

Robert KLISOWSKI, Zdzisław IWULSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków

Badania przed- i pokrytycznych właściwości próbek węgla kamiennego

Streszczenie

Artykuł przedstawia wybrane wyniki badań właściwości przed- i pokrytycznych próbek węgla kamiennego. Przeanalizowano przebieg obciążania próbek w etapie przedkrytycznym z uwzględnieniem zależności właściwości odkształceniowych i wytrzymałościowych. Zastosowane różne tryby sterowania obciążaniem obrazują dynamikę pęknięcia węgla w etapie przed- i pokrytycznym. Porównano również całkowitą energię dostarczaną do próbki oraz energię zużywaną na odkształcenia trwałe w fazie pokrytycznej.

1. Wprowadzenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań jednoosiowego ściskania węgla kamiennego z jednego z pokładów tąpjących grupy 500 z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przeanalizowane zostało zachowanie próbek walcowych o średnicy 55 mm i smukłości (rozumianej jako iloraz wysokości do średnicy próbki) $\lambda = 1$ w etapie przedkrytycznym i pokrytycznym oraz omówiono metodykę badań, wykonanych na maszynie wytrzymałościowej MTS 815.

Jednym z warunków wystąpienia tąpnięcia jest zdolność pokładu węgla do nagłej utraty podporności objawiająca się jego eksplozywnym niszczeniem. Zjawisko takie może wystąpić, gdy istnieje nadwyżka energii sprężystej zmagazynowanej w pokładzie oraz przekazywanej z warstw otaczających, która nie zostanie zużyta na zniszczenie jego struktury w sposób quasi statyczny. Jako miarę skłonności węgla do gwałtownej dezintegracji jego struktury wewnętrznej po przekroczeniu krytycznych naprężeń ściskających przyjmuje się nachylenie pokrytycznej części charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej – czyli tzw. moduł pozniszczeniowy lub sprężysto-kruchy. Moduł ten jest jednym z elementów wpływających na zagrożenie tąpnięciami układu pokład – górotwór.

Im mniejsze nachylenie charakterystyki, tym większa ilość energii sprężystej zmagazynowanej w jednostce objętości skały jest zużywana na tworzenie w skale nowych lub propagację istniejących defektów, a co za tym idzie – mniejsza jej część może wyzwolić się dynamicznie. Łatwo jest udowodnić, że zachowanie takie nie zależy jedynie od rodzaju badanego materiału, ale ma na nie wpływ jeszcze kilka czynników, takich jak: wilgotność, kształt i wielkość badanych próbek, tarcie na kontakcie próbki z płytami maszyny wytrzymałościowej, prędkość obciążania czy też tryb sterowania w fazie pokrytycznej.

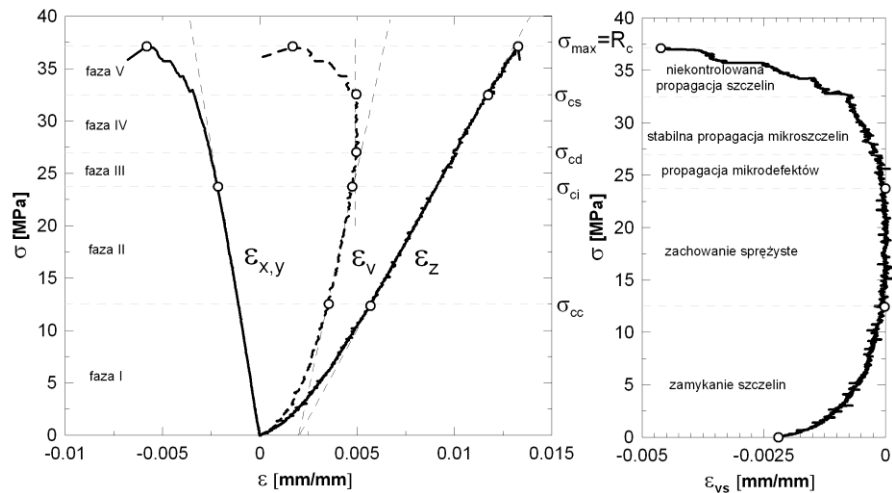
2. Etap przedkrytyczny

Jak wiadomo, proces niszczenia struktury skalnej nie rozpoczyna się w momencie osiągnięcia naprężeń odpowiadających wytrzymałości na ściskanie, lecz znacznie wcześniej, już w początkowym etapie obciążania. Dzieje się to na skutek istnienia w skałach defektów w postaci szczelin, porów, wokół których pojawiają się koncentracje naprężeń znacznie większe od naprężenia średniego działającego na próbkę. Prowadzi to do propagacji i łączenia się sąsiednich szczelin. Przebiegające w ten sposób niszczenie struktury wewnętrznej nie pozostaje bez wpływu na zachowanie próbki w etapie pokrytycznym i kształt charakterystyki pozniszczeniowej.

W celu dokładnego opisu zachowania próbek w części przedkrytycznej używa się pojęcia faz deformacji przedkrytycznej (Hallbauer i in. 1973). Są to:

- faza odkształceń nieliniowych (I),
- faza odkształceń liniowych (II),
- faza pęknięcia inicjalnego (III),
- faza pęknięcia stabilnego (IV),
- faza pęknięcia niestabilnego (V).

