

WPŁYW TEKSTURY IŁOŁUPKÓW FLISZU KARPACKIEGO NA PARAMETRY DEFORMACJI

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienie dotyczące pęcznienia utworów ilastych pochodzących z terenów osuwiskowych w rejonie budowanego zbiornika wodnego w Świnnej Porębie. Grunty te charakteryzują się laminacją, która ma wpływ na wartość parametrów deformacji, a zwłaszcza na wielkość pęcznienia. Wraz ze wzrostem pęcznienia rośnie wilgotność tych utworów, co ma wpływ na osłabienie parametrów mechanicznych i może spowodować uaktywnienie się różnorodnych procesów geodynamicznych.

SŁOWA KLUCZOWE

Iłołupki, pęcznienie, jednoskośna anizotropia

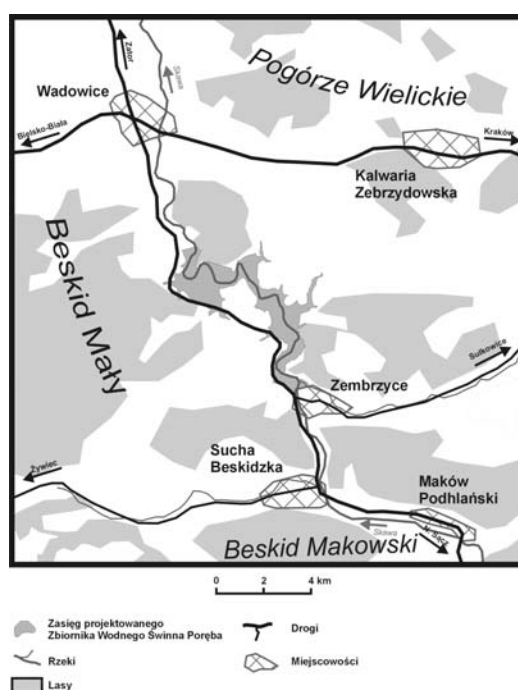
* * *

WPROWADZENIE

Flisz karpacki jest zbudowany z pakietów łupkowo-piaskowcowych. Dotychczas na tego typu utworach przeprowadzono głównie badania określające parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe (Zabuski i in. 1999; Kaczyński 2004; Borys i in. 2006; Broniatowska 2008). Natomiast niewiele jest informacji o pęcznieniu i wpływie uwarstwienia utworów ilastych fliszu karpackiego na jego wielkość. Tego typu badania były przeprowadzone jedynie dla iłów poznańskich, jednakże występujących poza obrębem Karpat fliszowych (Niedzielski 1993; Superczyńska 2006). W związku z tym w pracy został położony szczególny nacisk na badania utworów ilastych określające te właściwości. Ze względu na laminacje w dalszej części artykułu utwory te będą nazywane iłołupkami, a tekstura laminowana tych utworów została potraktowana jako jednoskośna anizotropia.

1. OKREŚLENIE PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH I MECHANICZNYCH BADANEGO GRUNTU

Do badań wykorzystano utwory pochodzące z rejonu budowanego na rzece Skawie zbiornika wodnego w Świnnej Porębie. Próbki zostały pobrane z rdzeni otworów, które były wykonywane głównie na obszarach osuwiskowych w południowej i zachodniej części omawianego obszaru (rys. 1). Głębokość otworów badawczych dochodziła do około 25 m p.p.t.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań

Fig. 1. Location of the research area

Pod względem strukturalnym północna część obszaru badań należy do jednostki śląskiej, w obrębie której wyróżnia się piaskowce i łupki krośnieńskie, warstwy godulskie górne – piaskowce i łupki, warstwy istebniańskie dolne – piaskowce i łupki oraz warstwy hieroglify. Południowa część omawianego obszaru należy do jednostki magurskiej, w profilu litologicznym której występują przed wszystkim piaskowce glaukonitowe warstw magurskich, ciężkowickich i inoceramowych oraz w mniejszym stopniu łupki pstrze i ilaste (Książkiewicz 1974).

