# Opis stopnia deformacji struktury skalnej przy wykorzystaniu metod stereologii i analizy obrazu

KATARZYNA GODYŃ, MARIUSZ MŁYNARCZUK, JAROSŁAW AKSAMIT

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

#### Streszczenie

Na skutek ruchów tektonicznych w górotworze powstają pęknięcia i przemieszczenia mas skalnych wzdłuż nowopowstałej powierzchni – tzw. powierzchni uskokowej. W strefie takiej zwykle pojawiają się deformacje strukturalne, widoczne niekiedy w skali makro, ale częściej dostrzegalne wyłącznie w skali mikro, przy użyciu różnego typu mikroskopów. W pracy badano takie właśnie zdeformowane, przyukokowe struktury skalne. Próby do badań pobrano z rejonów, w których stwierdzono występowanie uskoków tektonicznych. Były to piaskowce fliszu karpackiego, wapienie jury krakowsko-częstochowskiej oraz skały towarzyszące węglom kamiennych z kopalni Pniówek. Do badań wykorzystano zgłady i szlify cienkie, które analizowano przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego do światła odbitego i przechodzącego. Stosowano powiększenia 50-500×, immersję olejową oraz metody fluorescencyjne. Przeprowadzono analizy stereologiczne, w trakcie których posłużono się zarówno standardowymi metodami ilościowymi a także wykorzystano techniki automatycznej analizy obrazu. Prowadzone badania pozwoliły rozwinąć metodę ilościowego opisu stopnia deformacji struktur skalnych w rejonach uskoków tektonicznych. W badaniach opisano w sposób ilościowy zawartość spękań w skałach przyuskokowych, w stosunku do skał oddalonych od tych stref.

Słowa kluczowe: uskoki, deformacje strukturalne, spękania, analiza stereologiczna, fluorescencja

# 1. Wstęp

Badania prowadzone w ostatnich latach w IMG PAN wykazują, że struktura węgla w strefach przyuskokowych ulega zmianie, a zmiana ta jest mierzalna przy wykorzystaniu różnorodnych metod pomiarowych (analiza stereologiczna, analiza obrazu, analiza profilometryczna) (Wierzbicki i Młynarczuk, 2006; Młynarczuk i Wierzbicki, 2009). U podstaw tych badań stoi teza, że opracowanie szybkich, dokładnych i wiarygodnych metod pomiarowych, mogących określić stopień odmienienia struktury węgla może być istotnym narzędziem profilaktyki przeciwmetanowej i przeciwwyrzutowej w kopalniach węgla kamiennego. Opisywane w niniejszej pracy badania miały na celu przeanalizowanie, czy analogicznie jak dla węgli, istnieje mierzalna zmiana struktury dla skał towarzyszących zaburzeniom tektonicznym.

Podjęty temat badawczy jest również interesujący z innego punktu widzenia. Dotychczas w IMG PAN prowadzono szereg badań mających na celu opisanie stopnia spękania skały w funkcji wielkości i/lub rodzaju siły obciążającej (np. obciążenie trójosiowe, ścinające, klasyczne obciążenie rozciągające, obciążenie testu brazylijskiego, zginające, termiczne, cykliczne, itp.). Opisywane w pracy badania prezentują nieco odmienne podejście i mają na celu analizę zmian struktury skalnej w funkcji odległości od zaburzenia tektonicznego.

W pracy posłużono się mikroskopowymi metodami optycznymi, a także automatyczną analizą obrazu, w celu doboru najbardziej wiarygodnej oraz najszybszej metody wykrywania zmian strukturalnych w materiale skalnym.

# 2. Materiał do badań

Do analiz pobrano materiał skalny z uskoków umiejscowionych w Żegocinie k. Limanowej oraz Czatkowicach/Czernej k. Krzeszowic, a także z KWK Pniówek, ze skał towarzyszących węglom kamiennym w pokładzie, gdzie nastąpił niekontrolowany wypływ metanu w strefie przyuskokowej Uskoku Krzyżowic-kiego.

# 2.1. Geologiczne uwarunkowania analizowanych skał

#### Kamieniołom dolnokredowych piaskowców grodziskich w Żegocinie

Żegocina to wieś zlokalizowana na trasie Bochnia-Limanowa (droga wojewódzka nr 965). We wschodniej części miejscowości, około 500 m na południe od centrum, w dolinie potoku Żegocińskiego usytuowany jest nieczynny kamieniołom (fot.1). Skały tego odsłonięcia zbudowane z fliszowych utworów karpackich należą do tzw. warstw grodziskich. Flisz karpacki charakteryzuje się rytmicznym, naprzemianległym występowaniem warstw piaskowców (niekiedy zlepieńców) oraz osadów drobnoziarnistych, czyli mułowców i iłowców (łupków). W kamieniołomie w Żegocinie osady wykształcone są w postaci tzw. fliszu drobnorytmicznego (Słomka i in., 2006).