Wymienione fazy deformacji przedkrytycznej próbki węgla o smukłości 1, obciążanego ze stałą prędkością odkształceń podłużnych $3 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ zostały przedstawione na rys. 1.1. Na rysunku tym zaznaczono również granice wymienionych faz deformacji przedkrytycznej. Jeżeli od wielkości odkształceń objętościowych mierzonych na próbce ε_v , odjąć odkształcenia objętościowe sprężyste ε_{vspr} obliczone na podstawie modułu Younga i współczynnika Poissona skały, wyznaczonych w fazie odkształceń liniowych, to dostaniemy względną zmianę objętości szczelin ε_{vs} w trakcie obciążania, którą można przedstawić w funkcji naprężeń tak jak na rysunku 1.1.

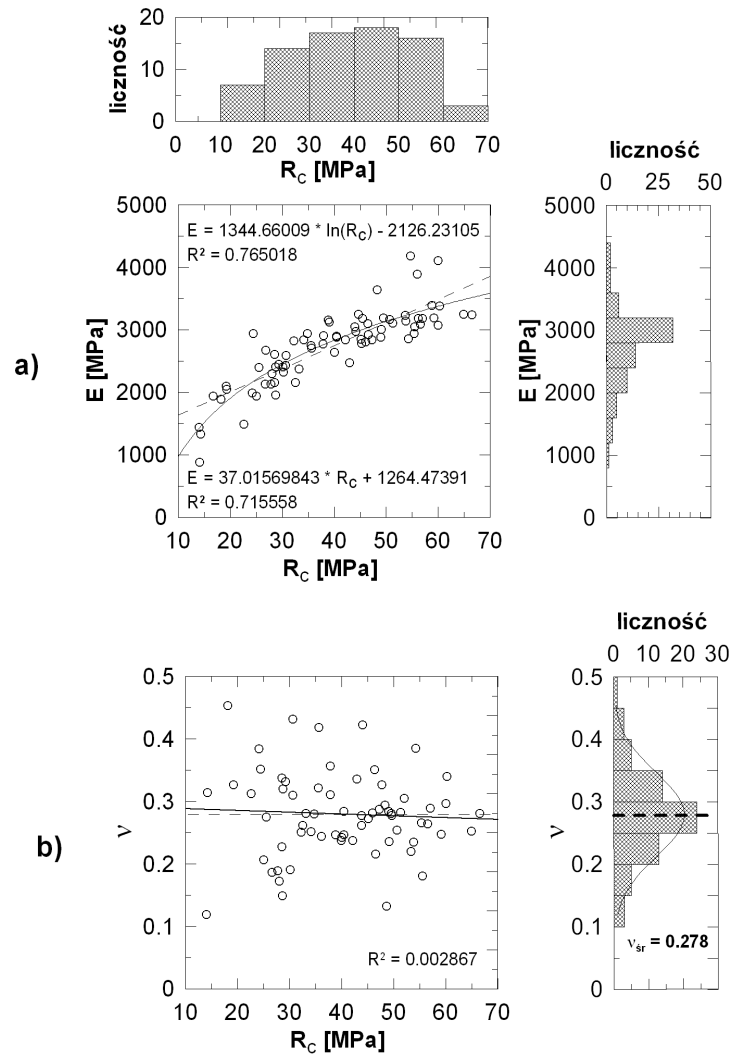


Rys. 1.1. Charakterystyki deformacyjne próbki węgla kamiennego z zaznaczonymi fazami oraz progami deformacji przedkrytycznej

Fig. 1.1. Deformational characteristics of coal with phases and thresholds of prefailure deformation

Istnienie w węglu pustych objętości pełniących rolę swoistych koncentratorów naprężenia objawia się już na początku obciążania w postaci nieliniowej odpowiedzi odkształceń podłużnych ε na zadawane naprężenia. W tej fazie (I) – zwanej fazą kompaktacji – następuje

zaciskanie szczelin (głównie ich wymiarów pionowych), aż do osiągnięcia naprężeń odpowiadających granicy kompaktacji (σ_{cc}). Po przekroczeniu tej granicy charakterystyka odkształceń osiowych ε_z zaczyna wykazywać właściwości sprężyste. Ponieważ zachowanie charakterystyki odkształceń poprzecznych badanych węgli od początku obciążania jest liniowe – po przekroczeniu granicy kompaktacji istnieje przedział naprężeń, w którym wszystkie charakterystyki mają przebieg liniowy. Dla tego przedziału obliczono wartości parametrów E i ν rozumianych jako stałe materiałowe (odkształcalności) węgla. Na rysunku 1.2. przedstawiono zależności modułu odkształcalności liniowej E i współczynnika Poissona ν od wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c .



Rys. 1.2. Zależności: a) modułu Younga oraz b) (brak zależności) współczynnika Poissona od wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie próbek węgla

Fig. 1.2. a) Correlation between Young modulus and uniaxial compression strength
b) no correlation between Poisson ratio and UCS of coal specimens

Jak wynika z rys. 1.2. istnieje znacząca ($R^2 = 0,715$) dodatnia zależność liniowa pomiędzy ich modułem Younga (E) a wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie (R_c). Próbki o większych wytrzymałościach charakteryzują się odpowiednio większymi wartościami modułu Younga E .