Przez omawiany obszar przebiega nasunięcie jednostki magurskiej na śląską. Strefa nasunięcia o przebiegu SW-NE jest zaburzona tektonicznie, a warstwy są silnie zbrekcjonowane i rozluźnione, co sprzyja powstawaniu osuwisk (Fiszler 1988; Gałaś, Paulo 2001).

Całość terenu badań jest pokryta utworami czwartorzędowymi wykształconymi w postaci glin i pyłów z rumoszem o miąższości do kilku metrów. W dnach dolin występują osady rzeczne, do których zalicza się żwiry, pospółki i piaski różnoziarniste.

Do badań wytypowano próbki o nienaruszonej strukturze, w stanie twardoplastycznym lub półzwardłym z widoczną laminacją (fot. 1).



Fot. 1. Fragment próbki łożupki z możliwością pomiaru kąta nachylenia lamin α pochodzącego z terenów osuwiskowych w rejonie budowanego zbiornika wodnego w Świnnej Porębie

Phot. 1. The sample of clay-shale with visible laminae genesis from landslide area near water reservoir in Świnna Poręba

W aparacie ARL X'Tra wykonano badania mające na celu określenie składu mineralogicznego. Na ich podstawie stwierdzono, że głównym minerałem budującym grunt był mieszanopakietowy minerał illit-smektyt. Pakietów smektytowych, podatnych na pęcznienie było 38% (Gaszyńska-Freiwald 2008).

Na podstawie analizy składu granulometrycznego badane grunty zostały zakwalifikowane do iłów, według PN-EN ISO 14688 były to przede wszystkim pyły piaszczysto-ilaste, ily piaszczyste, ily piaszczysto-pylaste, pyły ilaste. Ze względu na laminowaną teksturę badanego gruntu zostały one nazwane łożupkami.

Podstawowe właściwości fizyczne określono na próbkach gruntu o naturalnej wilgotności i nienaruszonej strukturze według obowiązujących przepisów i norm. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

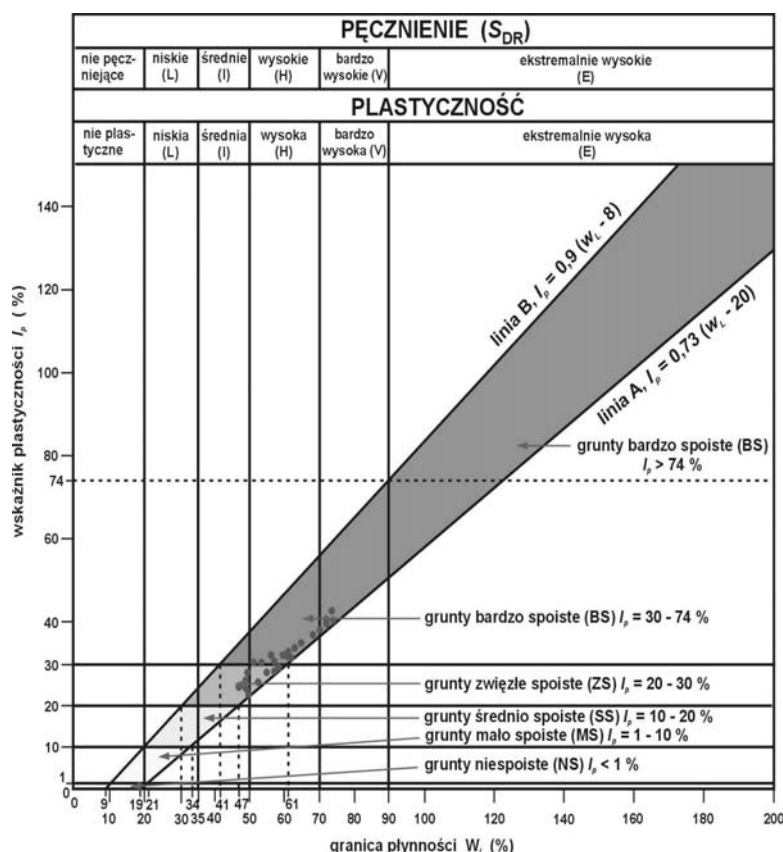
Zestawienie parametrów fizycznych badanych łożupków

