

Analysis of coal and rock structures based on the results of quantitative microscopic research, with particular emphasis on methods of fluorescence

Abstract

There have been the identification and description of deformed structures occurring in coalbeds of the Upper Silesian Coal Basin. Analyzed also fractured and porous sedimentary rocks (dolomite, sandstone) and subjected to triaxial compression igneous rocks (granite). Polarizing microscope was used for reflected light, using a dry lens, immersion oil, and in special cases, snap-in to the fluorescent light, and methods of automatic image analysis.

Keywords: hard coal, deformed structures, microscope analysis, fluorescence