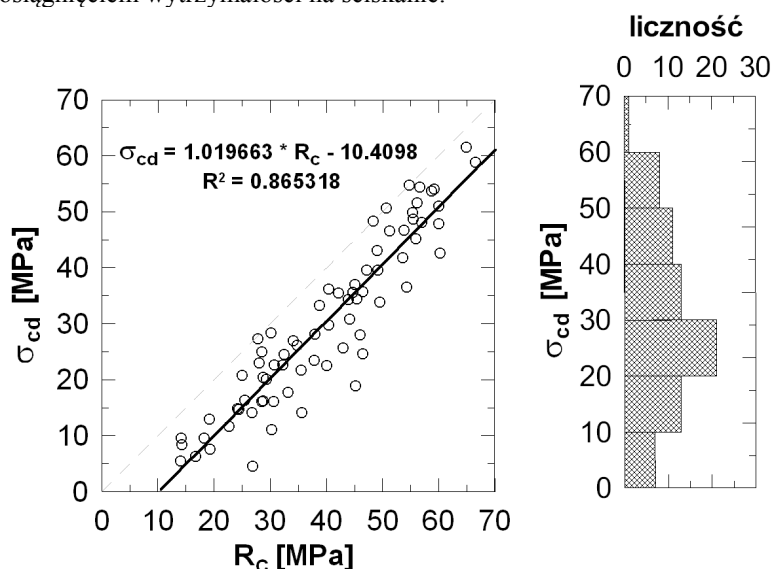
Nie stwierdzono natomiast związku liniowego pomiędzy współczynnikiem Poissona ν oraz wytrzymałością R_c . Wartości współczynnika Poissona oscylują wokół wartości średniej $\nu_{\text{sr}} = 0,278$, a ich rozkład podlega rozkładowi normalnemu.

Sprężysta odpowiedź odkształceń próbki na zadawane obciążenia kończy się po osiągnięciu naprężeń zwanych granicą mikrodyatacji (σ_{ci}). Jest to poziom naprężeń, przy którym wykres odkształceń obwodowych zaczyna wykazywać odchylenie od ścieżki sprężystej, co świadczy o początku procesu niszczenia struktury skalnej na skutek propagacji mikrodefektów.

Przedział naprężeń odpowiadający temu zjawisku – faza pęknięcia inicjalnego – można uznać za pierwszy etap niszczenia struktury wewnętrznej węgla. Od tej wartości naprężeń zaczynają też zwykle być słyszalne charakterystyczne pojedyncze trzaski obciążanej próbki węglowej.

Granica makrodyatacji (σ_{cd}) tj. poziom naprężeń odpowiadający maksymalnej wartości odkształceń objętościowych rozdziela fazę pęknięcia inicjalnego i pęknięcia stabilnego, w której teoretycznie proces dekohezji materiału skalnego przebiega nadal w sposób stabilny, lecz nieco bardziej intensywny niż poprzednio.

Zależność liniowa pomiędzy granicą makrodyatacji a wytrzymałością próbki na ściskanie jest bardzo silna, współczynnik korelacji wynosi tu $R^2 = 0,865$, co zostało przedstawione na rysunku 1.3. Z zależności tej wynika, że próg makrodyatacji pojawia się średnio ok. 10,41 MPa przed osiągnięciem wytrzymałości na ściskanie.



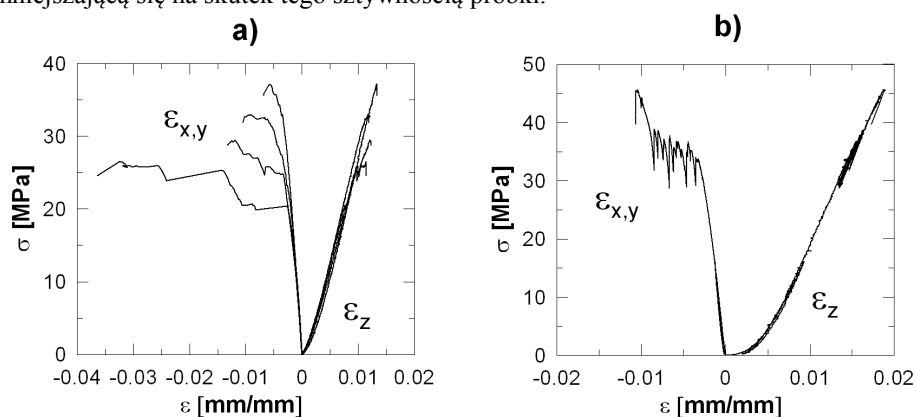
Rys. 1.3. Zależność granicy makrodyatacji od wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie próbek węgla
Fig. 1.3. Dependence of crack dilation threshold on UCS of coal

Oznacza to, że w przypadku jednych – słabych próbek, niszczenie struktury węgla rozpocząć się może na poziomie ok. 50% wytrzymałości, a w przypadku mocnych na poziomie powyżej 85%. Ma to związek ze skomplikowaną budową węgla i istnieniem licznych

powierzchni nieciągłości w badanej objętości. W przypadku próbek słabych, takie defekty uaktywniają się już przy małych siłach i determinują pojawienie się progu makrodylatacji. Próbki mocniejsze to takie, które są znacznie mniej spękane i bardziej jednorodne – w ich przypadku niezbędne jest dostarczenie próbce znacznie więcej energii sprężystej, aby zainicjować proces propagacji mikroszczelin.

Charakterystyka odkształceń osiowych pozostaje liniowa od zakończenia fazy kompaktacji aż do granicy zaawansowanego rozwoju pęknięcia (σ_{cs}), powyżej której rozpoczyna się faza pęknięcia niestabilnego. W większości przypadków, w badanym węglu faza niestabilnej propagacji szczelin rozpoczynała się zaraz po przekroczeniu progu makrodylatacji ($\sigma_{cd} = \sigma_{cs}$). W fazie tej maleje sztywność osiowa próbki, co przekłada się na odchylenie charakterystyki odkształceń podłużnych od ścieżki sprężystej. Jednak nie manifestuje się to tak intensywnie jak w przypadku odkształceń obwodowych, które wykazują skokowy wzrost. Stopień zniszczenia struktury skalnej osiąga poziom, który objawia się tworzeniem szczelin i uaktywnianiem naturalnych płaszczyzn osłabienia, co prowadzi do szybkiego osiągnięcia przez charakterystyki maksymalnej wartości na osi naprężeń, rozumianej jako wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c .

