

Stanisław OLEKSY  
Zbigniew ORDYSIŃSKI  
Jacek PACHA

## WPLYW ZAWILGOCENIA NA SPADEK WYTRZYMAŁOŚCI PIASKOWCÓW KARBONSKICH Z OBSZARU KWK "JASTRZĘBIE"

Streszczenie. W pracy przedstawiono rezultaty badań nasiąkania, wilgotności i spadku wytrzymałości dla próbek piaskowca, poddanych oddziaływaniu wody. Podano wzory empiryczne, które określają te zależności. Dokonano analizy matematycznej otrzymanych wyników i określono wiarygodność wprowadzonych zależności za pomocą metod analizy statystycznej.

### WPROWADZENIE

Wyraźny wpływ wody na zmianę własności wytrzymałościowych skał zauważany był od dawna. Metodyczne badania tego zjawiska zostały zapoczątkowane jednak stosunkowo niedawno, bo przed 30 laty. Prekursorem ich był Obert /1946/ i później Colback i Wiid /1965/, którzy stwierdzili bardzo wyraźny wpływ /osiągający ok. 50%/ zawilgocenia na spadek wytrzymałości skał. Dalsze badania; Krokosky-Husak /1968/, Jumikis /1966/ Ruiz /1966/ potwierdziły tę silną zależność [1].

Badaniami tego zagadnienia w Polsce zajmowano się w AGH i GIG-u, potwierdzając rezultaty uzyskane za granicą.

Mechanizm zjawiska osłabienia na skutek obecności wody w skale do dziś nie został wyjaśniony w sposób jednoznaczny, chociaż wysunięto na ten temat szereg ciekawych hipotez, które wyjaśniają skutki obecności wody w wewnętrznych powierzchniach skały w różny sposób; jako zmęczenie statyczne /Booser - 1963/, "korozję" naprężeń /Charles-1959/ modyfikację wiązań międzycząsteczkowych /Pugh-1967/. Colback i Wiid /1965/ wykazali ponadto, że wytrzymałość piaskowca kwarcytowego jest odwrotnie proporcjonalna do napięcia powierzchniowego cieczy zawartej w skale, natomiast Street i Wang /1966/ stwierdzili wyrażliwość piaskowców na stężenie jonów wodorowych /pH/. Minimalna wytrzymałość występuje przy  $\text{pH} = 7$  [1].

Ekstremalnym przypadkiem oddziaływania wody na skały jest zjawisko "rozłazowywania" się /całkowitej utraty spójności/ skał o dużej zawartości części ilastych.

Reasumując, wpływ wody na osłabienie skał jest wyraźny i należy go doceniać w praktyce.

## CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było określenie wrażliwości piaskowców karbońskich z kopalni "Jastrzębie" na działanie wody, z punktu widzenia ich własności mechanicznych. Jak wiadomo z praktyki, wilgotność powietrza kopalnianego waha się w granicach 80-90% /nawet 100%/. Ponadto występują na dole bezpośrednio wylewy wód. Zjawiska te w sposób wyraźny powodują silne zawilgocenia górotworu.

Znajomość charakterystyki procesu nasiąkania, wpływu wilgotności na zmianę własności mechanicznych pozwoliłaby oszacować wielkość spadku wytrzymałości. Dlatego też w przeprowadzonych badaniach starano się powiązać takie czynniki, jak czas nasiąkania, wilgotność skały i jej wytrzymałość na ściskanie w formie wykresów i wzorów empirycznych dających się interpretować fizycznie. W celu oszacowania stopnia pewności dokonano estymacji otrzymanych rezultatów, podając na wykresie przedziały ufności dla poziomu 0,9.

Należy tutaj nadmienić, że opisywane badania są początkiem kompleksowych badań własności fizycznych skał karbońskich w rejonie ROW-u.