Table 1

Physical properties of clay-shale

Rodzaj gruntu	Wilgotność naturalna w_n [%]	Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³]	Gęstość właściwa ρ_s [g/cm ³]	Stopień plastyczności I_p [-]	Wskaźnik porowatości e [-]
Łożupki	7,4–16,7	1,99–2,16	2,71–2,73	0,0–0,10 pzw - tpi	0,44–0,68

Na podstawie nomogramu Casagrande'a łąłupki z rejonu budowanego zbiornika wodnego w Świnnej Porębie można zaliczyć do gruntów o plastyczności od średniej do bardzo wysokiej oraz o pęcznieniu od średniego do bardzo wysokiego (rys. 2): Grabowska-Olszewska (1998), Gaszyńska-Freiwald (2008).



Rys. 2. Nomogram Casagrande'a zmodyfikowany przez Grabowską-Olszewską (1998)

• – punkty otrzymane z badań gruntów ilastych

Fig. 2. The nomogram of Casagrande'a modified by Grabowska-Olszewska (1998)

• – points obtained from clay-shale tests

Badania wytrzymałościowe gruntów ilastych wykonano w aparacie AB-1, o wymiarach skrzynki 6×6 cm. Ścinanie przeprowadzono z prędkością 1mm/min (Borys i in. 2006). Podczas badania laminy w gruncie były ułożone poziomo w stosunku do powierzchni ścinania. Moduły odkształcenia wyznaczono na podstawie badań przeprowadzonych w edometrze o średnicy pierścienia 6,5 cm. Próbkę były obciążane w zakresie od 12,5 kPa do 400 kPa. Badanie ciśnienia pęcznienia oraz wskaźnika pęcznienia wykonano w edometrze, do którego doprowadzono wodę oraz zamontowano pierścień, umożliwiający stałe nasycenie próbki. Zestawienie wyników badań właściwości mechanicznych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie parametrów mechanicznych badanych iłolupków

Table 2

Mechanical properties of clay-shale

Rodzaj gruntu	Ścinanie bezpośrednie		Moduł odkształcenia pierwotnego M_0 [kPa]		Wspł. filtracji k [m/s]	Ciśnienie pęcznienia P_c [kPa]	Swobodne pęcznienie ε_c [%]
	Φ [°]	c [kPa]	100–200	200–400			
Iłolupki	23,1–32,3	14,6–39,8	5 800–8 300	6 980–14 000	$6,17 \cdot 10^{-11}$ – $-2,25 \cdot 10^{-10}$	18,75–150,0	0,3–37

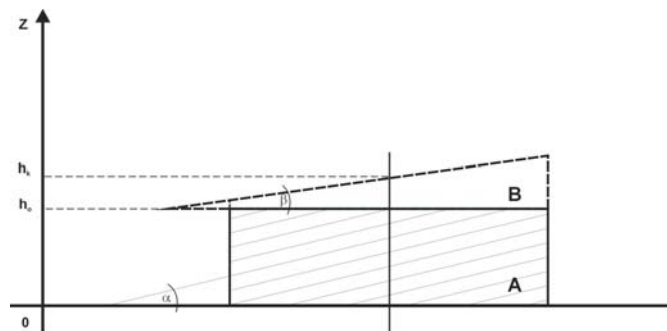
2. BADANIA PĘCZNIENIA IŁOŁUPKÓW**2.1. Metodyka badań**

Badanie swobodnego pęcznienia gruntu przeprowadza się w celu określenia zdolności do zwiększania objętości przy ich kontakcie z wodą. Tekstura gruntów ilastych typu iłolupek, przejawiająca się przez laminację, ma wpływ na wielkość swobodnego pęcznienia. Występowanie laminacji w gruncie można traktować jako przejaw jednoskośnej anizotropii.

W pracy określono wpływ nachylenia lamin, identyfikując owo nachylenie jako parametr jednoskośnej anizotropii, na swobodne pęcznienie i ciśnienie pęcznienia. Zostały również wykonane oznaczenia redukcji pęcznienia przez obciążanie próbki oraz porównanie odkształcalności gruntów spęczniałych i niespęczniałych. Badania te zostały wykonane w specjalnie oprzyrządowanym edometrze z trzema czujnikami, co umożliwiło stałą obserwację zmiany wysokości próbki podczas testu. Trzeci czujnik był niezbędny do wprowadzenia przestrzennego układu współrzędnych i dokładnego obliczenia wielkości swobodnego pęcznienia oraz znalezienia równania płaszczyzny powierzchni spęczniałej próbki (Gaszyńska-Freiwald 2008).