Cechą charakterystyczną dla tego rodzaju osadów jest występowanie cienkich, maksymalnie kilkudziesięciocentymetrowych warstw piaskowców, łupków i margli wieku dolnokredowego. Formacja ta osadziła się w głębokim, od 2 do 3,5 km, morskim basenie sedymentacyjnym, rozciągającym się równoleżnikowo na obszarze Karpat, tzw. basenie śląskim (płaszczowina śląska) (Słomka i in., 2006).

Na odsłoniętej ścianie skał fliszowych można rozróżnić występujące na przemian warstwy łupków i piaskowców z wyraźnymi żyłkami kalcytowymi. Wśród tych skał występują również warstwy margli, skał węglanowych czy zlepieńców z okruchami węgla kamiennego. Warstwy skalne ułożone są względem siebie równolegle i zapadają pod kątem ok. 40° w kierunku południowym.

W skałach zaobserwowano uskok przecinający skały fliszu niemal pionowo w stosunku do powierzchni ziemi, a do uławicenia jest on usytuowany pod kątem około 120° (fot. 2, 3). Zrzut prawego skrzydła uskoku wynosi około 30 cm.



Fot. 1. Nieczynny kamieniołom piaskowców grodziskich w Żegocinie



Fot. 2, 3. Uskok przecinający formacje skalne kamieniołomu z Żegocinie

#### Dolnokarbońskie (wizeńskie) wapienie węglowe z okolic Czatkowic i Czernej

W rejonie Czatkowic (k. Krzeszowic) występują liczne wychodnie utworów karbonu dolnego, wykształconego w facji tzw. wapienia węglowego. Są to skały wieku wizeńskiego (wyższa część dolnego karbonu). Należą do morskiej facji dolnego karbonu, składająca się z osadów węglanowych, głównie z wapieni. Osady facji wapienia węglowego powstawały w płytkich zbiornikach wodnych. Były to wapienie pelitowe, oolitowe, z fauną: koralowców, ramienionogów, trylobitów, otwornic, konodontów.

Osady wapienia węglowego można spotkać na powierzchni osiedla Czatkowice, miejscowości Czerna, a także w dolinkach potoków Eliaszówka i Czernka. Wapienie te eksploatowano również czatkowickim kamieniołomie. Aktualnie ich zasoby uległy wyczerpaniu i eksploatacji podlegają starsze wapienie turnejskie (najniższa część karbonu dolnego) (Kotowski, Ratajczak, 2010).

Wychodnia skalna, w której zaobserwowano uskok znajduje się na północny-zachód od kamieniołomu wapienia w Czatkowicach, na granicy wsi Czatkowice/Czerna (fot. 4).

Analizowany uskok znajduje się po prawej stronie drogi, jadąc od Krzeszowic w kierunku Czernej. W oddaleniu około 30 m od szosy znajduje się wychodnia karbońskiego wapienia węglowego. Uskok widoczny jest w górnej części wychodni skalnej. W stosunku do poziomu ziemi zalega pod kątem około 30°, zaś do uławicenia skał pod kątem około 120° (fot. 5,6).

#### Skały towarzyszące węglom kamiennym (łupki węglowe) z KWK Pniówek

Materiał do badań pochodził z próby dostarczonej do IMG PAN z kopalni "Pniówek". Były to masy skalno-węglowe pobrane po wystąpieniu zjawiska gazodynamicznego z dnia 30.08.2010 r. w KWK "Pniówek", w drążonej pochylni wentylacyjnej V na poziomie 1000 m. Prawdopodobną przyczyną nagłego wypływu metanu w czole przodka pochylni wentylacyjnej, było odsłonięcie szczeliny uskokowej Uskoku Krzyżowickiego I, wypełnionej węglem i bardzo słabo zwięzłą masą skalną, charakteryzującą się wyraźnymi zlustrowanymi płaszczyznami. Miejsce to znajduje się w bliskim sąsiedztwie pokładu 404/4 + 405/1, który w tej części złoża został zaliczony do zagrożonych wyrzutami metanu i skał. W efekcie tego zjawiska



Fot. 4. Wychodnia wapieni karbońskich na granicy miejscowości Czerna i Czatkowice