## PRZEBIEG BADAŃ

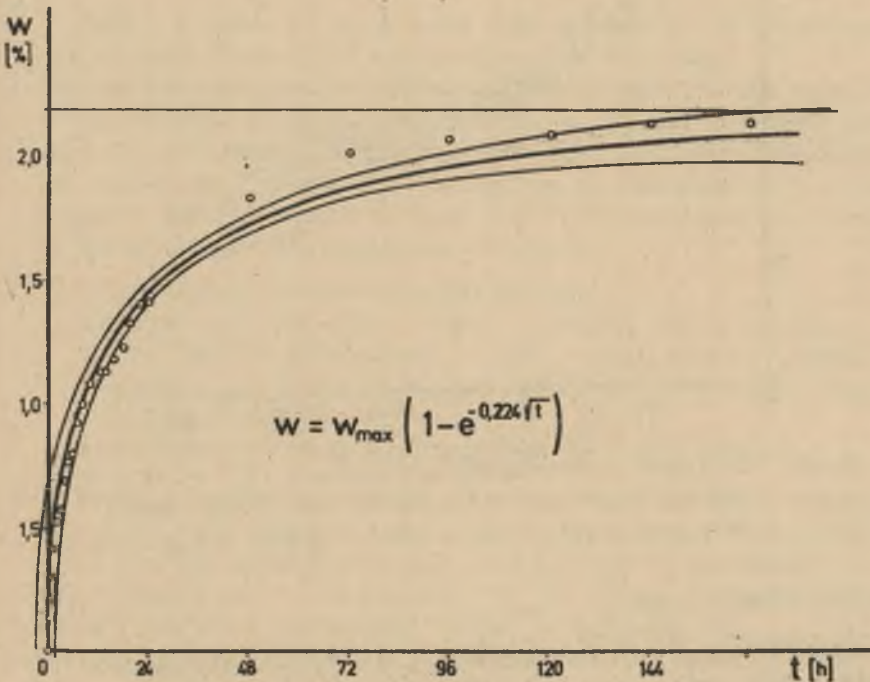
Przedmiotem badań były próbki rdzenia skalnego, pobranego z otworów wiertniczych kopalni "Jastrzębie". Ze względów technicznych zakres badań ograniczono do piaskowca średnioziarnistego - skały bardzo rozpowszechnionej na obszarze kopalni. Przebadano ogółem 80 próbek walcowych wyciętych z rdzeni skalnych, których średnica wahała się od 48 do 50mm a wysokość była równa średnicy. Przed przystąpieniem do badań, próbki zważono z dokładnością do 0,01 g i zmierzono z dokładnością do 0,1 mm. Następnie próbki zostały poddane suszeniu w suszarce próżniowej przez okres 48 godzin, potem zważone i poddane dalszemu suszeniu przez okres kolejnej doby. Ponowne ważenia nie wykazały /w porównaniu z poprzednimi/ odchyłań większych niż 0,02 g, co pozwoliło uznać próbki za całkowicie wysuszone. Kolejnym etapem było całkowite zanurzenie próbek w wodzie /wysokość lustra wody równa wysokości próbki/. Należy podkreślić, że nie jest to zgodne z polską normą B-04101, która określa sposób badania nasiąkliwości. Jednak w tym wypadku nie chodziło o określenie nasiąkliwości maksymalnej, lecz o zbadanie procesu naturalnego namakania skały. Wyciągnięte z wody 3-próbkowe serie poddawano ścisaniu w maszynie wytrzymałościowej typu EDZ-40, w celu ustalenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie  $R_c$ . Kolejność wyciągania próbek /licząc od momentu zanurzenia/ była następująca:

- 1 godzina: w 1 - 5 - 10 - 20 - 30 - 60 min,
- 1 doba: po 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 11 - 12 - 18 - 24 godz.,
- dalej kolejno po 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 dobach.

