

*Grażyna Gaszyńska-Freiwald\**

## DEFORMACYJNE WŁAŚCIWOŚCI LAMINOWANYCH UTWORÓW ILASTYCH

---

### 1. Wstęp

Grunty ilaste, w zależności od składu mineralogicznego, wykazują właściwości pęczniące, które wpływa między innymi na osłabienie ich parametrów mechanicznych. Badania swobodnego pęcznienia oraz ciśnienia pęcznienia przeprowadzono na iłolupkach wchodzących w skład profilu litologicznego fliszu karpackiego. Próbki do badań pochodziły z otworów wiertniczych wykonanych na terenach osuwiskowych w rejonie budowanego zbiornika wodnego w Świnnej Porębie.

W obrębie utworów fliszowych, zbudowanych między innymi z iłów i iłolupków, rozwijają się liczne procesy osuwiskowe. Ważnym czynnikiem generującym powstawanie osuwisk jest między innymi zmiana tekstury i struktury gruntów ilastych. Może się to objawiać poprzez powstawanie szczelin i spękań, ułatwiających przenikanie wody, co w konsekwencji prowadzi do osłabienia parametrów wytrzymałościowych. Są to tzw. spękania uwarstwienia, które oddzielają od siebie poszczególne ławice, bądź spękania występujące w obrębie laminacji ławic gruntu. Kolejny rodzaj spękań to złupkowacenia, które tworzą gęstą sieć i są najczęściej równoległe do uwarstwienia [4]. Tego typu tekstura iłów i iłolupków powoduje, że ośrodek jest mechanicznie anizotropowy. Bardzo wyraźnie to widać w badaniach ścinania kompleksów piaskowcowo-lupkowych utworów pochodzących z rejonu zbiornika wodnego w Świnnej Porębie [5]. Osuwiska naturalnych zboczy zbudowanych ze skał fliszowych, a także skarp budowli ziemnych w tym rejonie stanowią poważny problem ekologiczny i gospodarczy.

### 2. Wyniki badań — interpretacja i analiza

Próbki do badań zostały pobrane z rdzeni otworów wykonanych w latach 2005 i 2007 w rejonie będącego w trakcie budowy zbiornika wodnego w Świnnej Porębie. Podstawowe

---

\* Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, Kraków

badania właściwości fizycznych i mechanicznych wyżej wymienionych gruntów wykonano na próbkach o nienaruszonej strukturze wg obowiązujących przepisów.

Według PN-86/B-02480 badane grunty należą do ilów z wyraźną dominacją frakcji ilastej, według PN-EN ISO 14688 są to przede wszystkim pyły piaszczysto-ilaste, ily piaszczyste, ily piaszczysto-pylaste, pyły ilaste. Ze względu na specyficzną strukturę i teksturę badanego gruntu — wyraźnie widoczna laminacja, w dalszej części grunty te nazwane są łożupkami. W celu określenia parametrów geotechnicznych wykonano podstawowe badania określające właściwości fizyczne i mechaniczne [1]. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

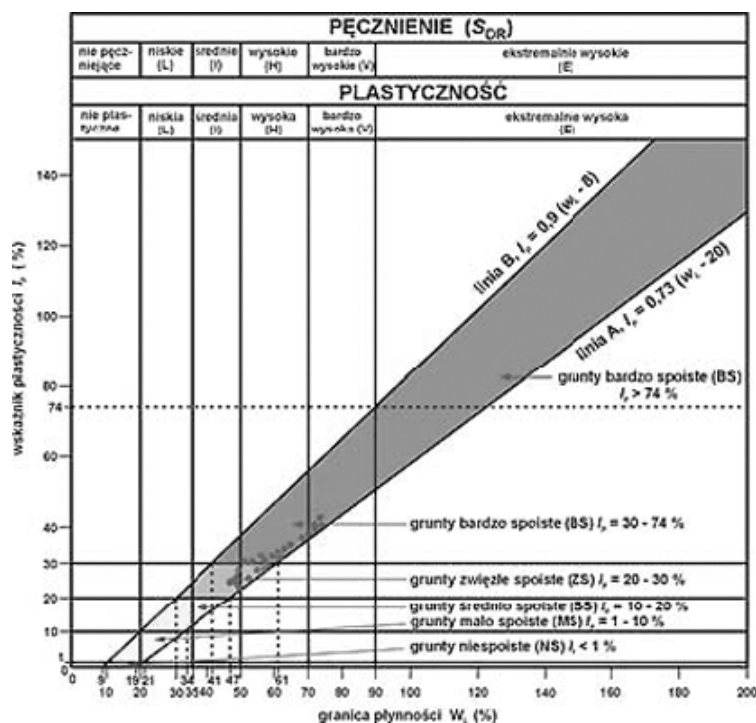
TABELA 1  
Właściwości fizyczne i mechaniczne łożupków

