

# 8.WPGI2024

PRZEGLĄD AKTUALNYCH NORM I  
ZALECEŃ DOTYCZĄCYCH  
LABORATORYJNYCH TESTÓW  
WYTRZYMAŁOŚCI NA JEDNOOSIOWE  
ŚCISKANIE I ROZCIĄGANIE ORAZ  
OZNACZANIA STATYCZNEGO  
MODUŁU YOUNGA W SKAŁACH NA  
PRÓBKACH FOREMNYCH

PAWEŁ ŁUKASZEWSKI, ARTUR DZIEDZIC,  
ALICJA BOBROWSKA, ANDRZEJ DOMONIK,  
ROBERT DZIEDZICZAK, DOMINIK ŁUKASIAK

Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski



8.WPGI 2024

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

# PLAN PREZENTACJI

- PRZEGLĄD AKTUALNYCH NORM I ZALECEŃ DOTYCZĄCYCH LABORATORYJNYCH TESTÓW WYTRZYMAŁOŚCI NA JEDNOOSIOWE ŚCISKANIE
- PRZEGLĄD AKTUALNYCH NORM I ZALECEŃ DOTYCZĄCYCH OZNACZANIA STATYCZNEGO MODUŁU YOUNGA
- PRZEGLĄD AKTUALNYCH NORM I ZALECEŃ DOTYCZĄCYCH LABORATORYJNYCH TESTÓW WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE
- PRZEGLĄD AKTUALNYCH NORM I ZALECEŃ DOTYCZĄCYCH BADAŃ TRÓJOSIOWYCH



# WYTRZYMAŁOŚĆ NA JEDNOOSIOWE ŚCISKANIE

- **PN-B-04110:1984** – Materiał kamienny. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie (*polska norma, wycofana*)
- **PN-EN 1926:2007** – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie (*polska norma, aktualna*)
- **PN-G-04303:1997** – Skąły zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek foremnych (*polska norma, aktualna*)
- **ISRM 2007** - Suggested Method for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (*zalecenia ISRM*)
- **ASTM D 7012-14** – Standard Test Method for Compressive strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimen under Varying State of stress and Temperatures (*norma amerykańska*)
- **PN-EN1997-2:2007** – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego (*wytyczne Eurokodu 7, aktualna*)



# PN-EN 1926:2007

- liczba próbek co najmniej 10
- wymiary próbek sześciany o boku 5 lub 7 cm  
walce o średnicy i wysokości 5 lub 7 cm  
(smukłość 1)
- przygotowanie próbek
  - możliwe wyrównanie próbki zaprawą,
  - suszenie do stałej masy,
  - przechowywanie w  $T 20 \pm 5$  oC i osiągnięcie równowagi termicznej w ciągu 24 h,
  - badanie należy wykonać w ciągu 24 h
- prędkość przyrostu naprężenia  $1 \pm 0,5$  MPa/s
- dokładność wyników co najmniej 2 cyfry znaczące



# PN-G 04303 z 1997

- liczba próbek co najmniej 6
- wymiary próbek walec lub prostopadłościan  
o średnicy lub boku kwadratowej podstawy od 42 do 52 mm  
(smukłość 2)
- prędkość przyrostu naprężenia - skały słabe od 0,1 do 0,5 MPa/s  
- skały mocne od 0,1 do 0,5 MPa/s
- dokładność wyników 0,1 MPa
- uwagi w przypadku badania próbek o smukłości 1  
obliczony wynik należy pomnożyć przez ułamek 8/9



# PN 84/b – 04110 (wycofana)

- liczba próbek 5
- wymiary próbek sześciiany o boku  $5 \pm 0,3$  cm  
walce o wysokości równej średnicy  $5 \pm 0,3$  cm  
(smukłość 1)  
dopuszcza się próbki walcowe odcięte z rdzenia  
wiertniczego o wymiarach średnicy od 3,5 do 10 cm
- prędkość przyrostu naprężenia od 0,5 do 1 MPa/s
- Dokładność wyników  
do 10 MPa – 0,1 MPa  
10-50 MPa – 0,5 MPa  
ponad 50 MPa – 1 MPa
- Uwagi poszczególne wyniki nie powinny się różnić więcej niż 20% od wyniku końcowego,  
w przypadku większej różnicy niż 20 % badanie należy powtórzyć