Prędkość obciążania wynosiła 500-1000 N/cm<sup>2</sup> s. Okruchy zgniecionej próbki były ważone z dokładnością do 0,01 g, a następnie suszone w suszarce próżniowej przez okres 3 dob. Pozwalało to określać wilgotność próbki w momencie badania jej wytrzymałości na ściskanie, jako stosunku różnicy wagi przed i po wysuszeniu do ciężaru próbki po wysuszeniu.

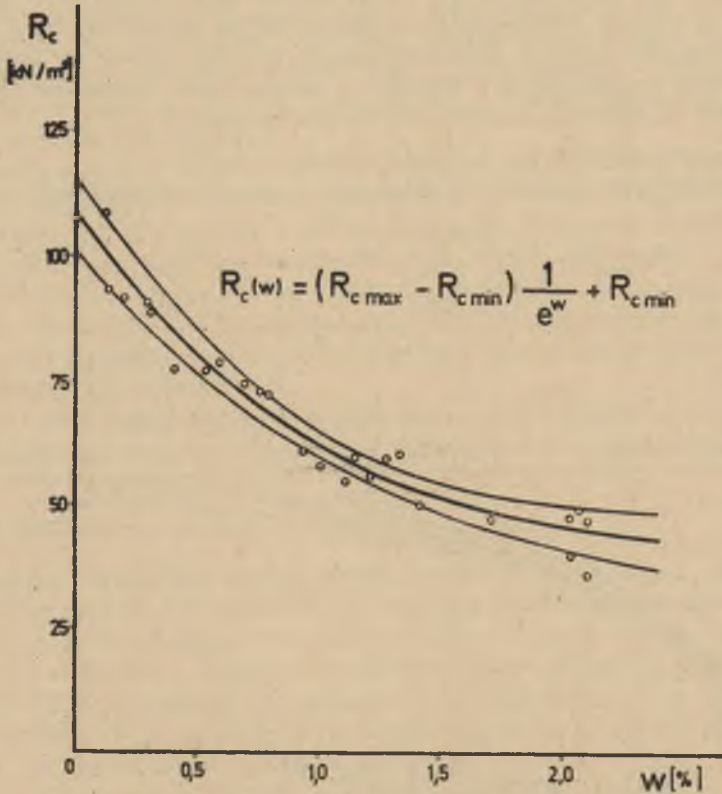
Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sporządzenia dwóch wykresów /każdy punkt na wykresie oznacza 3-próbkową serię/:

- wzrostu wilgotności w funkcji czasu /rys.1/,
- zmiany wytrzymałości na ściskanie w funkcji wilgotności /rys.2./



Rys.1. Wzrost wilgotności jako funkcja czasu przebywania skały w wodzie





Rys.2. Zależność wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  od wilgotności  $W$  dla piaskowców karbońskich kopalni Jastrzębie.

Pole zaciemnione oznacza obszar ufności dla poziomu 09

#### ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Znajomość czasu przebywania w wodzie i wilgotności pozwoliła na sporządzenie wykresu nasiąkania /rys.1/, którego punkty układają się wyraźnie w krzywą zdążającą do asymptoty, którą można interpretować jako wilgotność maksymalną, osiąganą po teoretycznie nieskończonym czasie namakania. Z rozkładu punktów pomiarowych widać, że zależność tę jako funkcję wilgotności w czasie, można aproksymować krzywą o ogólnej postaci:

$$W = W_{\max} / (1 - e^{-a t + b})$$

gdzie:

- $W_{\max}$  - wilgotność maksymalna, /%/,  
 $t$  - czas przebywania w wodzie, /godz./  
 $a, b$  - współczynniki ustalone doświadczalnie, w zależności od danego rodzaju skały.

Po przeprowadzeniu aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów, otrzymano najlepsze dopasowanie krzywej dla współczynników:

$$a = 0,224$$

$$b = 0,5$$

co daje ostateczny wzór

$$W = W_{\max} / 1 - e^{-0,224 \sqrt{t}} / \quad /2/$$

Jednak zasadniczym celem badań było określenie zależności pomiędzy wilgotnością skały a jej wytrzymałością na ściskanie.