Fot. 5, 6. Uskok zlokalizowany w wapieniu węglowym w okolicach Czernej/Czatkowic

55

stwierdzono występowanie pryzmy kamienno-węglowej, na odcinku ok. 7,5 m, licząc od czoła przodka, prawdopodobnie przemieszczonej grawitacyjnie ze szczeliny uskokowej (Opracowanie GIG, 2010; **INFORMACJA Nr 63/2010/EW, WUG, 2010**). Próbki dostarczone do analiz składały się z dwóch worków materiału o masie około 4 kg każdy. W jednym z nich znajdował się materiał pobrany z usypiska zalegającego w pochylni wentylacyjnej V poziom 1000 m. W drugim worku obecny był węgiel pochodzący z odsłoniętych, połączonych pokładów 404/4 i 405/1. Analizowane skały pochodziły z usypiska skalno-węglowego. Na fotografii nr 7 przedstawiono miejsce występowania uskoku, czyli rejon zaistnienia wypływu metanu i usypania mas kamienno-węglowych.



Fot. 7. Widok na czoło wyłomu po wybraniu mas kamienno-węglowych (widoczny strop pokładu 404/4+405/1, szczelina Uskoku Krzyżowickiego I) (wg opracowania GIG, 2316/2010)

# 2.2. Metodyka pobierania i przygotowanie próbek do badań

Ze skał przyuskokowych Żegociny i Czernej/Czatkowic pobrano zorientowane względem powierzchni ziemi i uskoku próbki. Ich wielkość wynosiła od 1 do kilku dm<sup>3</sup>.

Opróbowanie skał żegocińskiej formacji fliszowej wykonano wg schematu przedstawionego na rysunku 1a. Pobrano łącznie 9 próbek, z czego do dalszych badań wytypowano 6 (przed uskokiem – uskok – za uskokiem). Piaskowce ponumerowano następująco: 110/1, 110/2, 110/3; a margle posiadają numery: 110/6, 110/5, 110/4. Schemat pobierania próbek wapieni czatkowickich (ponumerowanych: 111/1, 111/3, 111/3) przedstawiono na rysunku 1.

Skały pochodzące z pokładu węgla w kopalni Pniówek pobrano z usypanych po wypływie metanu mas skalno-węglowych, usytuowanych w pobliżu Uskoku Krzyżowickiego. Dokonano analizy trzech próbek skalnych (tzw. łupków węglowych) oraz jednego karbominerytu (Gabzdyl, 1987). Pobranym próbkom nadano numery: 103/10/1; 103/10/2, 103/10/3, zaś fragment karbominerytu oznaczono nr 103/11.

Po dokonaniu opisu makroskopowego skał wykonano z nich zgłady o polu powierzchni nie mniejszym niż 3 cm<sup>2</sup>, zatopione w substancji fluorescencyjnej (Epodye-Struers) oraz szlify cienkie impregnowane barwnikiem. Do analiz zastosowano mikroskop polaryzacyjny AXIOPLAN firmy ZEISS oraz sterowany komputerowo stolik mechaniczny XYZ. Obraz spod mikroskopu optycznego przekazywany był za pomocą kamery CCD na monitor. Stosowano powiększenia 50-500×, co jest zgodne z PN-ISO 7404-3: 2001dotyczącą petrograficznych analiz węgla kamiennego.

Na podstawie szlifów cienkich dokonano opisu petrograficznego skał. Barwnik, którym je impregnowano pozwolił na zaobserwowanie szczelin powstałych w skałach i węglu.

Zgłady analizowano w świetle odbitym, głównie we fluorescencji. Klej fluorescencyjny wypełniający spękania skalne i węglowe umożliwił lepszą detekcję szczelin. W świetle ultrafioletowym skały charakteryzowały się ciemnoszarym, niekiedy brunatnym zabarwieniem, węgiel natomiast był niemal całkowicie czarny. Szczeliny, wypełnione klejem, świeciły jaskrawozielonym światłem. Na tej podstawie wykonano mikroskopową punktową analizę ilościową. Badania wykonano na wypolerowanej powierzchni zgładu, analizując 1500 punkty, wyznaczone na przecięciu krzyża nitkowego umieszczonego w okularze, przesuwając stolik pomiarowy o określoną odległość, tak aby pokryć cały zgład równomierną siatką punktów. Analiza ta wykazała zmienność procentową spękań przed, przy i za uskokiem. W skałach towarzyszących węglom kamiennym z KWK Pniówek badanie to pozwoliło oszacować proporcję zawartości spękań w części próbki zbudowanej z substancji mineralnej, w stosunku do fragmentów zbudowanych z macerałów węgla kamiennego.