# ASTM D7012 z 2014 roku

## Metoda C

- wymiary próbek  
średnica minimum 47 mm  
smukłość od 2 do 2,5
- przygotowanie próbek  
ASTM D4543
- prędkość przyrostu naprężenia  
0,5 -1,0 MPa/s  
stała prędkość przyrostu odkształcenia  
zniszczenie w ciągu 2-15 min





# Eurokod 7 – EN 1997-2:2007

## zgodność z procedurami sugerowanymi przez ISRM

*do procedury ISRM powinny być wprowadzone poprawki*

- liczba próbek w funkcji zmienności skały oraz istniejącego porównywalnego doświadczenia
- wymiary próbek średnica nie mniej niż 50 mm  
smukłość pomiędzy 2 a 3
- prędkość przyrostu naprężenia zniszczenie w czasie do 5 do 15 min
- uwagi średnica płyt dociskowych między  $D$  a  $(D + 10)$  mm



# PORÓWNANIE NORM DOTYCZĄCYCH R<sub>c</sub>

	PN-EN 1926	PN – G 04 303	PN 84/B - 04110	ASTM D 7012 ISRM Eurokod 7
liczba próbek	10	6	5	(Eurokod 7) w funkcji zmienności skały oraz porównywalnego doświadczenia
średnica próbek	5 lub 7 cm	42-54 mm	50 mm*	47mm / 54 mm / 50 mm
smukłość	1	2	1	2-2,5 / 2,5-3 / 2-3
przyrost naprężenia	1 ± 0,5 MPa/s	skały słabe 0,5 MPa/s skały mocne 0,5 MPa/s	0,5 - 1 MPa/s	0,5 - 1 MPa/s
dokładność wyniku	dwie cyfry znaczące	skały słabe 0,5 MPa/s skały mocne 0,5 MPa/s	do 10 MPa – 0,1 MPa 10-50 Mpa – 0,5 MPa powyżej 50 MPa -1 MPa	5

\* mogą być próbki odcięte z rdzenia o średnicy o 3,5 do 10 cm



# Statyczny moduł Younga

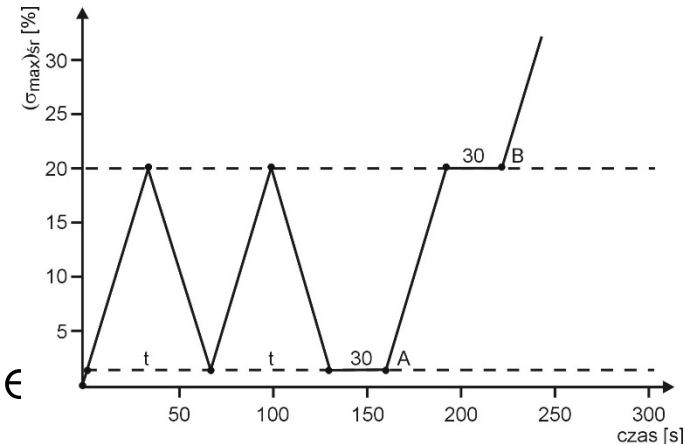
- **PN-EN 14580:2006** - Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie statycznego modułu sprężystości (**polska norma, aktualna**)
- **ISRM 2007** - Suggested Method for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (**zalecenia ISRM**)
- **ASTM D 7012-14** - Standard Test Method for Compressive strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimen under Varying State of stress and Temperatures (**norma amerykańska**)
- **PN-EN1997-2:2007** – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego (**polska norma – wytyczne Eurokodu 7, aktualna**)



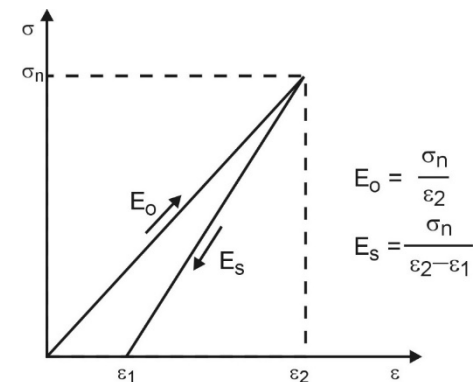
# PN-EN 14580:2006

- wymiary próbek walec lub prostopadłościan  
minimalna średnica 50 mm  
stosunek wysokości do średnicy (smukłość) między 2 i 4
- prędkość przyrostu naprężenia  $0,5 \pm 0,2 \text{ MPa/s}$
- przebieg badania cykle obciążenia i odciążenia według schematu