Na rysunku 1.4, obok typowych charakterystyk otrzymywanych w trybie sterowania stałą prędkością odkształceń podłużnych (rys. 1.4a), przedstawiono charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe próbki węgla obciążanej w trybie stałej prędkości odkształceń obwodowych (rys. 1.4b). Większa „czułość” ekstensometru obwodowego na proces niszczenia sugeruje, że w trakcie gwałtownego pęknięcia powierzchnie dekohezji przebiegają w kierunku zbliżonym do osi podłużnej próbki a nieliniowość odkształceń osiowych jest efektem wtórnym, związanym ze zmniejszającą się na skutek tego sztywnością próbki.

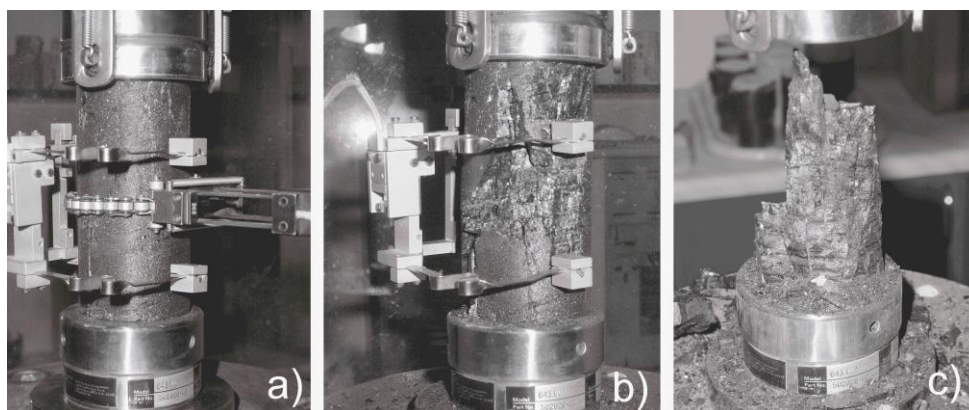


Rys. 1.4. Typowe charakterystyki deformacji przedkrytycznej dla próbek węgla o różnych wytrzymałościach: a) sterowanie stałą prędkością odkształcenia podłużnego, b) sterowane stałą prędkością odkształcenia obwodowego

Fig. 1.4. Typical characteristics of prefailure deformation for coal with different uniaxial compression strength loaded with: a) constant axial strain, b) constant circumferential strain

W przypadku próbek obciążanych ze stałą prędkością odkształceń osiowych gwałtowne pojawienie się pionowych spękań powoduje skokowy wzrost odkształceń obwodowych i praktycznie pozostaje bez wpływu na przebieg odkształceń podłużnych. Intensywność powstawania tych spękań dobrze widać w przypadku sterowania stałą prędkością odkształceń obwodowych,

gdzie pojawiające się przyspieszenia w kierunku obwodowym muszą być wyhamowywane proporcjonalnym do ich wielkości lokalnym odcieżeniem próbki. Niewielka wrażliwość sztywności osiowej na to zjawisko spowodowana jest faktem, że efekt gwałtownego pęknięcia ma tu charakter powierzchniowy.



Rys. 1.5. Próbkę węgla o smukłości 2 w maszynie wytrzymałościowej: a) w fazie odkształceń sprężystych z widocznym czujnikiem odkształceń podłużnych i łańcuchowym ekstensometrem obwodowym, b) po przekroczeniu granicy zaawansowanego pęknięcia oraz c) po eksplozywnym zniszczeniu
Fig. 1.5. Coal specimen with height to diameter ratio = 2 in load machine: a) in elastic phase of deformation with axial and circumferential chain extensometer, b) in unstable crack propagation phase and c) after failure (bump)

Na rysunku 1.5a przedstawiono ocujnikowaną próbkę o smukłości 2 w trakcie prowadzenia obciążania ze stałą prędkością odkształceń podłużnych. Po przekroczeniu progu zaawansowanego pęknięcia cienkie warstwy powierzchni bocznych próbki łuszczą się i odpajają dynamicznie. Gwałtowność tego procesu jest na tyle duża, że w tym trybie sterowania dochodzi często do spadnięcia z próbki czujnika obwodowego, tak jak to miało miejsce w przypadku przedstawionym na rys. 1.5b. Postępujący proces niszczenia prowadzi w dalszym etapie do gwałtownej dezintegracji struktury węgla i zniszczenia próbki (rys. 1.5c).

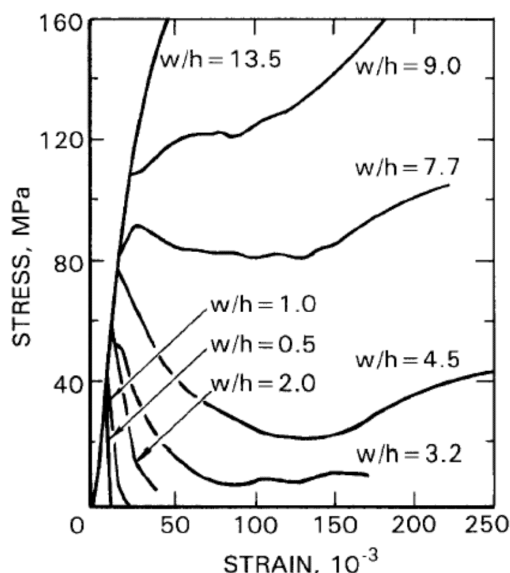
Zniszczenie to, szczególnie w przypadku mniejszych smukłości, następuje przez podział na pionowe fragmenty tzw. słupy (Parysiewicz 1967).