Na podstawie fotografii wykonanych w świetle fluorescencyjnym dokonano automatycznej analizy obrazu, w celu skonstruowania tzw. róży priorytetowych kierunków spękań. Przy pobieraniu próbek skalnych odniesiono się do ich orientacji przestrzennej w stosunku do poziomu terenu oraz powierzchni uskokowej, co pozwoliło stwierdzać czy i jak układają się spękania skalne w warunkach przyuskokowych.

Praca poparta jest licznymi fotografiami makro- i mikroskopowymi dokumentującymi poszczególne etapy badań oraz przedstawiającymi efekty badań.

# 3. Wyniki badań

# 3.1. Opis petrograficzny skał

#### Skały pochodzące ze strefy przyuskokowej w Żegocinie:

piaskowce wapniste/wapienie zapiaszczone

Pośród skał odsłaniających się w żegocińskim kamieniołomie dominującą grupą są piaskowce (fot. 1, 2, 3; rys. 1).

Pobrane do badań próbki cechują się szaro-kremową, niekiedy rudawą barwą. Miejscami poprzerastane są jaśniejszymi żyłkami zbudowanymi z CaCO<sub>3</sub> (kalcytu). W utworach tych wyraźnie dostrzegalna jest laminacja pozioma, zgodna z uławiceniem warstw.

Mikroskopowe badania wykazały, że są to skały drobnoziarniste o lekko kierunkowej, zbitej teksturze. W swoim składzie mineralnym, obok ziarn kwarcu i fragmentów skał, pojawia się znaczna ilość substancji węglanowej, stąd piaskowce te przechodzą miejscami w węglany zapiaszczone.

Dominującymi składnikami budującymi szkielet ziarnowy tych osadów są ziarna detrytycznego kwarcu (fot. 8). Występują jako drobne, średnio i dobrze obtoczone osobniki. W osadach klastycznych warstw grodziskich pojawiają się również okruchy różnorodnych fragmentów skał wulkanicznych.

W skałach występuje znaczna domieszka ziarnistych węglanów. Są to m.in. mikrytowe intraklasty odznaczające się rdzawobrunatną barwą. Zaznaczają swoją obecność jako fragmenty rozdrobnionego osadu o kształtach nieregularnych lub obtoczonych. W osadach pojawiają się także bioklasty (fot. 9) oraz domieszka minerału ilastego o żywej, zielonej barwie – glaukonitu (fot. 10).

Obok składników allogenicznych, w skałach występuje znaczna zawartość autigenicznych, dobrze wykrystalizowanych węglanów (fot. 9).

Skały te, z uwagi na bliskość uskoku posiadają zwiększoną ilość spękań (fot. 11).



Rys. 1. Schematyczny szkic formacji przeciętych uskokami, wraz z miejscem pobrania prób do badań



Fot. 8. Piaskowiec wapnisty z formacji piaskowców grodziskich. W szkielecie ziarnowym dominuje kwarc, ponadto pojawiają się obtoczone fragmenty skał wulkanicznych, węglanowe spoiwo typu cement. NX, pow. 100×



Fot. 9. Fragment wkładki węglanowej w piaskowcu wapnistym. Węglan, głównie kalcyt wykształcony jest w formie sparytu. W skale pojawiają się bioklasty. NX, pow. 100×



Fot. 10. Piaskowiec wapnisty, w którym widoczne są owalne ooidy, intraklasty. Ponadto w spoiwie tkwią fragmenty zielonego minerału ilastego – glaukonitu (zaznaczone strzałką). 1N, pow. 100×



Fot. 11. Piaskowiec wapnisty spękany. Szczelina wypełniona jest niebieskim barwnikiem (zaznaczona strzałką). 1N, pow. 100×

#### • margle piaszczyste

Skały margliste, występujące z kamieniołomie w Żegocinie, stanowią wkładki pośród piaskowców i łupków (fot. 1, 2, 3; rys. 1). Są to osady pochodzenia chemicznego. Powstają w zbiornikach wodnych, w skutek nagromadzenia dużych ilości CaCO<sub>3</sub> z domieszką minerałów ilastych.

Analizowane próbki charakteryzują się kremową, kremowo-szarą barwą, przerastają je kalcytowe żyłki. Posiadają skośną laminację i wyraźną oddzielność łupkową.