- dokładność wyników 3 cyfry znaczące



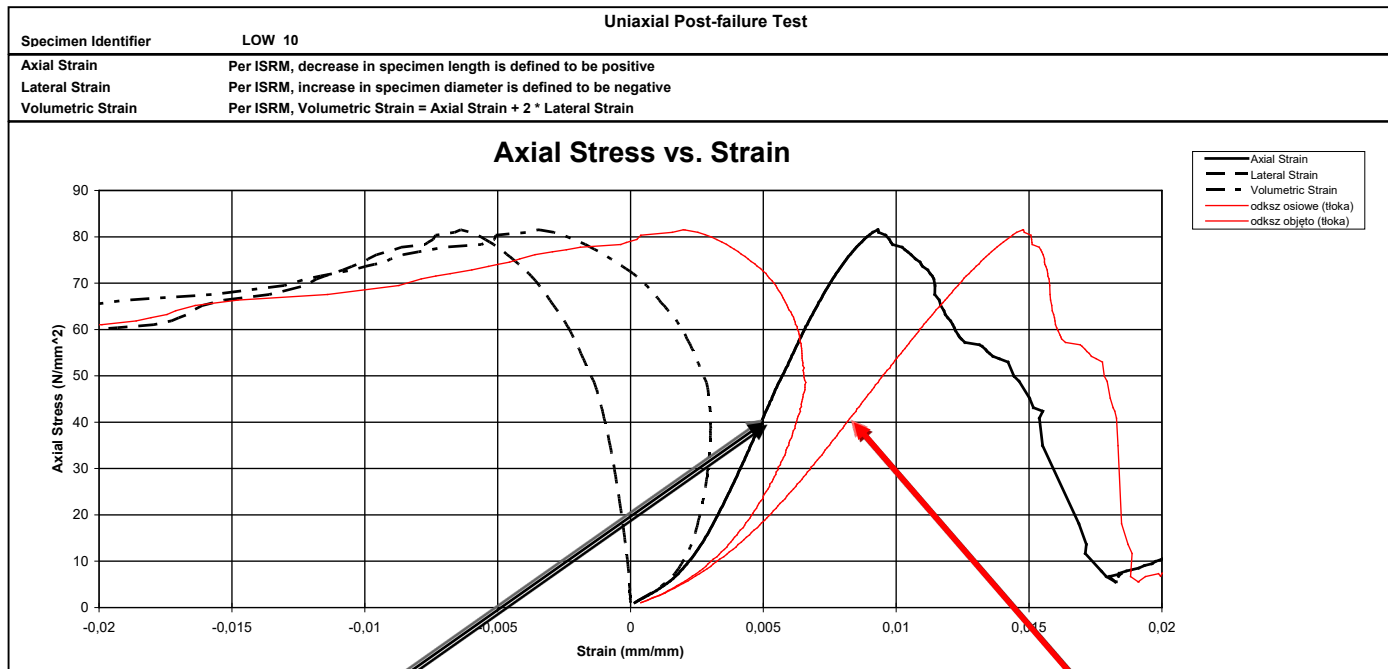
# Moduł YOUNGA



$$E_o = \frac{\sigma_n}{\varepsilon_2}$$

$$E_s = \frac{\sigma_n}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

$E_s$  - moduł sprężystości  
 $E_o$  - moduł odkształcenia



pomiar ekstensometrem

$E=12,4$  GPa

pomiar tłokiem prasy

$E=7,1$  GPa



**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

# ASTM D7012 z 2014 roku

## Metoda D

- wymiary próbek jak w metodzie C średnica 47 mm  
smukłość 2-2,5

- styczny (tangent)