2.2. Wyniki badań – interpretacja i analiza

Wilgotność początkowa wytypowanych gruntów ilastych wahała się w granicach od około 7% do około 18%. Wyższa wartość wilgotności powodowała wyraźny spadek zdolności do pęcznienia. Badania pęcznienia były przeprowadzone ze szczególnym uwzględnieniem kąta nachylenia lamin. Z tego samego rdzenia przygotowywano po kilka próbek, w których za każdym razem laminy były nachylone pod innym kątem, w zakresie od 0° do 90° – próbka I i II. Celem tak przeprowadzonych badań było sprawdzenie i określenie wpływu anizotropii, przejawiającej się przez uwarstwienie, na wielkość swobodnego pęcznienia (rys. 3).

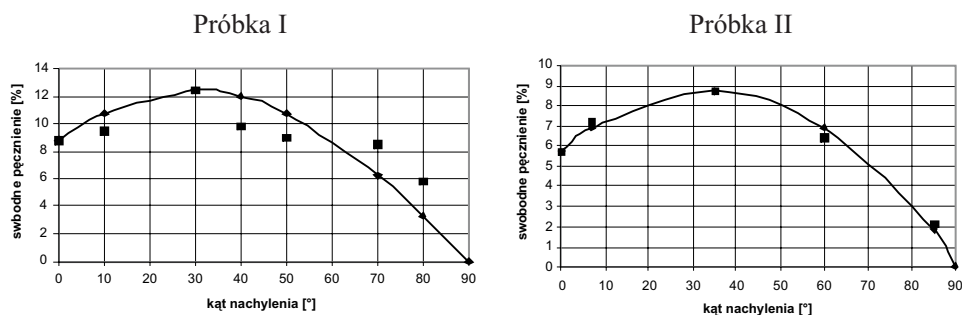


Rys. 3. Przekrój osiowy próbki gruntu w kierunku prostopadłym do płaszczyzny laminacji: A – próbka gruntu ilastego przed spęcznieniem, B – spęczniata próbka gruntu ilastego, α – kąt nachylenia lamin w próbce, β – kąt nachylenia spęcznionej powierzchni próbki, z – wysokość, h_0 – początkowa wysokość próbki, h_k – końcowa wysokość środka próbki

Fig. 3. Axial cross-section of the soil sample in a direction perpendicular to the plane of lamination:

A – sample of clay-shale before swelling, B – swollen clay-shale sample, α – inclination angle of laminae in soil sample, β – inclination angle of the surface swollen sample soil, z – height, h_0 – initial height of sample, h_k – final height of center sample

Wyniki badań doświadczalnych przedstawiono w formie wykresów, na których widać wyraźny wpływ kąta nachylenia lamin w próbce α na wielkość pęcznienia swobodnego (rys. 4). Maksymalną wartość swobodnego pęcznienia próbki gruntu osiągają przy nachyleniu lamin pod kątem od 30° do 45° . Nie zauważono natomiast wpływu kierunku laminacji na wartość kąta β .



Rys. 4. Zależność swobodnego pęcznienia od kąta nachylenia lamin

Fig. 4. Relationship between angle inclination of laminae and free swelling

Do opisu krzywych z wykresu wykorzystano funkcję (Gaszyńska-Freiwald 2008):

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

gdzie:

- $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – współczynniki wyznaczone na podstawie przyjętych poniżej założeń,
- α – kąt nachylenia lamin,
- α_g – kąt nachylenia lamin dla maks. wartości swobodnego pęcznienia.