3. Etap pokrytyczny

Zjawisko niszczenia struktury próbki węglowej jest niezwykle dynamiczne. W próbie jednoosiowego ściskania, próbka, nawet w relatywnie sztywnej maszynie, często ulega całkowitej dezintegracji na skutek powstawania w niej spękań równoległych do kierunku obciążania, czyli tak zwanego pęknięcia rozdzielczego (axial splitting).

Takie zachowanie węgla wymusza konieczność zastosowania odpowiedniej metodyki badań, co nie pozostaje bez wpływu na przebieg niszczenia próbki w etapie pokrytycznym. Należy zdawać sobie sprawę z konsekwencji przyjętej metodyki, gdyż o gwałtowności przebiegu niszczenia próbki w etapie pokrytycznym, tak jak i przedkrytycznym, decydować może wiele czynników, takich jak prędkość obciążania, kształt, wielkość próbki oraz warunki kontaktu z płytami maszyny wytrzymałościowej. Na rysunku 2.1 przedstawiono przykładowo

wpływ smukłości na kształt charakterystyki pokrytycznej węgla otrzymanej przez Dasa (1986) dla próbek węgla o stosunku szerokości do wysokości (w/h) od 0,5 do 13,5.



Rys. 2.1. Wpływ smukłości próbki węgla na kształt charakterystyki pozniszczeniowej (Das 1986)
 Fig. 2.1. Influence of width to height ratio on postfailure deformation of coal (Das 1986)

Uwzględnienie wszystkich czynników wpływających na kształt charakterystyki pokrytycznej prowadzi do badań modelowych, co wydłużyłoby czas badań oraz ich koszt. Badania wykonywane w laboratoriach mają za zadanie w sposób względnie szybki dostarczyć informacji o badanym materiale. Należy jednak traktować uzyskane wyniki z należytą ostrożnością i świadomością, że stanowią odpowiedź badanego materiału na obciążanie w ściśle określonych warunkach eksperymentu.

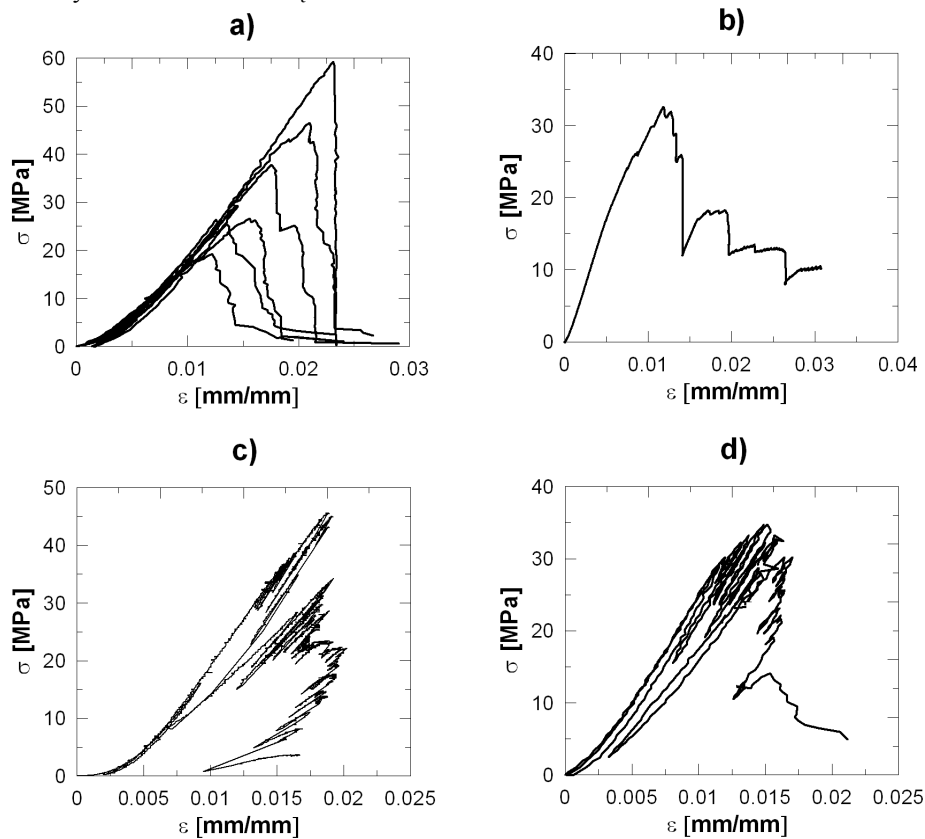
Badania omawianych węgli zostały wykonane na próbkach o średnicy ok. 55 mm i smukłości $h/d=1$. Zadana, stała prędkość odkształceń podłużnych na całej długości próbki, tak jak w fazie przedkrytycznej wynosiła $3 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Przykładowe charakterystyki próbek o różnych wytrzymałościach na jednoosiowe ściskanie otrzymane w tym trybie sterowania przedstawia rysunek 2.2a.

Na rysunku 2.2b przedstawiono również przykładowy wykres uzyskany w trybie sterowania stałą prędkością odkształcenia podłużnego na bazie 50 mm w centralnej części próbki o smukłości 2. Użycie czujnika odkształceń podłużnych zamontowanego na próbce, przedstawionego wcześniej na rysunku 1.5a pozwala na uzyskanie niekiedy charakterystyki z wyraźnym mechanizmem typu slip-stick. Odpryskujące dynamicznie powierzchnie próbki często jednak powodują spadnięcie ekstensometru osiowego z próbki, co znacznie ogranicza skuteczność takiego pomiaru oraz możliwości wykorzystania go jako sygnału sprzężenia zwrotnego.