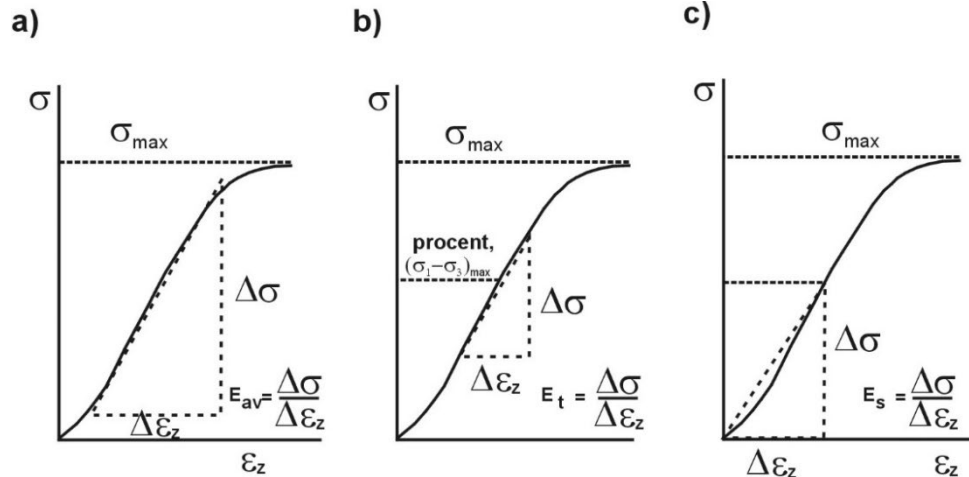
przy ustalonym procencie 25-75 %  $\sigma_{\max}$

- średni (average)

na odcinku prostoliniowym

- sieczny (secant)

od 0 do ustalonego %  $\sigma_{\max}$  - 50 %



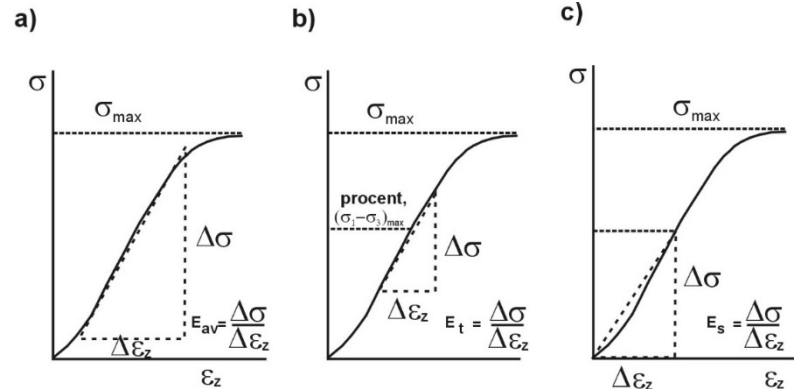


# Eurokod 7 – EN 1997-2:2007

## zgodność z procedurami sugerowanymi przez ISRM

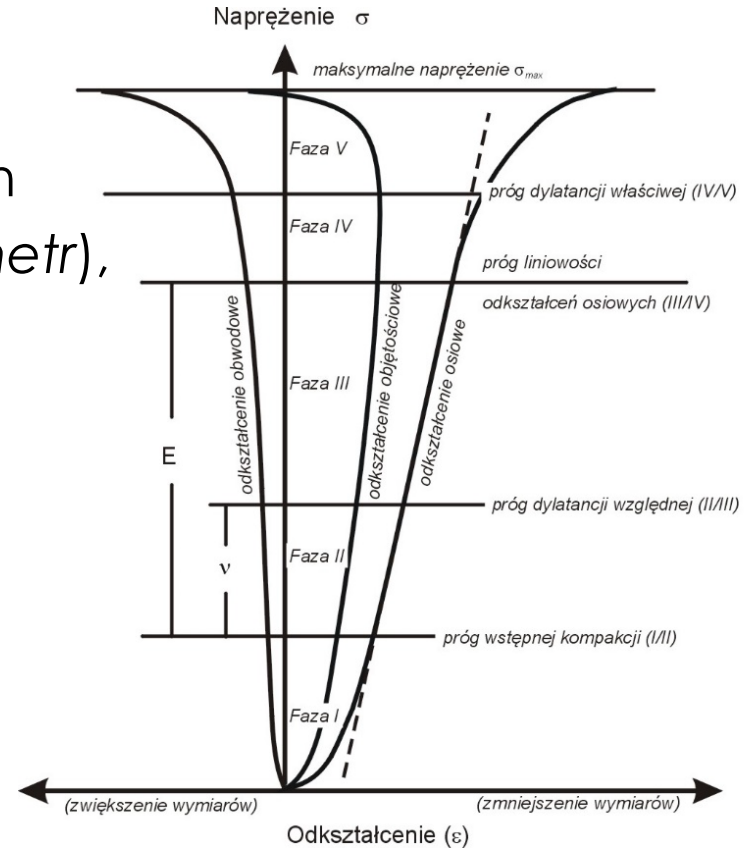
- liczba próbek w funkcji zmienności skały oraz istniejącego porównywalnego doświadczenia
- wymiary próbek średnica nie mniejsza niż 50 mm  
smukłość 2-3