Zbadane wielkości przedstawiono na wykresie /rys.2/. Pomierzone wielkości są jednak obciążone błędami pomiarowymi, które należy traktować jako czynniki losowe. Należy przy tym uznać błąd pomiaru wilgotności /ze względu na sposób pomiaru polegający na dokładnym ważeniu/ za pomijalnie mały w stosunku do błędu pomiaru wytrzymałości, na ściskanie, na który składają się następujące czynniki:

- losowa niejednorodność próbki skalnej,
- mechaniczne uszkodzenie próbki w procesie jej wycinania,
- niedokładność geometryczna w przygotowaniu próbki do badań /głównie nierównoległość płaszczyzn czokowych i nieprostokątność do powierzchni bocznej walca/,
- niedokładność odczytu maksymalnego obciążenia próbki.

Rozkład punktów na wykresie sugeruje wyraźną zależność, którą możemy opisać, przy założeniu normalnego rozkładu błędów pomiarowych, jako pewną funkcję regresji II rodzaju w przedziale od wilgotności zerowej  $/W_0/$  do wilgotności maksymalnej  $/W_{\max}/$ , którym odpowiadają; maksymalna i minimalna wytrzymałość próbki na ściskanie  $/R_{c \max}$  i  $R_{c \min}/$ . Funkcję tę można przedstawić w postaci:

$$R_c / W / = / R_{c \max} - R_{c \min} / \frac{1}{e^{\alpha W}} + R_{c \min} \quad /3/$$

gdzie:

- $R_{c \max}$  - maksymalna wytrzymałość na ściskanie próbki całkowicie wysuszonej,  $kN/m^2$ ,  
 $R_{c \min}$  - minimalna wytrzymałość na ściskanie, odpowiadająca maksymalnej wilgotności,

- $\alpha$  - współczynnik zależny od rodzaju skały,  
 $W$  - wilgotność próbki, /%.

Analizując zależność /3/ stwierdzono, że najmniejszą sumę kwadratów odchyleń uzyskuje się dla współczynnika  $\alpha = 1$ . Stąd zależność /3/ przyjmuje postać

$$R_c/W = /R_c \max - R_c \min/ \frac{1}{e^W} + R_c \min \quad /4/$$

W celu zweryfikowania statystycznego /estymacji/ hipotezy przedstawionej zależnością /4/, na podstawie empirycznej oceny odchylenia standardowego założono normalny rozkład błędów pomiarowych. Jako estymator przyjęto zmienną  $t$  - rozkładu Studenta dla odpowiedniego poziomu ufności. Rozwiązanie takiego zagadnienia da odpowiedź na następujące pytanie: jaki będzie obszar wzdłuż krzywej przedstawionej zależnością /4/ o którym będziemy mogli powiedzieć, że znajdować się wewnątrz będą punkty odpowiadające wartościom  $R_c$ , przy określonym prawdopodobieństwie /poziomie ufności/?

Odpowiedź na powyższe zagadnienie daje poniższa nierówność:

$$\bar{R}_c - t \frac{s}{\sqrt{n}} < E/R_c/ < R_c + t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad /5/$$

- $E/R_c/$  - wartość oczekiwana dla poziomu ufności 0,9,  
 $R_c$  - wartość  $R_c$  dla odpowiadającej jej wilgotności próbki,  
 $t$  - zmienna rozkładu Studenta dla poziomu ufności 0,9,  
 $s$  - odchylenie standardowe:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{c_i} - R_c)^2} \quad /6/$$

- $n$  - liczność próbki /ponieważ badano 3-próbkowe serie  $n=3$ /.

W celu wykreślenia krzywych ufności dokonano obliczeń dla 5 wybranych wilgotności: 0, 0.4, 0.8, 1.4, 2.2%.