Dominującymi składnikami skał marglistych są węglany, wykształcone zwykle w postaci mikrosparytu (fot. 12, 13). Pojawiają się także sparytowe kryształy węglanowe (fot. 14).

W analizowanym osadzie występuje także nieidentyfikowalna metodami optycznymi, mineralna substancja ilasta. Pojawiają się także skupienia, w których znaczącą rolę odgrywają ziarna dobrze i średnio obtoczonego kwarcu. (fot. 13, 14).

Ze względu na znaczną domieszkę detrytycznego kwarcu, zgodnie z klasyfikacją skał osadowych (Smulikowski, 1954) osady te zaliczono do margli piaszczystych. Miejscami w skałach pojawiają się laminy piaskowca wapnistego (fot. 14). Widoczne są w nich także spękania związane ze zuskokowaniem analizowanej wychodni skalnej. (fot. 15)



Fot. 12. Skała marglista, w której widoczne są drobne, mikrosparytowe węglany. NX, pow. 100×



Fot. 13. Skała marglista, piaszczysta., w której widoczna jest laminacja pozioma. Obok materiału węglanowego obecna jest znaczna domieszka materiału detrytycznego – kwarcowego. NX, pow. 200×



Fot. 14. Fragment margla piaszczystego, z widoczną żyłą sparytowego węglanu piaszczystego. NX, pow. 200×



Fot. 15. Spękanie w marglu, wypełnione niebieskim barwnikiem (zaznaczone strzałką). 1N, pow. 100×

#### Skały pochodzące z odsłonięcia wapieni okolic Czatkowic/Czernej

Węglany występujące w odsłaniającej się wychodni skalnej posiadają szarą barwę (fot. 4, 5, 6; rys. 1). Są to wapienie mikrytowe, o bezładnej i zbitej teksturze. Miejscami w masie mikrytowej widoczne są sparytowe żyłki kalcytowe a także ziarna ooidowe.

Są to wapienie organodetrytyczne. W obrazie mikroskopowym widoczne są w nich składniki ziarniste, zwykle zmikrytyzowane, takie jak: ooidy, intraklasty, pelety (fot. 16, 17, 19). Dużą grupą składników ziarnowych stanowiących budulec skał są szczątki organiczne (tzw. bioklasty) (fot. 17, 19). Ziarniste składniki skał spojone są niekiedy sparytowymi kryształami autigenicznych węglanów oraz poprzecinane żyłkami kalcytowymi (fot. 18)

Miejscami proces rekrystalizacji we wtórny mikryt jest tak zaawansowany, że zaciera pierwotną ziarnistą strukturę tych skał. Ze względu na to, że analizowane wapienie pochodzą ze strefy przyuskokowej, wykazują także większą niż typowa zawartość spękań i szczelin (fot. 19).





Fot. 16. Wapień organodetrytyczny. W skale widoczne są liczne składniki ziarniste węglanowe, zwykle zmikrytyzowane, ponadto występują spartytowe autigerniczne węglany. NX, pow. 100×

Fot. 17. Wapień, w którym widoczne są zmikrytyzowane składniki ziarniste węglanowe oraz bioklasty. NX, pow. 100×



Fot. 18. Zmikrytyzowany wapień z żyłkami sparytowymi. NX, pow.  $100\times$ 



Fot. 19. Wapień z widocznymi węglanami ziarnistymi oraz ze szczeliną wypełnioną barwnikiem (zaznaczone strzałką). 1N, pow. 100×

#### Skały towarzyszące węglom kamiennym z KWK "Pniówek"

Próbki pobrane z usypiska mas skalno-węglowych powstałych po wypływie metanu w KWK "Pniówek" zawierały, poza substancją mineralną, znaczną domieszkę węgla. Posiadają ciemnoszare, prawie czarne zabarwienie, cechują się zazwyczaj oddzielnością łupkową.

Trzy próbki skalne poddano analizom przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego do światłą przechodzącego:

#### • Próbki nr 103/10/1 i 103/10/2

W skałach tych zaznacza się wyraźna, równoległa laminacja, podkreślona wkładkami węgla kamiennego (fot. 20, 23). Osady te zawierają głównie minerały ilaste (widoczny bywa kaolinit (fot. 21)), mikrosparytowe, a niekiedy i sparytowe węglany (fot. 22), drobne blaszki miki (tzw. hydromika) oraz ziarna kwarcu (fot. 22). Pojawiają się liczne spękania (fot. 23). Skały te zaliczono do grupy iłowców marglistych, zapiaszczonych.