- styczny (tangent)
- średni (average)
- sieczny (secant)



# PORÓWNANIE NORM I ZALECEŃ DOTYCZĄCYCH E

- moduł odkształcenia czy moduł sprężystości (krzywa wznosząca czy krzywa opadająca),
- rodzaj czujnika odkształceń osiowych (przesów tłoka, ekstensometr, tensometr),
- baza ekstensometru / tensometru,
- moduł: *styczny, średni, sieczny*
- przedział wyznaczania modułu



# Wytrzymałość na rozciąganie

## metoda poprzecznego ściskania – metoda brazylijska

- **PN-G-04302:1997** – Skąły zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie metodą poprzecznego ściskania (**polska norma, aktualna**)
- **BN –75/8704-05** – Skąły zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie metodą poprzecznego ściskania (**polska norma, wycofana**)
- **ISRM 2007** – Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials (**zalecenia ISRM**)
- **ASTM D3967-08** – Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens (**norma amerykańska**)
- **PN-EN1997-2:2007** – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego (**polska norma – wytyczne Eurokodu 7, aktualna**)



# PN-G-04302:1997

- liczba próbek co najmniej 6
- wymiary próbek płaskie krążki o średnicy od 42 do 54 mm  
grubość wysokość równa połowie średnicy  
smukłość 0,5
- prędkość przyrostu naprężenia prędkość obciążenia rzędu 100 N/s  
od 0,1 do 0,5 MPa/s
- dokładność wyników do 10 MPa 0,01 MPa  
powyżej 10 MPa 0,1 MPa



# BN 75/8704-05

- liczba próbek co najmniej 5
- wymiary próbek walce lub prostopadłościany  
średnica lub bok podstawy 40 – 50 mm  
grubość (wysokość) równa jego średnicy  
smukłość 1

w przypadku rdzeni średnica próbek może być równa 30-40 mm (wynik informacyjny)

- prędkość przyrostu naprężenia prędkość obciążenia rzędu 100 N/s  
poniżej 3 MPa 0,01 MPa/s  
3-15 MPa od 0,01 do 0,1 MPa/s  
powyżej 15 MPa 0,1 MPa/s
- dokładność wyników do 10 MPa 0,1 MPa  
powyżej 10 MPa 1 MPa



# ASTM D 3968 - 08

- liczba próbek co najmniej 10
- wymiary próbek średnica 54 mm  
smukłość od 0,2 do 0,75
- prędkość przyrostu naprężenia zniszczenie od 1 do 10 min  
0,05 -0,35 MPa/s





# Eurokod 7 PN-EN 1997-2

## zalecane jest stosowanie metody ISRM

- liczba próbek                      w funkcji zmienności skały oraz istniejącego porównywalnego doświadczenia
- wymiary próbek                      średnica nie mniejsza niż 54 mm  
grubość równa promieniowi próbki  
smukłość 0,5



# PORÓWNANIE NORM DOTYCZĄCYCH R<sub>r</sub>

	PN-G 04302	BN-75/8704-05	ASTM D 7012 ISRM Eurokod 7
liczba próbek	6	5	ASTM -10 (Eurokod 7) w funkcji zmienności skały oraz porównywalnego doświadczenia
średnica	42 – 52 mm	40 – 50 mm	54 mm
smukłość	0,5	1	0,2-0,75 / 0,5 / 0,5
przyrost naprężenia	100 N/s 0,1-0,5 MPa/s	poniżej 3 MPa – 0,01 MPa/s 3 - 15 MPa – 0,01 MPa/s powyżej 15 MPa – 0,1 MPa/s	ISRM – 200 N/s
dokładność wyniku	do 10 MPa – 0,01 MPa/s powyżej 10 MPa – 0,1 MPa/s	do 10 MPa – 0,1 MPa/s powyżej 10 MPa – 1 MPa/s	10