Wilgotność naturalna $w_n$ [%]		7,4÷16,7
Gęstość objętościowa $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]		1,99÷2,16
Stopień plastyczności $I_p$ [-]		0,0÷0,10 pzw – tpi
Moduły odkształcenia pierwotnego $M_0$ [kPa]	100÷200	5854÷8321
	200÷400	6980÷14017
Ścinanie bezpośrednie	c [kPa]	14,6÷39,8
	$\varphi$ [°]	23,1÷32,3
Ciśnienie pęcznienia $P_c$ [kPa]		18,75÷150,0
Pęcznienie swobodne $\varepsilon_p$ [%]		0,3÷37

Dla określenia składu mineralogicznego wykonano badanie dyfraktometrem rentgenowskim ARL X'Tra. Głównym tworzywem zidentyfikowanego łożupka jest mieszanopakietowy minerał illit — smektyt, który zbudowany jest z pakietów illitowych i smektytowych [1].

Na podstawie nomogramu Casagrande'a określono plastyczność oraz pęcznienie łożupków (rys. 1). Wynika z niego że badane grunty należy zaliczyć do gruntów o plastyczności od średniej do bardzo wysokiej, a ich pęcznienie jest również określane w granicach od średniego do bardzo wysokiego. Pod względem spoistości badane łożupki klasyfikuje się jako zwężło-spoiste i bardzo spoiste.

Kolejnym etapem badań było sprawdzenie wpływu nachylenia lamin łożupków, identyfikując owo nachylenie jako parametr jednoskośnej anizotropii, na wielkość pęcznienia. Badanie ciśnienia pęcznienia oraz wskaźnika pęcznienia wykonano w edometrze, do którego doprowadzono wodę oraz zamontowano pierścień, który umożliwiał stałe nasycenie próbki. Ponadto edometr ten wyposażono w dodatkowy czujnik przemieszczeń, umożliwiający określenie położenia powierzchni spęczniającej próbki [1]. Ze względu na zawartość minerałów z grupy smektytu grunty te są podatne na pęcznienie, osiągając wysokie wartości wyżej wymienionych parametrów.



Rys. 1. Nomogram Casagrande'a zmodyfikowany przez Grafowską-Olszewską [2]

Poniższe wykresy (rys. 2) zostały wykonane na podstawie wyników badań doświadczalnych i przedstawiają wyraźny wpływ kąta nachylenia lamin na wielkość pęcznienia swobodnego. Maksimum tej wartości jest osiągane przy nachyleniu lamin  $30 \div 45^\circ$ .

Przy poziomym uławiceniu wartość swobodnego pęcznienia stanowi  $50 \div 70\%$  tego maksimum i rośnie ze wzrostem kąta nachylenia. Po osiągnięciu maksimum, wartość swobodnego pęcznienia maleje ze wzrostem kąta nachylenia lamin, zanikając przy prostopadłym ułożeniu lamin do zera.

Do opisu wykresów zamieszczonych na rysunku 2 wykorzystano funkcję w postaci:

$$\varepsilon = -\varepsilon_0 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2 + (\alpha - \alpha_g)^2}, \quad (1)$$

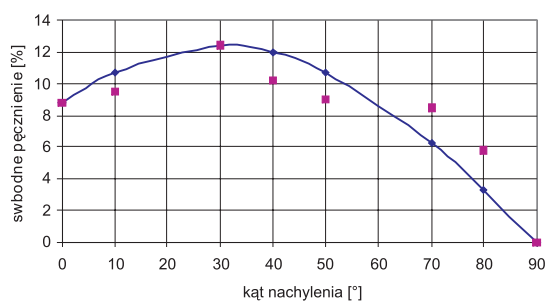
gdzie:

- $\varepsilon_0$  — wartość swobodnego pęcznienia dla  $\alpha = 0$ ,
- $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — współczynniki,
- $\alpha$  — kąt nachylenia lamin,
- $\alpha_g$  — kąt nachylenia lamin dla maksymalnej wartości swobodnego pęcznienia.