Przyjęto następujące założenia:

- $\alpha = 0 \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_0$ poziomy układ laminacji,
- $\alpha = 90 \Rightarrow \varepsilon = 0$ pionowy układ laminacji,
- $\alpha = \alpha_g \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_g$ maksymalne swobodne pęcznienie,

gdzie:

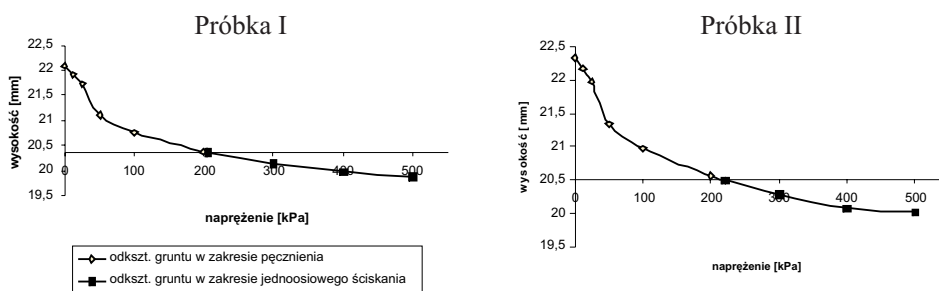
- ε_0 – wartość swobodnego pęcznienia dla $\alpha = 0$,
- ε_g – maks. wartość swobodnego pęcznienia.

Po uwzględnieniu powyższych założeń funkcję (1) można przedstawić w następujący sposób:

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

Wyliczony błąd dla poszczególnych próbek waha się w granicach od 2,9% do 6,0%. Wszystkie wielkości zawarte w przedstawionej funkcji są otrzymywane podczas badań laboratoryjnych.

Kolejnym etapem badań było obciążenie spęczniałych próbek łąłupka do momentu uzyskania przez próbkę wysokości początkowej. Krzywe, które obrazują proces dławienia pęcznienia przedstawiono dla dwóch próbek gruntu na poniższych wykresach (rys. 5). Największe odkształcenie gruntu ma miejsce przy obciążeniach w zakresie od 12,5 kPa do 100 kPa.



Rys. 5. Wykresy zależności odkształcenia od napężenia dla spęczniałych próbek łąłupka

Fig. 5. Relationship between stress and deformation for swelling samples

Na podstawie analizy wykresów (rys. 4) zależność zmiany pęcznienia próbki ε_i funkcji naprężenia σ można zapisać jako związek:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma}{M_p} \quad (3)$$

gdzie:

M_p – jest odpowiednikiem modułu odkształcenia w procesie dławienia pęcznienia – moduł pęcznienia.

Moduł pęcznienia można wyznaczyć z warunku redukcji wysokości spęczniałej próbki do jej wysokości początkowej:

$$M_p = \frac{p_d}{\varepsilon_p} \quad (4)$$

gdzie:

p_d – obciążenie próbki swobodnie spęczniałej redukujące jej wysokość do wysokości początkowej,

ε_p – swobodne pęcznienie.

Z wykresów (rys. 5) wynika, że całkowite odkształcenie próbki wynikające z procesu dławienia pęcznienia i jednoosiowego ściskania można zapisać w następujący sposób:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (5)$$

gdzie:

ε_1 – odkształcenia wynikające z dławienia pęcznienia,

ε_2 – odkształcenie odpowiadające ściśliwości w warunkach badania edometrycznego (jednoosiowego ściskania).

Odształcenie próbki w zakresie dławienia można zapisać w postaci:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{M_p} \quad (6)$$

gdzie:

ε_1 – odkształcenie spęczniałej próbki gruntu liczone do jej maksymalnej wysokości:

$$\varepsilon_1 = \frac{h_v - h}{h_v}$$

- h – początkowa wysokość próbki,
 $\frac{h_v}{M_p}$ – wysokość próbki po spęcznieniu,
 $\frac{h_v}{M_p}$ – moduł tego odkształcenia.

Wykorzystując wcześniej wprowadzony moduł pęcznienia M_p należy skorzystać ze związku pomiędzy tymi wielkościami:

$$\overline{M_p} = M_p \cdot (\varepsilon_p + 1) \quad (7)$$

Całkowite odkształcenie próbki wynika z następującej zależności:

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma}{M_p} \quad 0 < \sigma \leq p_d$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_p + \frac{\sigma}{M} \quad p_p < \sigma$$

Można również wyznaczyć energię pęcznienia dla odkształcenia (Gaszyńska-Freiwald 2008):

$$E_1 = \sigma \cdot (\varepsilon_p - \varepsilon_1) \quad (8)$$

gdzie:

E_1 – energia pęcznienia [kPa].