Wyniki zestawiono w poniższej tabeli:

Tabela 1

## WIELKOŚCI PRZEDZIAŁÓW UFNOSCI.

Wilgotność skały W %	0	0.4	0.8	1.4	2.2
Przedziały ufnosci $R_c \frac{kN}{m^2}$	101	77	61	51	34
	116	88	70	61	52
Liczność próbek w przedziale	3				
Poziom ufnosci	0,9				

Obszar wewnątrz krzywych ufnosci stanowi zbiór punktów określających wytrzymałość na ściskanie piaskowców kopalni "Jastrzębie", przy odpowiadających im wilgotnościach dla poziomu ufnosci 0,9.

## PODSUMOWANIE

Jak wykazały badania przeprowadzone dla piaskowców średnioziarnistych kopalni "Jastrzębie"; czas nasiakania, wilgotność i wytrzymałość na ściskanie są ze sobą powiązane zależnościami, które będzie można przypuszczalnie uogólnić /po dalszych badaniach/ na inne typy skał.

Zależność, pomiędzy czasem przebywania skały w wodzie a jej wilgotnością, przedstawiona jest na wykresie 1 i opisane wzorem:

$$W = W_{\max} / 1 - e^{-0.224 \sqrt{t}}$$

Służyć ona może do orientacyjnego określenia wilgotności skały przy znajomości czasu jej przebywania w wodzie.

Wpływ wilgotności skały na jej wytrzymałość na ściskanie przedstawiono na wykresie /rys.2/, przyjmując zależność:

$$R_c = (R_{c \max} - R_{c \min}) / \frac{1}{e \cdot W} + R_{c \min};$$

gdzie:

$R_{c \max}$  - maksymalna wytrzymałość odpowiadająca zerowej wilgotności,

$R_{c \min}$  - minimalna wytrzymałość odpowiadająca maksymalnej wilgotności.



Stwierdzono, że wpływ wilgotności jest bardzo poważny i może spowodować spadek wytrzymałości na ściskanie do 60%. Otrzymany wzór empiryczny może służyć do szacowania spadku wytrzymałości przy znanej wilgotności.

Wyniki badań analizowano metodami statystyki matematycznej, które potwierdziły bardzo wysokie prawdopodobieństwo występowania zjawiska o takim przebiegu.

Dla uzyskania pełniejszego obrazu należałoby prześledzić dodatkowo wpływ zmiany wilgotności powietrza w wyrobiskach kopalnianych na zmianę wilgotności skał otaczających.

#### LITERATURA

- [1] HAWKES I., MELLOR M.: Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. Engineering Geology, Vol.4, 1970.
- [2] PFORR G.: Wytyczne do badania własności fizycznych skał. Międzynarodowe Biuro Mechaniki Górniczej, Gliwice 1975.
- [3] GRÉN J.: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN, Warszawa 1975.
- [4] PN-58/N-01051 - Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna.

#### ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ НА ПАДЕНИЕ УПРУГОСТИ КАРБОННЫХ ПЕСЧАНИКОВ С ТЕРРИТОРИИ ШАХТЫ КАМЕННОГО УГЛЯ ЯСТРЕБЬЕ

##### Резюме:

В статье приводятся результаты исследований просачивания, влажности и падения упругости для образцов песчаника подвергнутых воздействию воды. Приводятся эмпирические формулы, которые определяют эти зависимости. Произведено математический анализ получения результатов и определения надёжности зависимостей при помощи методов статистических анализов.

#### THE INFLUENCE OF HUMIDATION ON THE DROP OF STRENGTH OF CARBONIFEROUS SANDSTONE FROM THE REGION OF THE JASTRZĘBIE COAL MINE

##### S u m m a r y

This paper presents the results of research on soaking, humidation and drop of strength performed on the samples of sandstone affected by water. The authors give the empirical formulas defining these relations. The credibility of the derived formulas was determined, using the methods of statistical analysis.