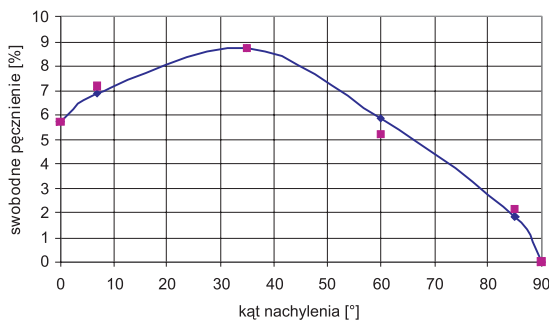
Po przekształceniach, równanie funkcji (1) można przedstawić w następujący sposób:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - (\varepsilon_g - \varepsilon_0) \cdot \frac{\varepsilon_0 \cdot \frac{\alpha_g^2 - (\alpha - \alpha_g)^2}{\alpha_g^2 - (90 - \alpha_g)^2}}{\varepsilon_g \cdot \frac{(\alpha - \alpha_g)^2}{(90 - \alpha_g)^2} - \varepsilon_0 \cdot \frac{\alpha_g^2 - (\alpha - \alpha_g)^2}{\alpha_g^2 - (90 - \alpha_g)^2}}, \quad (2)$$

gdzie  $\varepsilon_g$  — maksymalna wartość swobodnego pęcznienia.



łożupek A



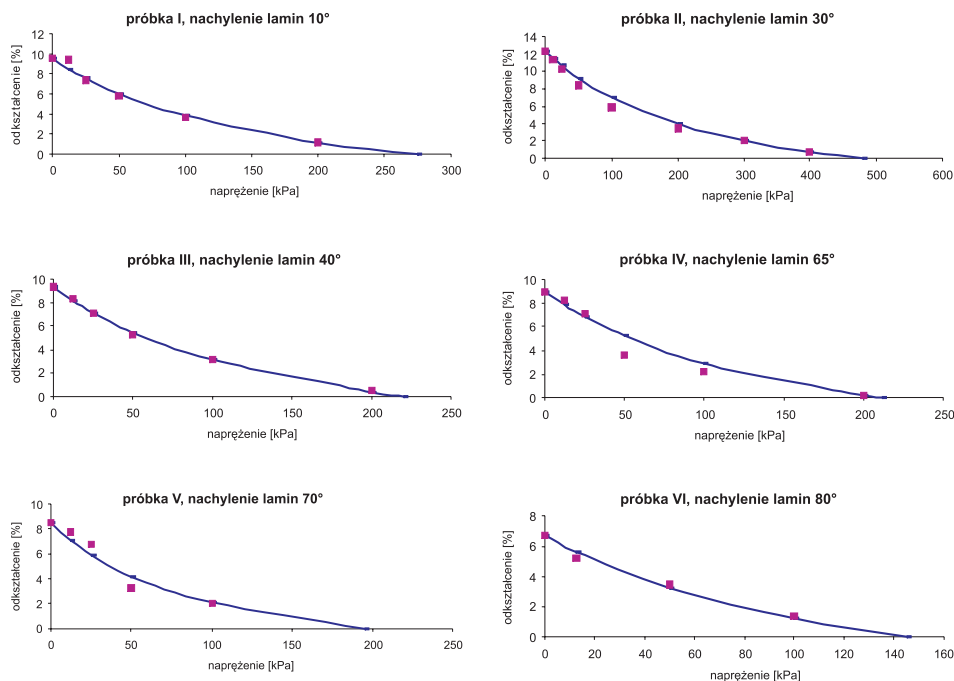
łożupek B

**Rys. 2.** Zależność swobodnego pęcznienia od kąta nachylenia lamin łożupka

Następnie wykonano badanie redukcji swobodnego pęcznienia. Próbką była poddawana kolejno naciskom 12,5, 25, 50, 100, 200, 300, 400 i 500 kPa. Badanie było wykonane na 6 próbkach łożupka z tego samego rdzenia o jednakowej wilgotności początkowej, a różnym kącie nachylenia lamin — próbka łożupek A [1].