Za pomocą tej wielkości można przedstawić zdolność próbki gruntu do osiągnięcia maksymalnej deformacji wynikającej z właściwości pęcznienia.

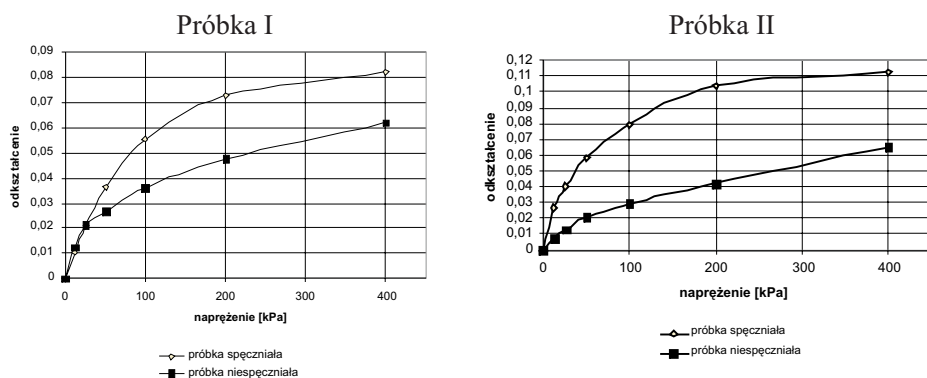
Dla maksymalnie spęczniałej próbki gruntu $\varepsilon_1 = \varepsilon_p$ energia oczywiście jest równa 0. Dla próbki gruntu pozostającej pod obciążeniem $\sigma < p_d$ energię tę wyraża zależność (8).

Maksymalną energię pęcznienia $E_1 = E_p$ wyznacza się następująco:

$$E_p = p_d \cdot \varepsilon_p \quad (9)$$

Następnie przeprowadzono badania porównujące odkształcalność spęczniałych i niespęczniałych próbek łożupka. Z rdzeni przygotowywano po dwie próbki gruntu o takim samym nachyleniu lamin i wilgotności początkowej. Następnie wykonano edometryczne badania ściśliwości oraz pęcznienia swobodnego. Po zakończeniu procesu pęcznienia próbki obciążano tak jak podczas badania edometrycznego. Poniżej przedstawiono wykresy zależności odkształcenia od naprężeń dla próbek spęczniałych i niespęczniałych (rys. 6).

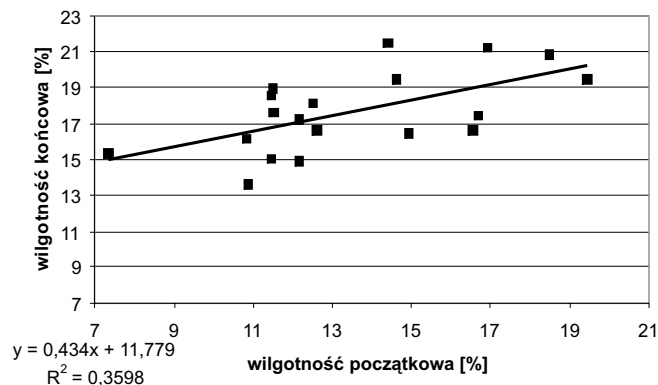
Po badaniach redukcji pęcznienia dla każdej z próbek określono wilgotność końcową. Z analizy otrzymanych wyników oraz z wykresu można zaobserwować wzrost tej wilgot-



Rys. 6. Wykresy zależności zmiany odkształcenia próbki spęczniałej oraz o nienaruszonej strukturze do naprężenia

Fig. 6. Relationship between change of strain a swollen samples and samples of intact structure and stress function

ności w stosunku do wilgotności początkowej o około 2–8% (rys. 7). Jest to stosunkowo niewielki wzrost, niemniej jednak może mieć wpływ na osłabienie parametrów wytrzymałościowych tych gruntów.