Wychwycenie momentu gwałtownego pęknięcia i odpowiednie zareagowanie na ten proces możliwe jest w trybie sterowania stałą prędkością odkształcenia obwodowego. Jako sygnał sprzężenia zwrotnego używany jest tu czujnik odkształceń obwodowych. Przykładowe

wykresy pełnych charakterystyk dla dwóch próbek badanych węgla obciążanych ze stałą prędkością odkształceń obwodowych przedstawia rys. 2.2c oraz 2.2d. Ilustrują one znacznie pełniej proces pęknięcia próbek węgla w porównaniu z charakterystykami uzyskanymi w trybie sterowania stałą prędkością odkształceń osiowych.

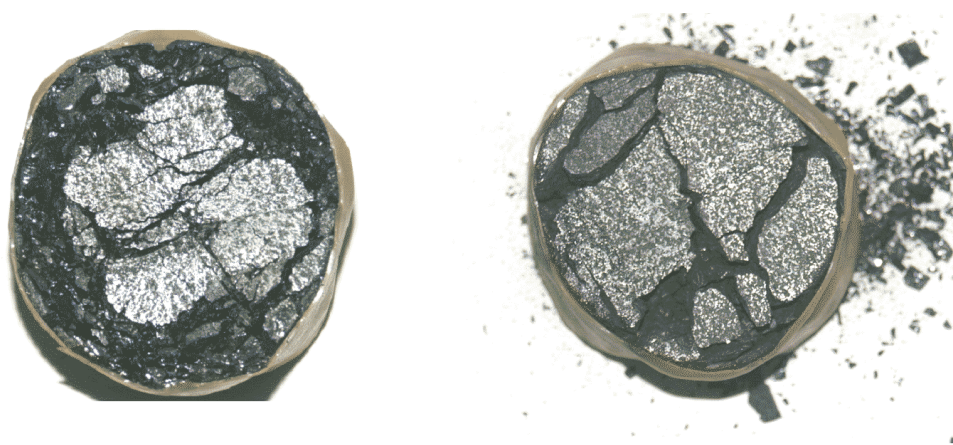
Na wykresach tych wyraźnie zaznaczają się momenty powstawania pęknięć próbki i towarzyszące temu sprężyste odciążenia konieczne do utrzymania zadanej stałej prędkości odkształceń obwodowych. Jak widać na rysunkach, czujnik obwodowy jest w przypadku węgla o wiele bardziej czuły na zmiany zachodzące w trakcie niszczenia próbki na etapie przed- i pokrytycznym. Ma to związek z mechanizmem niszczenia próbek poprzez tworzenie się w materiale pionowych spękań i podział próbki na wspomniane już pionowe fragmenty – tzw. axial splitting. Próbki węglowe obciążane w ten sposób wykazują również zachowanie klasy 2 wg Wawersika (1968). Dla takiego typu zachowań niezbędne jest cofanie przemieszczeń w celu utrzymania kontroli obciążania.



Rys. 2.2. Typowe charakterystyki węgla badanych a) ze stałą prędkością odkształceń podłużnych mierzonych na całej długości próbki o smukłości 1, b) ze stałą prędkością odkształceń podłużnych mierzonych na bazie 50 cm w centralnej części próbki o smukłości 2, c) i d) ze stałą prędkością odkształceń obwodowych – próbki o smukłości 1

Fig. 2.2. Typical characteristics of tested coal loaded in a) constant axial strain mode measured on full height of specimen $h/d = 1$, b) constant axial strain mode measured on base 50 mm length base on specimen with height to diameter ratio $h/d=2$, c) & d) constant circumferential strain mode and $h/d = 1$

W celu wytlumienia pękania i zapobiegnięciu spadnięcia czujnika obwodowego, próbki sterowane obwodowo włożone były w cienkie osłonki gumowe. Jest to dopuszczalne przez ISRM (Fairhurst, Hudson 1999) w przypadku łuszczenia się i odpryskiwania materiału z obciążanych próbek. Wstępna analiza wykazała również brak istotnego wpływu stosowanych osłonek wpływ na właściwości przedkrytyczne takie, jak moduł odkształcalności podłużnej E i poprzecznej ν . W fazie pokrytycznej zastosowanie osłonek nie zwiększa sztywności podłużnej próbki, jednak zapobiega rozpadaniu się fragmentów spękaną próbką, co może mieć wpływ na wartości wytrzymałości resztkowej. Zniszczone próbki węgla w osłonkach gumowych z widocznym rozpadem na wspomniane wcześniej mniejsze pionowe fragmenty przedstawia rysunek 2.3.



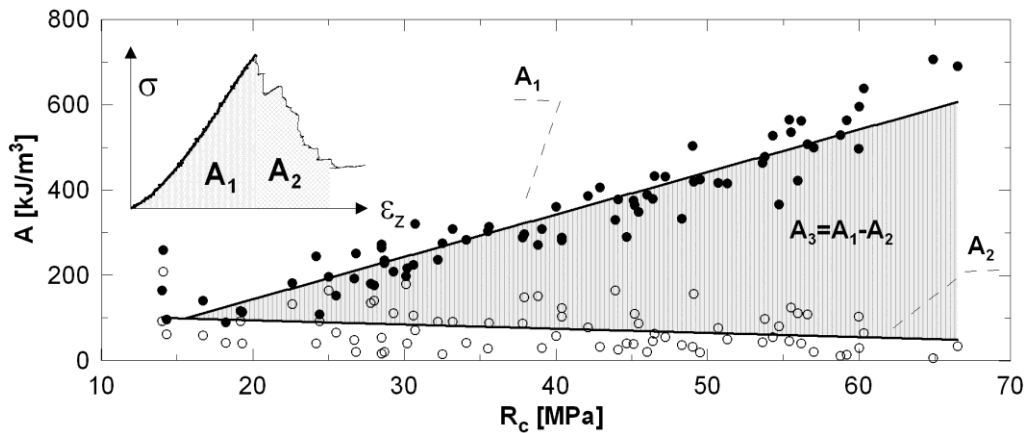
Rys. 2.3. Widok powierzchni czołowych próbek węgla po zniszczeniu z widocznym rozpadem na mniejsze pionowe fragmenty