Z wykresów (rys. 3) widać, że największe odkształcenie gruntu — redukcja swobodnego pęcznienia, ma miejsce przy obciążeniach do 100 kPa. Przy wyższych obciążeniach wskaźnik pęcznienia maleje wolniej. Po redukcji pęcznienia następuje proces osiadania próbki. Cha-

rakter krzywych pęcznienia jest bardzo podobny do krzywej osiadania otrzymywanej podczas badania w edometrze.



**Rys. 3.** Wykresy zależności zmiany swobodnego pęcznienia od wzrostu obciążenia iłupków

Powyższe krzywe zostały opisane następującą funkcją:

$$y = \frac{a \cdot x + b}{c \cdot x + d}, \quad (3)$$

gdzie:

$y = \varepsilon$  — odkształcenie próbki wynikające z pęcznienia,

$x = \sigma$  — obciążenie jednostkowe próbki podczas badania,

$a, b, c, d$  — wyrazy wolne,

stąd:

$$\varepsilon = \frac{a \cdot \sigma + b}{c \cdot \sigma + d} \quad (4)$$

dla  $\varepsilon = 0 \Rightarrow \sigma = p_d$ ,

gdzie:  $p_d$  — ciśnienie dławienia.

Po podstawieniu do równania (4) otrzymujemy:

$$\varepsilon = \varepsilon_p \cdot \frac{p_d - \sigma}{p_d - z \cdot \sigma} \quad (5)$$

gdzie:

$$z = \varepsilon_p \cdot \frac{c}{a} \quad (6)$$

- $a, c$  — wyrazy wolne,  
 $\varepsilon_p$  — pęcznienie swobodne,  
 $\sigma$  — obciążenie jednostkowe próbki,  
 $p_d$  — ciśnienie dławienia.

Z wykresów można odczytać wartość ciśnienia dławienia, które jest ciśnieniem pęcznienia badanym metodą konsolidacyjną (rys. 2). Wartość tego ciśnienia dla poszczególnych próbek waha się od 145 do 480 kPa. W tabeli 1 przedstawiono wyniki badania ciśnienia pęcznienia metodą stałej objętości i jego wartość wynosi 18,75÷150 kPa. Taka różnica może wynikać z metodyki badań. Według Fredlunda metoda konsolidacyjna umożliwia ostrożne projektowanie na gruntach ekspansywnych oraz daje zbliżone wartości ciśnienia pęcznienia panującego w warunkach naturalnych [3].

### 3. Wnioski

Specyficzną strukturę łożysk, jaką jest laminacja, potraktowano jako jednoskośną anizotropię tych gruntów. Laminacja powoduje, że grunty te pęcznią nierównomiernie na powierzchni stropowej, woda ma również łatwiejszy dostęp pomiędzy laminy i w głąb warstwy. Szczególny nacisk położono na badanie wpływu kierunku nachylenia lamin na właściwości i parametry pęcznienia tych gruntów. Maksymalna wartość pęcznienia jest osiągana przy nachyleniu lamin 30÷45°. Z uwagi na to, że nachylenie lamin w naturalnym podłożu terenów osuwiskowych często ma wartości w granicach około 15÷40°, uzyskane informacje o ekstremalnym pęcznieniu należy uznać za bardzo ważne.

W wyniku badań ciśnienia pęcznienia metodą stałej objętości oraz konsolidacyjną uzyskano zdecydowanie wyższe wartości ciśnienia pęcznienia metodą konsolidacyjną.

#### LITERATURA

- [1] *Gaszyńska-Freiwald G.*: Wpływ laminacji na właściwości pęczniące gruntów ilastych fliszu karpackiego. Politechnika Krakowska, Kraków, 2008 (rozprawa doktorska)
- [2] *Grabowska-Olszewska B.*: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. Warszawa, PWN 1998
- [3] *Niedzielski A.*: Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie ilów poznańskich i warwowych. Poznań, Roczniki AR, z. 238, 1993
- [4] *Thiel K. i in.*: Właściwości fizyko-mechaniczne i modele maszywów skalnych polskich Karpat fliszowych. Gdańsk Instytut Budownictwa Wodnego PAN, 1995
- [5] *Zabuski L., Thiel K., Bober L.*: Osuwiska we fliszu Karpat Polskich. Geologia — modelowanie — obliczenia stateczności. Gdańsk, Wydawnictwo IBW PAN, 1999