Rys. 7. Wykres zależności wilgotności początkowej od wilgotności końcowej po redukcji swobodnego pęcznienia

Fig. 7. Relationship between primordial humidity and final humidity after reduction of free swelling

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i po analizie otrzymanych wyników zostały sformułowane następujące wnioski:

- Tekstura iłolupków (laminacja) powoduje, że grunty te pęcznią nierównomiernie na powierzchni stropowej, woda ma również łatwiejszy dostęp pomiędzy laminy i w głąb

- warstwy. Przedostanie się wody w głąb łożysk powoduje rozluźnienie się pakietów, zwiększenie ich wilgotności i osłabienie parametrów.
- Wartości swobodnego pęcznienia są funkcją kąta nachylenia lamin do poziomu; maksimum tej wartości jest osiągane przy nachyleniu lamin 30–45°. Po osiągnięciu maksimum, wartość swobodnego pęcznienia maleje ze wzrostem kąta nachylenia lamin, zanikając przy prostopadłym ułożeniu lamin do zera. W związku z tym, że nachylenie serii skalnych utworów fliszowych w Karpatach często mieści się w zakresie, w którym łupki osiągają maksimum pęcznienia, wszelkie prace geoinżynierskie należy przeprowadzać z uwzględnieniem przepisów dotyczących gruntów ekspansywnych.
 - Możliwe jest wyznaczenie energii pęcznienia, która pozwala opisać aktualny stan pęcznienia.
 - Odształcalność gruntu spęczniałego jest zdecydowanie większa niż gruntu o nienaruszonej strukturze. Różnica pomiędzy odształceniami dochodzi do około 50%.

LITERATURA

- BORYS M., GASZYŃSKA-FREIWALD G., FREIWALD P., 2006 — Wytrzymałościowe i deformacyjne właściwości gruntów z terenów osuwiskowych w świetle badań laboratoryjnych. *Geotechnika i Budownictwo Specjalne ZSMGiG*: 121–130.
- BRONIATOWSKA M., 2008 — Modelowanie masywów fliszowych i dobór parametrów do obliczeń stateczności zboczy fliszowych. *Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej z. 1-Ś/2008*, Biblioteka Cyfrowa PK.
- FISCHER J., 1988 — Zagrożenie zbiornika Świnna Poręba osuwiskami. IX Konferencja Sozologiczna PTG, 117–132.
- GAŁAŚ A., PAULO A., 2001 — Osuwiska w otoczeniu zbiornika Świnna Poręba. *Przewodnik Zjazdu PTG, Kraków*, 262–266.
- GASZYŃSKA-FREIWALD G., 2008 — Wpływ laminacji na właściwości pęczniące łożysk fliszu karpackiego. Politechnika Krakowska – praca doktorska.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., 1998 X — Właściwości gruntów nienasyconych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KACZYŃSKI R., 2004 — Wpływ historii geologicznej na inżynierskie zachowanie się łożysk trzeciorzędowych. *Współpraca budowlana z podłożem gruntowym – II Problemowa Konferencja Geotechniki*: 295–305.
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1974 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Sucha Beskidzka. *Wyd. Geol., Warszawa*.
- NIEDZIELSKI A., 1993 — Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie łożysk poznańskich i warwowych. *Roczniki A.R. Zeszyt 238*, Poznań.
- SUPERCZYŃSKA M., 2006 — Historia geologiczna oraz identyfikacja parametrów geotechnicznych łożysk formacji poznańskiej. *Zeszyty naukowe Politechniki Białostockiej, Zeszyt 29*: 199–209.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L., 1999 — Osuwiska we fliszu Karpat Polskich. *Geologia – modelowanie – obliczenia stateczności*, IBW PAN, Gdańsk.

THE INFLUENCE OF CLAY – SLATES TEXTURE OF THE CARPATHIAN FLYSCH ON THE PARAMETERS OF DEFORMATION

ABSTRACT

Carpathian flysch is built from shale – sandstone package which incline to ground under different angles. The shale package includes minerals belongs to the swelling group. The swelling and compressibility tests were performed on clay-slates samples from landslides situated near the water reservoir at Świnna Poręba. The texture clay-shale reflected by the lamination, can be regarded as a symptom of monoclinical anisotropy. This texture makes soil swelling unevenly on the top surface, water also much easier penetrates deep layers between the laminae.

KEY WORDS

Clay-shale, swelling, deformations, unidirectional anisotropy.