Fot. 20. Laminacja równoległa w łupku ilastym, marglistym. 1N, pow.  $50\times$ 



Fot. 21. Kaolinit tkwiący w ilasto-węglanowej drobnoziarnistej masie skalnej. W osadzie widoczne są również ciemne laminy węgla. NX, pow. 200×



Fot. 22. Iłowiec marglisty, z żyłkami kalcytowymi i kwarcowymi. NX, pow. 200×



Fot. 23. Iłowiec marglisty z widocznymi laminami węgla oraz ze spękaniami, które wtórnie wypełniono niebieskim barwnikiem (zaznaczone strzałką). NX, pow. 200×

#### • Próbka 103/10/3

Skała ta znacząco różni się strukturą i składem mineralnym od dwóch wyżej charakteryzowanych. Występują w niej mikrosfałdowania, widoczne szczególnie w miejscach występowania lamin węgla (fot. 24, 25). Skała, poza znaczną zawartością procentową węgla kamiennego, zawiera minerały ilaste. Zidentyfikowano skupienia kaolinitowe (fot. 25). Występują w niej strefy silniej spękane (fot. 24). Ze względu ma znaczną zawartość substancji węglowej jest to węglowy łupek ilasty.





Fot. 24. Łupek ilasty z powyginanymi laminami węgla, miejscami spękany (żyłki wypełnione barwnikiem – zaznaczone strzałkami). 1N, pow. 50×

Fot. 25. Łupek ilasty zbudowany z ciemnoszarych minerałów ilastych (m.in. kaolinit), widoczne są również pofałdowane laminy węgla. NX, pow. 200×

# 3.1. Wyniki analizy ilościowej

Analizy ilościowe skał przyuskokowych zostały wykonane przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego do światła odbitego przy zastosowaniu fluorescencji. Objęły 1500 punktów pomiarowych dla każdej próbki. Stosowano powiększenie 100×.

# Skały przyuskokowe Żegociny i Czernej/Czatkowic

Na podstawie analizy ilościowej skonstruowano wykres rozkładu procentowego spękań obecnych w skałach w stosunku od odległości od szczeliny uskokowej. Wyniki tych analiz przedstawiono w tabeli 1.

Analizowana skała	Piaskowiec wapnisty			Margiel			Wapień węglowy		
Numer próbki	110/1/1	110/2/1	110/3/1	110/6/1	110/5/1	110/4/1	101/1/1	101/2/1	101/3/1
Udział spękań [% obj.]	2,77	2,13	1,92	0,97	7,87	3,88	3,6	4,6	2,7

Tab. 1. Wyniki punktowej analizy ilościowej spękań skał przyuskokowych

Na wykresie (rys. 2) przedstawiono schematyczny diagram rozkładu zawartości procentowej spękań trzech typów skał, występujących przy i w miejscu płaszczyzny uskoku. Największą różnicę w ilości spękań, w miarę zbliżania się do powierzchni uskokowej, zaobserwowano w skale marglistej z Żegociny, nieco mniejsza różnica wystąpiła w wapieniu z Czernej/ Czatkowic. W obu tych osadach największą ilość szczelin i spękań zliczono w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku. W piaskowcu z Żegociny nastąpił wzrost ilości spękań przed uskokiem z prawej strony, na uskoku ta wartość nieco zmalała, a po lewej jego stronie zaczęła wyraźnie spadać (rys. 2).



Rys. 2. Schematyczny szklic zmienności gęstości spękań w strefach przyuskokowych w różnych typach skał

#### Skały przyuskokowe z KWK Pniówek

Ze względu na to, że skały towarzyszące węglom kamiennym z KWK Pniówek zostały pobrane z mas skalno-węglowych, nie było możliwości oszacowania miejsca ich występowania względem zlokalizowanego w ociosie uskoku. Dokonano jednak zliczenia spękań w materiale mineralnym oraz w laminach węglowych zawartych w tych skałach. Wyniki tych analiz przedstawia tabela 2 oraz rysunek nr 3.

Skały towarzyszące węglom kamiennym	103/10/1/1	103/10/2/1	103/10/3/1	103/11
Procentowy udział substancji mineralnej	93,12	92,05	91,93	48,34
Procentowy udział spękań w substancji mineralnej	0,76	2,00	1,25	0,51
Procentowy udział węgla	5,55	5,08	6,43	47,75
Procentowy udział spękań w węglu	0,57	0,87	0,39	3,40

Tab. 2. Zawartość spękań w skałach i węglu obecnym w laminach tych osadów [% obj.]

