

*Dominik Łukasiak\**

## ZMIENNOŚĆ WYTRZYMAŁOŚCIOWA PIASKOWCÓW GODULSKICH Z BRENNEJ W WARUNKACH JEDNOOSIOWEGO ŚCISKANIA

---

### 1. Wstęp

Piaskowce godulskie z Brennej charakteryzują się szarozielonym i szaroniebieskim zabarwieniem, co nadaje im znaczne walory dekoracyjne. Wspomniana właściwość piaskowców w zestawieniu z dobrymi parametrami budowlanymi sprawia, że wykorzystywane są jako materiał konstrukcyjny w obiektach architektonicznych wielu miast m.in. Warszawy, Krakowa, Wrocławia, Paryża, Berlina. Analiza dotychczasowych opracowań wytrzymałościowych dotyczących piaskowców z Brennej wskazuje na znaczne zróżnicowanie wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, dochodzące nawet do 140 MPa [6]. Wykorzystanie piaskowców jako materiału konstrukcyjnego wymaga scharakteryzowania zmienności wytrzymałości na ściskanie, czego dotyczy niniejsze opracowanie.

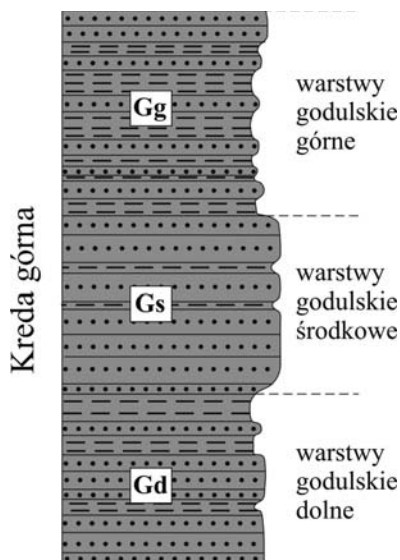
### 2. Informacje ogólne

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na materiale skalnym pozyskanym z czynnego kamieniołomu Głębiec, zlokalizowanym w miejscowości Brenna w północnej części Beskidu Śląskiego. Eksploatowane są w nim piaskowce godulskie środkowe wieku kredowego [2], wykształcone jako średnio i grubo ławicowe utwory skalne. Miąższości ławic piaskowców przekraczają 2,5 m i w niewielkim stopniu przeławiczone są iłowcami i mułowcami, co odróżnia je od warstw godulskich dolnych, eksploatowanych w rejonie Wisły, czy też warstw godulskich górnych nie pozyskiwanych ze względu na znaczne ilości przerostów iłowcowych (rys. 1).

Omawiany materiał skalny to piaskowiec drobnoziarnisty, o spoiwie ilasto-krzemionkowo-wapnistym, barwy szaroniebieskiej, a w części stropowej, w wyniku wietrzenia przecho-

---

\* Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, Warszawa



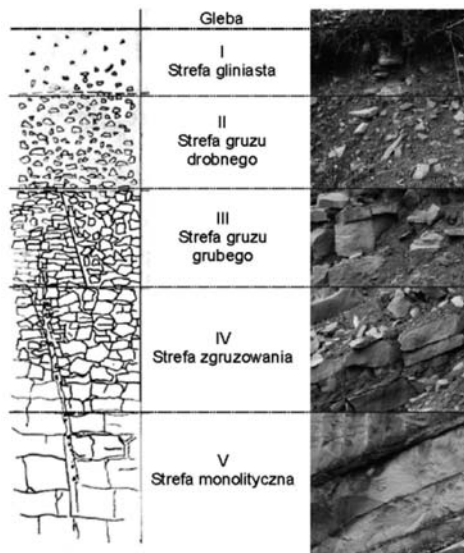
**Rys. 1.** Profil litologiczno-stratygraficzny warstw godulskich w Beskidzie Śląskim [8]

dzącej w w szarozieloną. W szkielecie ziarnowym w przeważającej ilości występuje kwarc o ziarnach nie przekraczających 1 mm oraz ortoklaz, plagioklaz, muskowit, biotyty i okruchy skalne. Sporadycznie występują również ziarna glaukonitu. Wysortowanie składników jest słabe, ułożenie ich wywołuje lekko zaznaczającą się kierunkowość równoległą do stropu warstw. Skład mineralny oraz projekcja na zmodyfikowanym schemacie Dotta [4] pozwalają określić piaskowiec z kamieniołomu Brenna Głębiec zgodnie z klasyfikacją Pettijohna, jako wakę arkozową.