Fig. 2.3. View of end surface of specimens after test with axial splitting mode of fracture

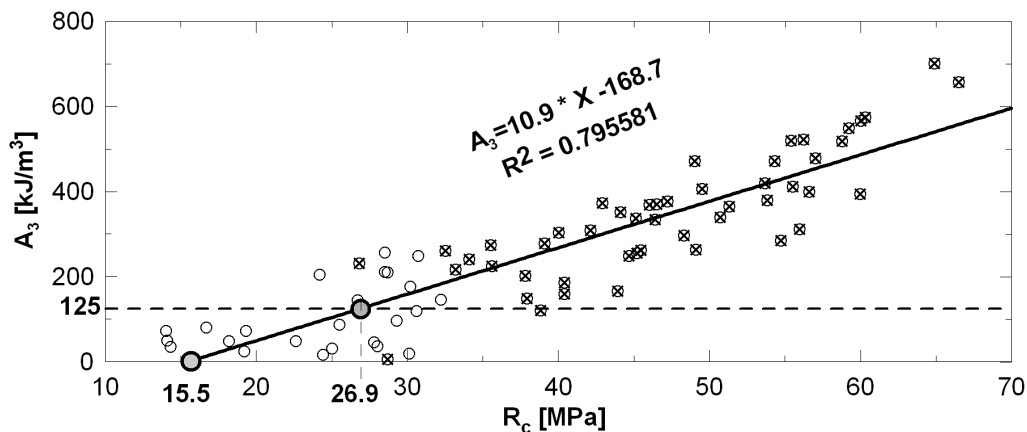
Wraz ze wzrostem całkowitej energii dostarczonej do próbki w fazie przedkrytycznej A_1 maleje wielkość energii zużywanej na odkształcenia trwałe A_2 w procesie niszczenia w etapie pokrytycznym. Proporcjonalnie zwiększa się zatem nadwyżka energii A_3 , która może zostać wyzwolona w procesie tąpnięcia. Zależności te zostały przedstawione na rysunku 2.4.

Analiza zależności tej energii od wytrzymałości na ścisnienie pokazuje, że zaczyna się ona pojawiać w przypadku próbek o wytrzymałościach powyżej 15,5 MPa, co dość dobrze odpowiada podziałowi węgla na słabo skłonne do tąpań $R_c \leq 16$ MPa i skłonne do tąpań $R_c > 16$ MPa według wytrzymałościowej metody oceny skłonności węgla do tąpań otrzymanej przez W. Szuścika przez porównanie wytrzymałości na ścisnienie ze wskaźnikiem W_{ET} (za: Dubiński, Konopko 2000).

Przyjmując za H. Filkiem (1980) wartość minimalnej jednostkowej energii kinetycznej koniecznej dla tąpnięcia $\Omega=125$ kJ/m³ i porównując ją z nadwyżką energii (A_3) w procesie niszczenia węgla w maszynie sztywnej można umownie przyjąć, że badane próbki o wytrzymałościach powyżej ok. 26,9 MPa posiadają szczególnie silną skłonność do tąpań. Zostało to przedstawione na rysunku 2.5. Powyżej tej wartości naprężeń niszczących (przyjmijmy równo 27 MPa) następuje wyraźny wzrost dynamiki rozpadu próbek (przy stosowanych prędkościach obciążania). Dla próbek zaznaczonych na rysunku krzyżykami, wartości potencjalnej energii sprężystej PES wynoszą powyżej 200 kJ/m³.



Rys. 2.4. Zależności całkowitej energii dostarczonej do próbki w fazie przedkrytycznej A_1 oraz energii odkształceń w fazie pokrytycznej A_2 od wytrzymałości węgla na ściskanie R_c
 Fig. 2.4. Dependence of total energy imparted to the sample A_1 in prefailure stage and energy of deformation in postfailure stage A_2 with UCS of coal samples



Rys. 2.5. Wykres energii A_3 próbek węglowych w funkcji wytrzymałości próbek na jednoosiowe ściskanie (krzyżykami zaznaczono punkty dla których wartość PES przekraczała 200 kJ/m^3)
 Fig. 2.5. Dependence of non dissipated energy A_3 on UCS of coal samples (points with potential elastic energy in prefailure stage above 200 kJ/m^3 were marked with black cross)

Podsumowując powyższe można podzielić populację przebadanych próbek na:

- węgle słabo skłonne do tępań ($R_c \leq 16 \text{ MPa}$),
- węgle skłonne do tępań ($16 \text{ MPa} > R_c > 27 \text{ MPa}$),
- węgle silnie skłonne do tępań ($R_c \geq 27 \text{ MPa}$).

Oczywiście skłonność węgla do tępań nie jest warunkiem wystarczającym, by stwierdzić, czy tąpnięcie wystąpi w danym rejonie kopalni. Decydują o tym również inne czynniki takie jak: struktura pokładu, właściwości sprężyste skał otaczających pokład lub lokalna sztywność – tzw. local mine stiffness (Zipf 1999), prędkość narastania obciążenia i zdolność pokładu do dyssypacji energii, wzajemne relacje wytrzymałościowe pokładu i górotworu, co uwzględniają

wskaźniki skłonności do tępów układów pokład – górotwór opracowane w AGH (Tajduś i in. 2005) i GiG (Bukowska 2002).