Z przedstawionych rezultatów badań wynika, że skały generalnie zachowują mniej zmienioną pierwotną strukturę i słabiej ulegają zewnętrznym naciskom związanym z zaburzeniami tektonicznymi, co przekłada się na ilość spękań w strefach przyuskokowych.

Węgiel jako materiał słabszy, bardziej kruchy, łatwiej ulega zniszczeniu, a sieć spękań w nim zawarta jest bardziej gęsta. Spękania przebiegają często przez fragment węgla i zanikają w materiale mineralnym. W wielu przypadkach nie mają więc kontynuacji w przyległych skałach (fot. 26, 27). Taka zależność występowała we wszystkich próbkach skał przywęgłowych.

Węgiel pęka 5-10-cio krotnie mocniej niż skała, co zostało przedstawione na wykresie (rys. 4).

# 3.2. Automatyczna analiza obrazu – wyznaczenie priorytetowych kierunków spękań

Do wyznaczania róży kierunków wykorzystano algorytm zaproponowany w pracy Młynarczuka (2007). Z obrazu fluorescencyjnego wybrano do dalszych przekształceń składową G modelu barw RGB (zielona). Składową poddano binaryzacji i filtracji (otwarcie przez rekonstrukcje okręgiem o rozmiarze 2 piksele) a następnie wyznaczono dla niej gradient przez erozję. Takie postępowanie prowadzi do tego, że w analizie mierzy się ukierunkowanie obwodów nieciągłości, ignorując ich szerokość. Na otrzymanym w wyniku binaryzacji obrazie przeprowadzono serię 180 erozji elementami strukturalnymi w postaci odcinków ukierunkowanych w przedziale [-10..170] stopni. Prowadziło to do wyznaczenia dla każdego obrazu



Rys. 3. Kształtowanie się procentowej zawartości spękań w skałach i węglu obecnym w tych skałach



Fot. 26, 27. Próbki karbominerytu, z widocznymi spękaniami (gł. na węglu). Część skalna próbki jest słabo pocięta spękaniami, natomiast węgiel przecinają liczne szczeliny. Fluorescencja, pow. 200×

wejściowego 180 obrazów, będących wynikami cząstkowymi. Do ilościowego opisania tych wyników użyty został parametr *objętości obrazu*. Jest on zdefiniowany jako suma wszystkich poziomów szarości na analizowanym obrazie. Dla wyznaczenia róży kierunków pogrupowano otrzymane rezultaty w 9 przedziałów, każdy zawierał po 20 rezultatów otrzymanych dla kolejnych kierunków elementu strukturalnego. W przedziałach tych zsumowano objętości obrazów przypadające na owe przedziały. Otrzymane w ten sposób róże kierunków przedstawiono na rysunku 5.

Proponowana metodyka postępowania powoduje, że gdy na obrazie binarnym obwodów nieciągłości przeprowadza się erozję elementem strukturalnym w postaci odcinka o długości d i ukierunkowanym w kierunku  $\alpha$  to wyznaczanym parametrem jest prawdopodobieństwo, że odcinek o długości d i kierunku  $\alpha$  pokrywa się na całej swojej długości z fragmentem obwodu jakiejkolwiek nieciągłości zidentyfikowanej na tym obrazie.



Rys. 4. Zawartość procentowa spękań w skale i węglu

Analizy kierunków spękań wykazały (rys. 5), że w przypadku każdej analizowanej skały istnieje określona kierunkowość pękania względem uskoku. W przypadku skał marglistych analiza okazała się najbardziej wiarygodna. W skałach tych spękania układają się niemal prostopadle do płaszczyzny uskokowej.

Ze skonstruowanych róży kierunku wynika, że piaskowce i wapienie wykazują nieco większą nieregularność spękań. Aby jednak potwierdzić takie przypuszczenia należy wprowadzić większą ilość danych pomiarowych.

### Wnioski

W pracy zaprezentowano badania mające na celu analizę zmian struktury skalnej w funkcji odległości od zaburzenia tektonicznego. Wykazano, że analiza stereologiczna jest optymalnym narzędziem do ilościowego opisu przyrostu spękań w skałach wraz ze zbliżaniem się do zaburzenia tektonicznego. Wszystkie badane skały charakteryzowały się znacznym wzrostem udziału objętościowego spękań w rejonie uskoku. Z tym, że najistotniejszy ich wzrost miał miejsce w marglach, potem w wapieniach i piaskowcach (patrz rys. 3). Jest to najprawdopodobniej związane z parametrami wytrzymałościowymi tych skał. Tłumaczy to też, że stopień odmienienia struktury węgla przy uskokach jest dużo większy niż w badanych skałach (patrz Wierzbicki i Młynarczuk 2006).