### 3. Charakterystyka profilu wietrzeniowego

Ze względu na charakter opracowania, wykonano oznaczenie stref zwietrzenia w oparciu o profil wietrzeniowy masywów skalnych wg Dragowskiego [5]. Wyróżniono pięć stref zwietrzenia (rys. 2), z których gleba, strefa gliniasta (I), strefa gruzu drobnego (II) oraz grubego (III) nie są eksploatowane na cele kamienia budowlanego, dlatego też do szczegółowej analizy wytrzymałościowej badano strefę zgruzowania (IV) i monolityczną (V).

Masyw skalny w strefie monolitycznej charakteryzuje się materiałem o barwie niebieskoszarej, która w części stropowej kamieniołomu przechodzi w szarozieloną. Występują nieliczne spękania związane szczególnie z oddzielnością międzyławicową. Średnia szczelinowość powierzchniowa dla tej strefy wynosi 1,2 m/m<sup>2</sup>. Większe wartości wskaźnika wykazuje strefa zgruzowania, gdzie szczelinowość powierzchniowa określona została na 3,4 m/m<sup>2</sup>. Dodatkowo w wyniku odprężenia się masywu skalnego oraz procesów niszczących w strefie zgruzowania uwydatniły się spękania ciosowe prostopadłe do uławicenia. Na podstawie orientacji takich spękań określono główne kierunki naprężeń w polu trójosiowym



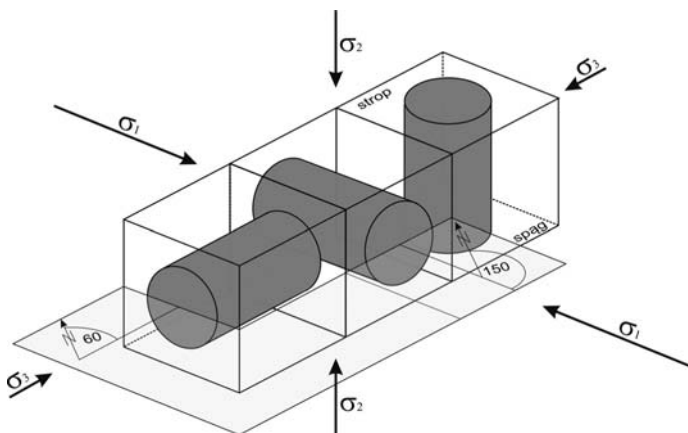
Rys. 2. Profil wiertniowy masywu skalnego w kamieniołomie Brenna Głębiec

$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . Dla obszaru Beskidu Śląskiego oś największego naprężenia  $\sigma_1$  występowała wzdłuż linii o azymucie  $330^\circ$  [9]. Barwa materiału skalnego ze strefy IV przechodzi w szarozieloną na skutek wzrostu intensywności oddziaływania procesów wietrzeniowych w strefie przypowierzchniowej terenu.

#### 4. Metodologia

Zorientowane monolity do badań wytrzymałościowych pobrano z warstwy skalnej o miąższości 0,4 m, ze strefy zgruzowania (IV) i monolitycznej (V). Wycięto próbki walcowe o średnicy 5 cm i smukłości 1, w trzech kierunkach odpowiadających głównym kierunkom naprężeń w polu trójosiowym  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  (rys. 3). Wycinane próbki zorientowano prostopadle i równoległe do uławicenia. W przypadku próbek równoległych do stropu i spagu warstw uwzględniono kierunki związane z osią największego ( $\sigma_1$ ) oraz najmniejszego ( $\sigma_3$ ) naprężania w masywie skalnym, poprzez zorientowanie zgodnie z linią o azymucie  $150^\circ$   $\sigma_1$  oraz  $60^\circ$  dla  $\sigma_3$ .

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono w warunkach ściskania jednoosiowego w prasie sztywnej MTS-815, zgodnie z procedurą stosowaną w badaniach właściwości i odkształcalności skał [11] oraz w oparciu o normę PN-84/B-04110 [12]. Obciążenie próbek przeprowadzono dwufazowo, z wykorzystaniem dwóch procedur prędkości obciążenia. W przeprowadzonych badaniach w pierwszej fazie procedur próbki skalne obciążano ze stałą prędkością przyrostu naprężenia osiowego 1,0 MPa/s. Po osiągnięciu 70% spodziewanej siły niszczącej zmieniano sterowanie i w drugiej fazie przyrost obciążenia był regulowany stałą prędkością przyrostu odkształcenia obwodowego rzędu  $6 \cdot 10^{-5}$  mm/mm/s.



Rys. 3. Schemat orientowania próbek skalnych

## 5. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie

Dotychczasowe badania wytrzymałościowe przeprowadzone na materiale skalnym z kamieniołomu Brenna Głębiec, przedstawiają znaczne zróżnicowanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (tab. 1). Zmienność uzyskanych parametrów osiąga nawet 140 MPa, przy maksymalnej wytrzymałości rzędu 204 MPa [6].