# Testy trójosiowego ściskania

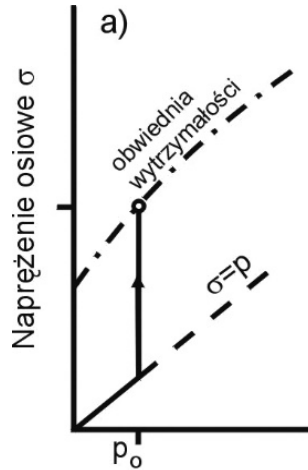
- **ISRM 2007** - Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression (**zalecenia ISRM**)
- **ASTM D 7012-14** – Standard Test Method for Compressive strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimen under Varying State of stress and Temperatures (**norma amerykańska**)
- **PN-EN1997-2:2007** – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego (**wytyczne Eurokodu 7, aktualna**)



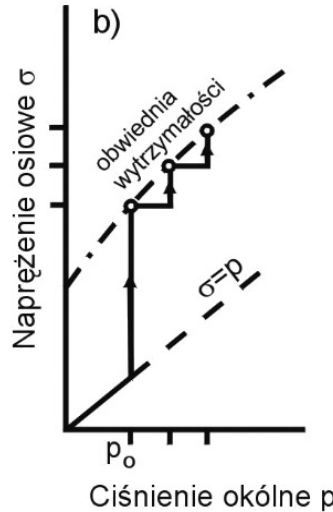
# ISRM 2007

## Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression

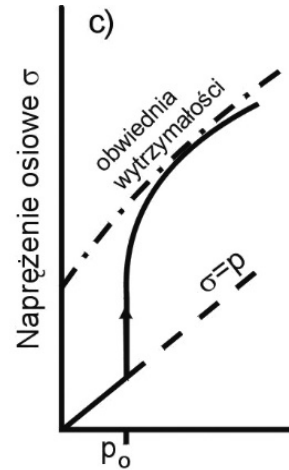
### trzy rodzaje testów trójosiowych



*pojedynczy test  
klasyczny*



*test wielokrotnego  
zniszczenia*



*test ciągłego  
zniszczenia*



# ISRM 2007

## Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression

*pojedynczy test klasyczny*    *test wielokrotnego zniszczenia*    *test ciągłego zniszczenia*

wymiary próbek:

średnica 54 mm  
smukłość 2 - 3

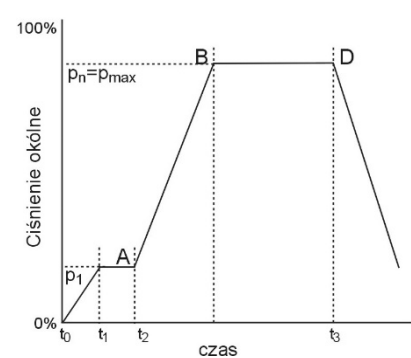
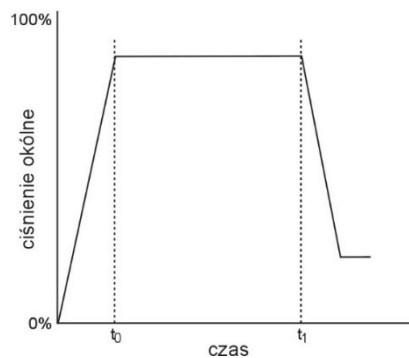
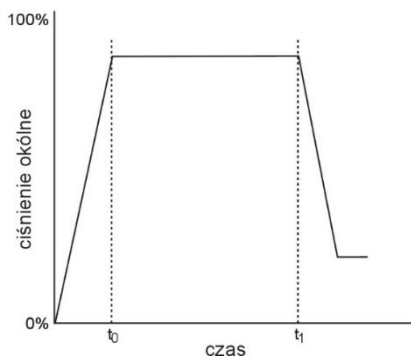
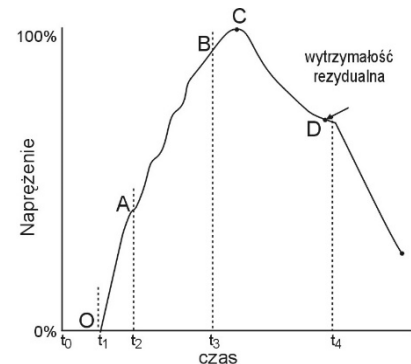
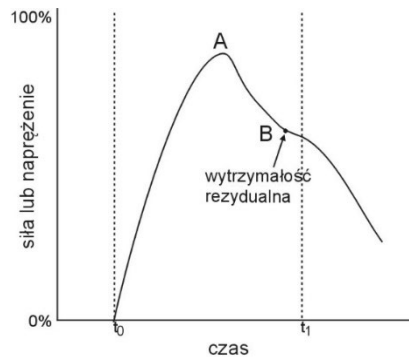
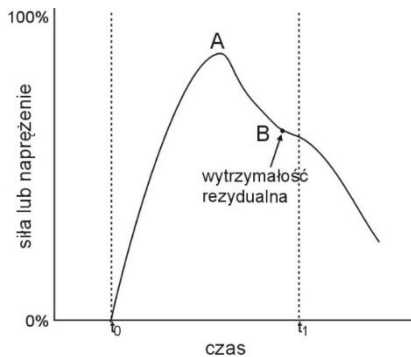
przyrost naprężenia:

0,5 - 1 MPa/s

obwiednia wytrzymałościowa może  
być wykorzystana do określenia  
parametrów wytrzymałościowych

Mohra-Coulomba:

*kata tarcia wewnętrznego*  
*i spójności*



**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

# ASTM D7012 - 14

## *Metoda A i B*

wymiary próbek

średnica 54 mm

smukłość 2 – 3

prędkość przyrostu naprężenia

0,5 - 1 MPa/s

(metoda B) obwiednia wytrzymałościowa może być wykorzystana do określenia parametrów wytrzymałościowych Mohra-Coulomba: kąta tarcia wewnętrznego i spójności



**8.WPGI 2024**

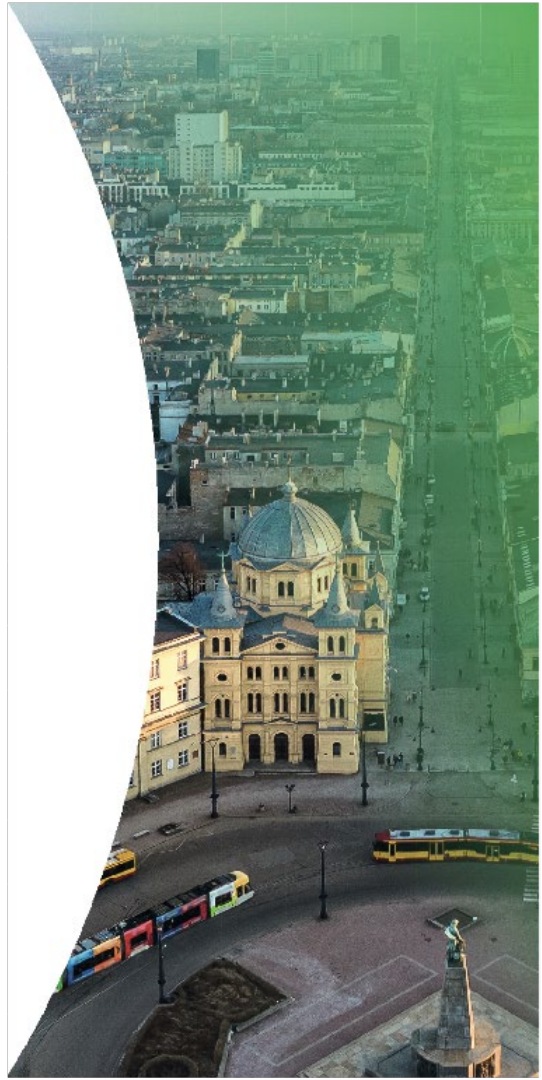
[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)



# 8. WPGI 2024

Zapraszamy do współpracy z  
Laboratorium Geologii Stosowanej oraz z **akredytowanym**  
Laboratorium Badań Wytrzymałościowych Skał



**8. WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)