Nie ulega też wątpliwości, że próby bruzdowe węgla w trakcie pobierania oraz wykonywania próbek podlegały selekcji pozytywnej, co nie pozostaje bez wpływu na wyniki wykonanych badań. Przyjęto również założenie, że wielkość energii A_I dostarczonej do próbki w etapie przedkrytycznym jest w całości zamieniana na odkształcenia sprężyste, co w świetle omówionego procesu niszczenia w etapie przedkrytycznym nie jest do końca słuszne, jednakże uwzględnia już pewien współczynnik bezpieczeństwa.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań właściwości przedkrytycznych oraz pokrytycznych węgla pobranego ze ściany prowadzonej w jednym z pokładów tąpących GZW grupy 500.

Przeanalizowano przebieg obciążania próbek w etapie przedkrytycznym z uwzględnieniem zależności właściwości odkształceniowych i wytrzymałościowych.

Przedstawione przykłady obrazują jak dynamiczny może być proces pęknięcia próbki jeszcze w etapie przedkrytycznym. Szczególnie dobrze widać to w trybie obciążania ze stałą prędkością odkształceń obwodowych, dzięki lepszej wrażliwości czujnika obwodowego na odpajanie się materiału z powierzchni bocznych próbek.

W etapie pokrytycznym próbki o smukłości 1 pękają w sposób rozdzielczy, co przekłada się zmianę ich sztywności i spadek naprężeń, jakie są w stanie przenosić. Przeprowadzone badania w trybie stałej prędkości odkształceń osiowych wykazały zależność nachylenia charakterystyki pokrytycznej od wytrzymałości próbek. Im większa wytrzymałość próbki węgla, tym większe nachylenie charakterystyki pokrytycznej przekładające się na odpowiednio mniejszą wartość energii zużywanej na odkształcenia trwałe w etapie pokrytycznym i większą dynamikę niszczenia. Sterowanie stałą prędkością odkształcenia obwodowego pokazuje, że gwałtowne pęknięcie trwa w zasadzie przez cały etap podkrytyczny, nawet jeśli naprężenia zmniejszyły się dość znacznie w porównaniu z naprężeniami odpowiadającymi wytrzymałości na ściskanie. Węgiel jest materiałem niejednorodnym. Jego skomplikowana struktura wpływa na duże rozrzuty wyników opisujących proces niszczenia pomimo względnie małych różnic w parametrach odkształceniowych w etapie przedkrytycznym. Z tego względu zrezygnowano z podawania wartości średnich oznaczanych wielkości i przedstawiono tylko zależności pomiędzy nimi, z uwzględnieniem ich rozrzutów.

Porównanie całkowitej energii dostarczonej do próbki w trakcie obciążania do osiągnięcia zniszczenia oraz energii zużytej na niszczenie w fazie pokrytycznej pozwala wyciągnąć ogólne wnioski na temat możliwości podziału przebadanych węgli pod kątem ich skłonności do eksplozywnego niszczenia w stanie jednoosiowym.

Poznanie związków pomiędzy właściwościami odkształceniowymi skał w fazie przedniszczeniowej i pozniszczeniowej jest niezwykle ważne z punktu widzenia praktyki inżynierskiej. Pozwala również poprawnie zaprojektować eksperyment laboratoryjny.

Literatura

- [1] Bukowska M. 2002: Geomechanical properties of rocks from the rockburst hazard viewpoint, Archives of Mining Sciences 47, 2.
- [2] Das M.N. 1986: Influence of width/height ratio on postfailure behavior of coal. Int. J. of Mining and Geol. Eng. 4, 79–87.
- [3] Dubiński J, Konopko W. 2000: Tępania – ocena, prognoza, zwalczanie, GiG, Katowice.
- [4] Fairhurst C.E., Hudson J.A. 1999: Draft ISRM suggested methods for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 36, 279–289, Pergamon Press.
- [5] Filcek H. 1980: Geomechaniczne kryteria zagrożenia tępaniami. Górnictwo, rok 4, zeszyt 2.
- [6] Hallbauer D.K., Wagner H., Cook N.G.W. 1973: Some observations concerning the microscopic and mechanical behaviour of quartzite specimens in stiff, triaxial compression tests. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 10.
- [7] Parysiewicz J. 1967: Tępania w kopalniach, Wyd. „Śląsk”, Katowice.
- [8] Tajduś A., Flisiak D., Klisowski R. 2005: Propozycja wskaźnika dla oceny skłonności do tępań układu warstwy stropowe – pokład, Geotechnika w Budownictwie i Górnictwie. [W:] Mat. Konf. XXVIII Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [9] Wawersik W.R. 1968: Detailed analysis of rock failure in laboratory compression tests, Ph. D. Thesis, Univ. Minnesota, Minneapolis.
- [10] Zipf R.K. 1999: Using A Postfailure Stability Criterion In Pillar Design, Proceedings of the Second International Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design, Pittsburgh.

Testing of coal in pre- and postfailure stages

This paper presents selected results of testing pre- and postfailure properties of coal. Loading of specimens in prefailure stage was analyzed with regard to dependences of deformational and strength properties. Applied different loading modes show dynamics of coal fracture in pre- and postfailure stages. Total energy imparted to the sample was compared with energy of deformation in postfailure stage.

Przekazano: 10 kwietnia 2006 r.