TABELA 1

### Zestawienie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie piaskowców z kamieniołomu Brenna Głębiec

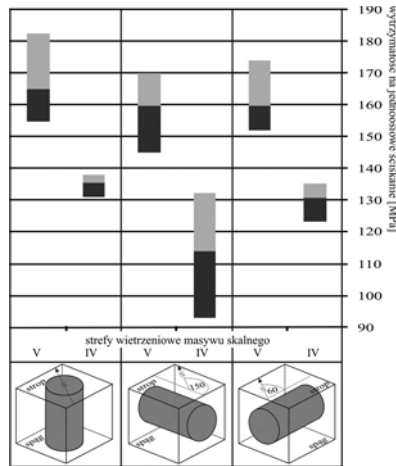
Autor	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie $R_c$ , MPa		
	min	śr.	max
Kamieński i in., 1968	58,7	81,4	129,5
Kozłowski, 1986	brak danych	88,0	brak danych
Jończy, 2000	57,2	143,2	203,8
Pinińska, 2003	113,7	119,5	124,9

Przeprowadzone badania własne wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wykazują zróżnicowanie wytrzymałościowe dla całego analizowanego zbioru w granicach 93–182 MPa (rys. 4). Jednakże przy określeniu wytrzymałości piaskowców dla wyznaczonych stref zwietrzenia masywu skalnego, zmienność analizowanych parametrów zmniejsza się zasadniczo. Piaskowce ze strefy monolitycznej wykazują wytrzymałość rzędu 145–182 MPa, natomiast materiał skalny ze strefy zgruzowania charakteryzuje się wytrzymałością rzędu 93–138 MPa.

Autorzy Boretti–Onyszkiewicz [1] oraz Domonik [3] wykazali wpływ anizotropii utworów fliszowych na parametry wytrzymałościowe, wywołanej paleonapreżeniem

w masywie skalnym. W przeprowadzonych badaniach powyższa zależność zaznacza się w niewielkim stopniu.

Uwzględniając główne kierunki naprężeń w masywie skalnym największą wytrzymałością, w przedziale 155–182 MPa, charakteryzują się piaskowce ze strefy monolitycznej (V), dla których badanie wykonano zgodnie z kierunkiem naprężania  $\sigma_2$ . Piaskowce niezwierteżale w kierunku równoległym do stropu warstwy wykazują wartości w przedziale 145–170 MPa dla osi naprężania  $\sigma_1$  oraz 152–174 MPa dla  $\sigma_3$ .



**Rys. 4.** Zakresy zmienności wytrzymałości  $R_c$  z uwzględnieniem stref wietrzenia masywu skalnego oraz głównych kierunków paleonaprężeń w polu trójosiowym  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

Piaskowce zwierteżale (IV) w kierunku odpowiadającym osi naprężenia  $\sigma_1$  charakteryzują się najniższymi wartościami wytrzymałości ( $R_c$ ) dla badanego zbioru, określonymi na 93–132 MPa. W kierunku zgodnym z naprężeniami  $\sigma_3$  wytrzymałość wynosi 123–135 MPa, natomiast prostopadle do uławicenia ( $\sigma_2$ ) piaskowce wykazują  $R_c$  rzędu 131–138 MPa, co stanowi największą wytrzymałość materiału w obrębie strefy zgruzowania (IV).

W celu scharakteryzowania zmienności piaskowców określono wskaźnik anizotropii wytrzymałościowej (1) oraz wskaźnik deterioracji (2) wskazujący zmiany parametrów skały w wyniku działania procesów niszczących.

$$A = \frac{R_c \sigma_x}{R_c \sigma_x} \quad (1)$$

gdzie:

- $A$  — anizotropia wytrzymałościowa,
- $R_c \sigma_x$  — wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie w kierunkach  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , MPa

$$I = \frac{R_c \cdot V}{R_c \cdot IV} \quad (2)$$

gdzie:

- $I$  — wskaźnik deterioracji,
- $R_c \cdot V$  — wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie materiału niezwięzłego, MPa,
- $R_c \cdot IV$  — wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie materiału zwięzłego, MPa.

Powyższe parametry wyznaczono na podstawie wartości średnich dla grup próbek przypisanych dla określonego kierunku paleonaprężenia ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) oraz strefy zwięzienia masywu skalnego (V, IV).