W pracy wykazano, że w strefach przyuskokowych skały lepiej zachowują pierwotną strukturę i słabiej ulegają zewnętrznym naciskom związanym z zaburzeniami tektonicznymi, niż ma to miejsce w przypadku węgla kamiennego. Przekłada się to na ilość pęknięć i szczelin w nich obecnych. Obserwacje materiału pobranego z kopalni wykazały, że spękania na węglu są 5 razy gęstsze niż ma to miejsce w przypadku skał.

Prezentowane w pracy badania, które prowadzono na odsłonięciach skalnych są wstępem do podobnych badań, które mają być wykonywane na skałach towarzyszących pokładom węgla, pobranych z rejonów zaburzeń tektonicznych. Badania te prowadzone będą pod kątem analizy mikrospękań skał, jako parametru dającego informacje o zbliżającym się zaburzeniu tektonicznym.

Praca została wykonana w roku 2010 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



#### Literatura

Gabzdyl W., 1987: Petrografia węgla. Skrypty Polit. Śląskiej nr 1184,1337, Gliwice.

- INFORMACJA Nr 63/2010/EW, 2010: W sprawie nagłego wypływu metanu, zaistniałego w dniu 30.08.2010 r. o godzinie 1612 w JSW S.A. KWK "Pniówek" w Pawłowicach, w drążonej pochylni wentylacyjnej V na poziomie 1000 oddział G-32 PRG "ROW" Sp. z o.o. w Jastrzębiu-Zdroju, 2010.
- Kotowski C. Ratajczak T.,: 2010 Karbońskie wapienie z Czatkowic ich charakter surowcowy a możliwości wykorzystania. Górnictwo i Geoinżynieria, 34, Zeszyt 4.
- Młynarczuk M, 2007: *Badania in-situ śladów spękań przy wykorzystaniu analizy obrazu i profilometrii laserowej.* (w:) Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej (76), Seria Konferencje (42): Geotechnika w budownictwie i górnictwie, materiały XXX ZSMG, s. 469-476.
- Młynarczuk M, Wierzbicki M, 2009: Stereological and profilometry methods in detection of structural deformations in coal samples collected from the rock and outburst zone in the "Zofiówka" Colliery, Arch. Min. Sci., vol. 54, no 2, p. 189-201.
- Opracowanie dot. sprawdzenia rozwiązań technicznych zastosowanych w kopalni przy projektowaniu i drążeniu pochylni wentylacyjnej V poz. 1000 w zakresie obejmującym współwystępujące zagrożenie metanowe i zagrożenie wyrzutami metanu i skał przez jednostkę upoważnioną przez Prezesa WUG do wykonania zadań rzeczoznawcy ds. ruchu zakładu górniczego, GIG, 2316/2010.
- Słomka T., Kicińska-Świderska A., Doktor M., Joniec A., 2006: Katalog Obiektów Geoturystycznych w Polsce. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
- Wierzbicki M., Młynarczuk M., 2006: Microscopic analysis of structure of coal samples collected after an gas and coal outbursts in the gallery D-6, coal seam 409/4 in the "Zofiówka" coal mine (Upper Silesian Coal Basin), Arch. Min. Sci., vol. 51, No 4, p. 577-588.

#### Description of the degree of deformaiton of a rock structure using stereology and the image analysis approach

#### Abstract

Tectonic movements give rise to fracturing of the rock strata, as the result rock masses are displaced along newly-formed surfaces, forming so called faulted, or geologically disturbed, zones. In those zones structural deformations tend to appear, sometimes visible in the macro-scale, otherwise seen only in the micro-scale, under microscopes of various types. Testing was done on thus modified rock features in the geologically disturbed regions. Rock specimens were collected in the areas where tectonic faults were registered. These rock features include sandstone of the Carpatian flysch, limestone in the Jurassic features and rocks accompanying the hard coals in the colliery Pniówek (Poland). Testing was done on polished sections and thin profiles, analysed using a polarisation microscope in the reflected and passing light. The applied enlargement was 50-500×, combined with oil immersion and fluorescent methods. Stereological analyses were performed by the standard quantitative methods as well as the automatic image processing techniques. The research program helped develop the method of quantitative description of rock deformations in tectonically disturbed regions. It was found out that rocks in the disturbed regions exhibit more fracturing than rocks in more distant regions.

Keywords: faults, structural deformation, fracturing, stereological analysis, fluorescence