Anizotropia wytrzymałości piaskowców godulskich w największym stopniu uwidacznia się dla kierunku prostopadłego do uławicenia ( $\sigma_2$ ) oraz osi naprężenia  $\sigma_1$ . Wynosi odpowiednio dla strefy monolitycznej i zgruzowania 1,03 oraz 1,19. Jednakże anizotropia dla opisanych kierunków wynikać może z warstwowania zorientowanego równoległe do spągu warstw, przy nieznacznym wpływie paleonaprężeń. Niewielki wpływ naprężeń występujących w masywie skalnym można określić na podstawie anizotropii wyznaczonej z wytrzymałość piaskowców w kierunkach minimalnego ( $\sigma_3$ ) oraz maksymalnego ( $\sigma_1$ ) naprężenia. Dla strefy zgruzowania (IV) anizotropia wynosi 1,15, natomiast brak anizotropii widoczny jest dla piaskowców niezwięzłych (V) gdzie obliczenia wynoszą 1.

Większy wpływ na zmienność wytrzymałości analizowanych piaskowców mają wszechobecne procesy wietrzeniowe, wpływające na pogorszenie właściwości geomechanicznych materiału skalnego. Potwierdzeniem jest wyznaczony wskaźnik deterioracji, wskazujący obniżenie wytrzymałości materiału zwięzłego w stosunku do piaskowców ze strefy monolitycznej. Największa destrukcja nastąpiła w kierunku zgodnym z osią największego naprężenia ( $\sigma_1$ ) gdzie wskaźnik deterioracji określono na 1,40. Materiał skalny w kierunku  $\sigma_3$  oraz  $\sigma_2$  również uległ pogorszeniu jednakże w nieco mniejszym stopniu ( $I = 1,22$  oraz  $I = 1,21$ ).

## 6. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono zmienność wytrzymałości piaskowców godulskich z Brennej. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że większy wpływ na zróżnicowanie wytrzymałościowe piaskowców mają procesy wietrzeniowe oddziałujące na masyw skalny, niż warstwowanie materiału skalnego oraz paleonaprężenia. Obniżenie wytrzymałości piaskowców zwięzłych w odniesieniu do materiału niezwięzłego może osiągać dla wartości średnich aż 46 MPa, co odpowiada spadkowi wytrzymałości o 40%. Maksymalna wytrzymałość piaskowców w strefie zgruzowania osiąga 138 MPa, natomiast minimalna dla materiału skalnego ze strefy monolitycznej wynosi 145 MPa. Wynika zatem, że należy oddzielnie analizować wytrzymałość piaskowców o różnym stopniu zwięzienia, gdyż jest to materiał o odmiennych charakterystykach wytrzymałościowych, co ma duże znaczenie przy wykorzystywaniu piaskowców jako materiału konstrukcyjnego.

## LITERATURA

- [1] *Boretti–Onyszkiewicz W.*: Anizotropia ciosowa piaskowców fliszowych podhala zachodniego w świetle badań wytrzymałościowych. *Biuletyn Geologiczny*, Tom 10, 1968
- [2] *Burtan, J.*: Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Wisła, Warszawa 1973
- [3] *Domonik A.*: Odwzorowanie powierzchni ciosowych piaskowców fliszu podhalańskiego w badaniach wytrzymałościowych z wybranych odsłoneń niecki podhalańskiej. *Przegląd Geologiczny*, Tom 51, Nr 5, 2003, s. 430–435
- [4] *Dott R.H.*: Ancient Deltaic Sedimentation in Eugeosynclinal Belte. *Development in Sedimentology*, 1, 1964, s. 105–113
- [5] *Drągowski A.*: Wybrane problemy badawcze zwierzelin i gruntów antropogenicznych dla posadowienia budowli. Materiały konferencyjne: „Budownictwo na gruntach słabych, nasypanych i antropogenicznych rejonu Warszawy”, 1979, s. 47–61
- [6] *Jonczy I.*: Uwagi o charakterystyce petrograficznej piaskowców godulskich ze złóż w Brennej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo*, z. 246–1, 2000
- [7] *Kamiński M., Peszat C., Rutkowski J.*: O wykształceniu i własnościach technicznych piaskowców godulskich. *Zeszyt naukowy nr 12, AGH, Kraków* 1968
- [8] *Kozłowski S.*: Surowce skalne Polski. *Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa* 1986
- [9] *Mastella L., Konon A.*: Tektoniczne wygięcie łuku Karpat zewnętrznych w świetle analizy ciosu w płaszczowinie śląskiej. *Przegląd Geologiczny*, Tom 50, Nr 6, 2002, s. 541–550
- [10] *Niecieruk P., Wójcik A.*: Przewodnik LXVII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. *Szczyrk* 6–9. 06. 1996
- [11] *Pinińska J., Dziedzic A.*: Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część V Region Lubelski. *Katalog. Warszawa, Zakład Geomechaniki, Wydział Geologii UW*, 2006.
- [12] Polska Norma PN-84/B-04110 Oznaczenie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie