

Wpływ wilgotności początkowej na zdolność pęcznienia gruntów ilastych fliszu karpackiego

Grażyna Gaszyńska-Freiwald¹

The influence of initial humidity on the ability to swelling clay slate from Carpathian flysh. Prz. Geol., 63: 727–731.

Abstract. The paper presents results of research associated with expanding clay slate from Carpathian flysh, near water reservoir in Świnna Poręba. Examination were associated with influence of inclination laminae this soils. The laminae constitute peculiar texture which is affecting on size of expanding and water also much easier penetrates deep layers between the laminae. This property coming into new landslides.

Keywords: free swelling, clay slate, Carpathian flysh

We współczesnym budownictwie duży problem stanowią liczne rozwijające się niekorzystne zjawiska geodynamiczne. W południowej Polsce uaktywniają się głównie jako powierzchniowe ruchy masowe. Osuwiska powstają między innymi na skutek działalności gospodarczej człowieka, która wiąże się z rozwojem infrastruktury oraz z niekorzystnymi czynnikami naturalnymi, takimi jak budowa geologiczna czy warunki atmosferyczne. Skutkiem ich są zniszczenia, często o charakterze katastrofalnym, między innymi w budownictwie lądowym, hydrotechnicznym.

W dużej mierze tereny osuwiskowe w południowej Polsce buduje flisz karpacki. Są to piaskowce przewarstwione utworami ilastymi, które zalicza się do utworów pęczniących. Na uaktywnienie się procesu pęcznienia tych utworów ma wpływ między innymi budowa geologiczna, kąt nachylenia stoku, a co za tym idzie – kąt nachylenia lamin ułatwiający migrację wody pomiędzy pakietami (Gaszyńska-Freiwald, 2008) oraz warunki meteorologiczno-hydrogeologiczne, co było wyraźnie widoczne po wystąpieniu intensywnych lub długotrwałych opadów, powodujących powstanie wielu nowych osuwisk, np. wiosną 2000 r. oraz 2002 r., w maju–lipcu 2010 r.

Po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych gruntów ilastych z terenów osuwiskowych fliszu karpackiego, dla których wyznaczono parametry fizyczne i mechaniczne, wyprowadzono zależność na wilgotność, powyżej której grunty te nie pęcznią. Jest ona ważna w aspekcie działalności gospodarczej człowieka i rozwoju infrastruktury na omawianym obszarze. W literaturze można spotkać opis takich zależności, nie mają one jednak charakteru uniwersalnego i odnoszą się do warunków lokalnych (Niedzielski, 1993). Przedstawione badania poszerzają wiedzę na temat gruntów ilastych fliszu karpackiego.

BUDOWA GEOLOGICZNA OMAWIANEGO TERENU

Do badań wykorzystano grunty pochodzące z obszarów osuwiskowych południowej i zachodniej części budowanego zbiornika wodnego w Świnnej Porębie (ryc. 1).

Pod względem geologicznym omawiany obszar charakteryzuje się zróżnicowaną budową utworów fliszowych. Część północna pod względem strukturalnym należy do jednostki śląskiej reprezentowanej przez piaskowce i łupki warstw krośnieńskich, godulskich, istebniańskich i hieroglifowych. Część południowa to jednostka magurska, reprezentowana przez piaskowce glaukonitowe warstw magurskich, ciężkowickich i inoceramowych oraz łupki pstry i ilaste (Książkiewicz, 1974). Przez środkową część przebiega z zachodu na wschód strefa nasunięcia pomiędzy tymi jednostkami, w której warstwy są silnie zbrekcjonowane i rozluźnione.

Pomiar kąta upadu iłolupków, iłolupków pstrych i iłów wykazał, że ich nachylenie wynosi od około 15 do 40°. W większości przypadków wartość ta wahała się w granicach 20–30°.

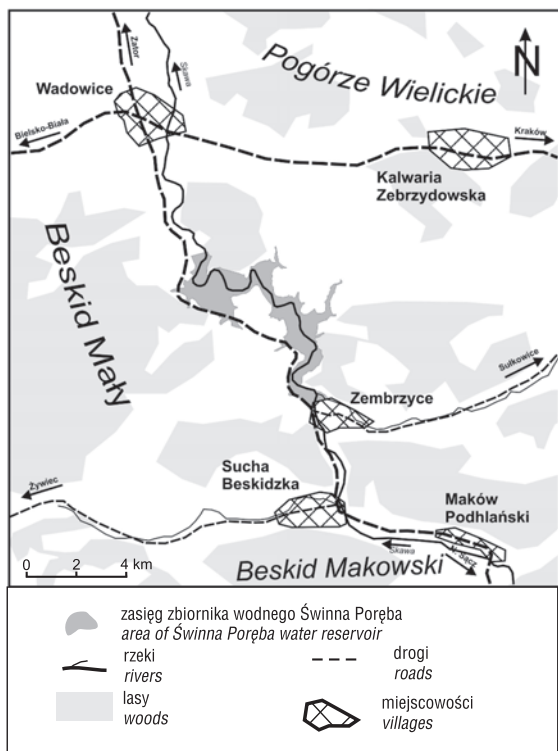
Całość terenu jest przykryta utworami czwartorzędowymi, wykształconymi w postaci zwietrzliny skał podłoża. Są to gliny, pyły i pyły z rumoszem, których miąższość miejscami dochodzi do kilku metrów. W dolinie Skawy i jej dopływów osady czwartorzędowe są wykształcone jako żwir i piaski, często zaglinione. Miąższość tych warstw nie przekracza kilku metrów.

W utworach czwartorzędowych oraz fliszowych skał podłoża (iłolupki, mułowce, piaskowce) w rejonie budowanego zbiornika wodnego w Świnnej Porębie często występują koluwia osuwiskowe. Miąższość tych utworów waha się najczęściej w granicach od kilku do kilkunastu metrów (Fisher, 1988; Gałaś & Paulo, 2001).

BADANIA LABORATORYJNE PARAMETRÓW FIZYCZNYCH I MECHANICZNYCH GRUNTÓW ILASTYCH

Podczas badań terenowych wykonano 27 otworów badawczych, o głębokości od 10 do 20 m p.p.t., z których rdzeni pobrano około 200 próbek (Gaszyński i in., 2007). Wszystkie próbki były w stanie nienaruszonym, tzn. miały naturalną strukturę i wilgotność. W artykule przeanalizowano wyniki badań gruntów ilastych.

¹ Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; gfreiw@pk.edu.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań (Gaszyńska-Freiwald, 2012)
 Fig. 1. Location of the research area (Gaszyńska-Freiwald, 2012)

Z powodu specyficznej struktury i tekstury oraz cech makroskopowych badany materiał w dalszej części pracy będzie nazywany iłolupkiem.

W celu określenia składu mineralogicznego badanego materiału dwie próbki gruntu przebadano w instytucie PAN w Krakowie w dyfraktometrze rentgenowskim ARL X'Tra. W wyniku przeprowadzonego testu stwierdzono, że głównym tworzywem identyfikowanego iłolupka jest mieszanopakietowy minerał illit-smektyt. Pakietów smektyto-

wych, charakteryzujących się niskim ładunkiem ($0,3-0,6/0_{10}(\text{OH})_2$) i tworzących struktury labilne, czyli podatne na pęcznienie, jest 38%. Pakiety illitowe mają wysoki ładunek ($\sim 0,9/0_{10}(\text{OH})_2$) i tworzą stabilne struktury. Ponadto w próbkach występuje niewielka ilość chlorytu oraz śladowo dyskretny illit (Gaszyńska-Freiwald, 2008).

W celu określenia składu granulometrycznego wykonano analizę areometryczną oraz sitową. Zawartość frakcji ilastej wynosiła od 34 do 56%. Według PN-86/B-02480 badane grunty należą do iłów, natomiast wg PN-EN ISO 14688 są to przede wszystkim iły piaszczyste, iły piaszczysto-pylaste oraz iły pylaste.

W celu określenia parametrów fizycznych i mechanicznych iłolupków (na podstawie obowiązujących norm) wykonano badania wilgotności naturalnej, gęstości objętościowej i właściwej, granic konsystencji, kąta tarcia wewnętrznego oraz kohezji w aparacie bezpośredniego ścinania, współczynnika filtracji i modułów ściśliwości. Szczególny nacisk położono na badania pęcznienia swobodnego i ciśnienia pęcznienia, które wykonano w edometrze. Dla badań stworzono specjalny program oraz zamontowano w aparaturze badawczej dodatkowy czujnik rejestrujący przemieszczenia. Wyniki zamieszczono w tabelach 1, 2.

Na podstawie nomogramu Casagrande'a, zmodyfikowanego przez Grabowską-Olszewską, iłolupki zaliczono do gruntów średnio i wysoko pęczniących (Grabowska-Olszewska, 1998).

WPLYW WILGOTNOŚCI NATURALNEJ NA PĘCZNIENIE SWOBODNE I CIŚNIENIE PĘCZNIENIA IŁOLUPKÓW

Badania ciśnienia i swobodnego pęcznienia przeprowadzono w specjalnie oprzyrządowanym edometrze, do którego zamontowano dodatkowy czujnik rejestrujący przemieszczenia pionowe. Próbkę gruntu umieszczono w metalowym pierścieniu o średnicy 6,5 cm i wysokości 2 cm, który uniemożliwiał boczne rozszerzanie się badane-

Tab. 1. Parametry fizyczne badanych iłolupków
 Table 1. Physical properties of clay slate

Wilgotność naturalna Natural moisture w_n [%]	Gęstość objętościowa Density volume ρ [g/cm ³]	Gęstość właściwa Density appropriate ρ_s [g/cm ³]	Stopień plastyczności Degree of plasticity I_p [-]	Wskaźnik porowatości Porosity ratio e [-]
7,2–21,0	1,99–2,16	2,71–2,73	0,0–0,10 pzw – tpl	0,44–0,68

Tab. 2. Parametry mechaniczne badanych iłolupków
 Table 2. Mechanical properties of clay slate

Ścinanie bezpośrednie Direct shearing Φ [°] c [kPa]		Moduł odkształcenia pierwotnego Deformation module M_0 [kPa] 100–200 200–400		Wspł. filtracji Filtration coefficient k [m/s]	Ciśnienie pęcznienia Swelling pressure P_c [kPa]	Swobodne pęcznienie Free swelling ε_c [%]
23,1–38,1	14,6–40,1	5800–8300	6980–14000	$6,17 \cdot 10^{-11}$ $-2,25 \cdot 10^{-10}$	18,75–150,0	0,3–37

go materiału. Badanie ciśnienia pęcznienia przeprowadzono metodą stopniowego obciążania, która polega na całkowitym nasyceniu próbki wodą do pełnego spęcznienia, a następnie obciążaniu próbki odpowiednimi zakresami od 25 do 200 kPa, aż do uzyskania pierwotnej wysokości gruntu.

Po wykonaniu wyżej wymienionych testów sprawdzono wpływ wilgotności początkowej na wielkość pęcznienia. Zależność tę wg Niedzielskiego (1993) opisuje funkcja wykładnicza, natomiast wg Skarżyńskiej (Skarżyńska i in., 1968) – funkcja liniowa. Dla gruntów ilastych z rejonu budowanego zbiornika w Świnnej Porębie zależność pomiędzy pęcznieniem swobodnym i ciśnieniem pęcznienia, a wilgotnością naturalną opisuje funkcja liniowa. Wilgotność badanych gruntów wahała się w granicach od 7,2 do 21,0%. Wyższa wartość wilgotności powodowała wyraźny spadek zdolności do pęcznienia. Podczas tych badań pęcznienia nie brano pod uwagę kąta nachylenia lamin. Wyniki przedstawiono na wykresach (ryc. 2, 3).

Powyższe zależności można opisać za pomocą funkcji liniowej:

$$\varepsilon_p = -2,13 \cdot w_n + 43,8$$

oraz

$$P_c = -8,35 \cdot w_n + 192,4$$

gdzie:

P_c – ciśnienie pęcznienia [kPa]

ε_p – pęcznienie swobodne [%]

w_n – wilgotność naturalna/początkowa [%]

Po przeanalizowaniu wzorów korelacyjnych pozwalających na wyznaczenie wilgotności, powyżej której przestaje zachodzić proces pęcznienia, najlepsze dopasowanie uzyskuje się z zależności McDowella (Niedzielski, 1993):

$$w_n > 0,47 \cdot w_l + 2$$

gdzie:

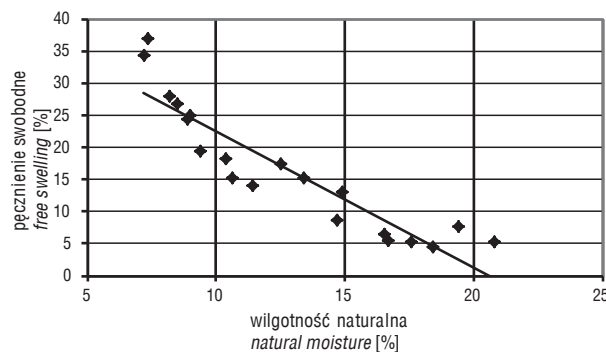
w_n – wilgotność naturalna [%],

w_l – granica płynności [%].

Na podstawie wyników badań wilgotności naturalnej oraz granicy płynności, której wartość mieściła się w przedziale od 33,4 do 44,7 %, wartość wilgotności powyżej której grunt nie wykazuje zdolności do pęcznienia to ok. 25,6%.

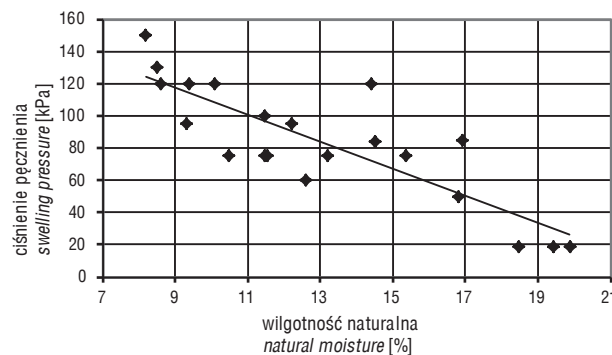
Zauważono, że wartość parametrów pęcznienia jest uzależniona nie tylko od wilgotności początkowej, ale również od kąta nachylenia lamin w próbkach. Dla potwierdzenia tej tezy wykonano badania pęcznienia swobodnego w zależności od kąta nachylenia lamin łożysk, traktując go jako jednoskośną anizotropię. W tym celu wycinano próbki o takiej samej wilgotności początkowej i różnym kącie nachylenia lamin za pomocą odpowiedniego pierścienia tnącego i umieszczano w edometrze. Na rycinie 4 przedstawiono wyniki badań dla czterech próbek, o wilgotności początkowej zapisanej przy każdym wykresie.

Z analizy ryciny 4 widać, że można wyróżnić przedział kąta nachylenia lamin, dla którego zdolność do pęcznienia swobodnego jest wyraźnie wyższa. Maksymalna wartość pęcznienia jest osiągana przy nachyleniu lamin pod kątem od 30 do 45° (Gaszyńska-Freiwald, 2008).



Ryc. 2. Zależność między pęcznieniem swobodnym a wilgotnością naturalną łożysk

Fig. 2. Relationship between free swelling and natural humidity clay slate



Ryc. 3. Zależność między ciśnieniem pęcznienia a wilgotnością naturalną łożysk

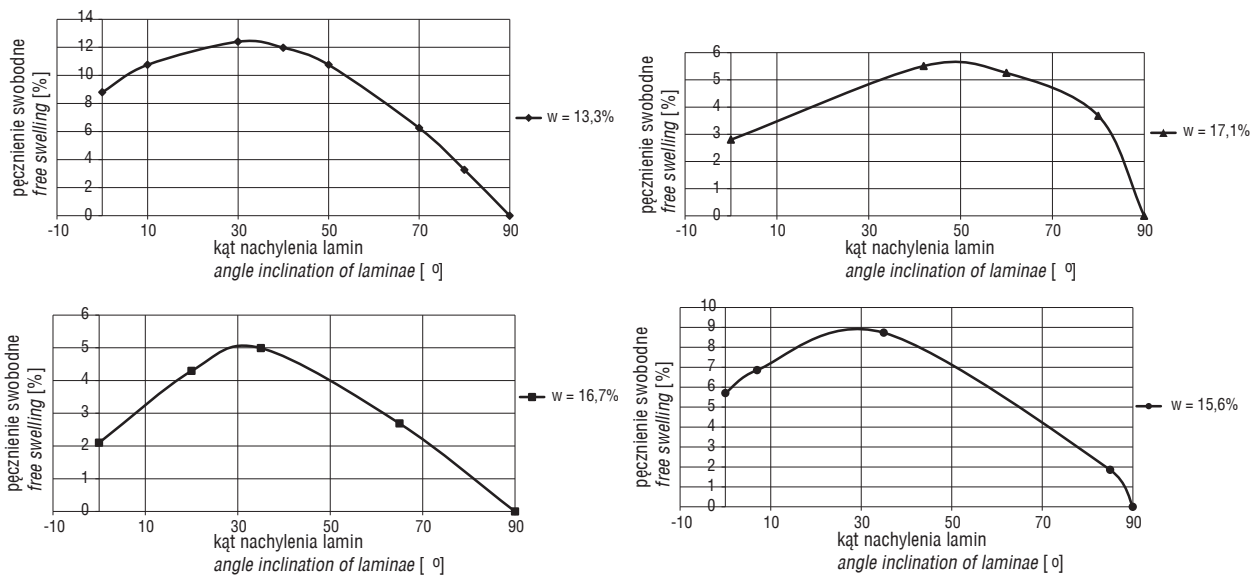
Fig. 3. Relationship between swelling pressure and natural humidity clay slate

Po zakończeniu procesu pęcznienia część próbek gruntu obciążano tak, aby zredukować pęcznienie swobodne, czyli osiągnąć wysokość początkową badanego materiału. Następnie wykonano badania wilgotności końcowej i zaważono jej kilkuprocentowy wzrost w stosunku do wilgotności początkowej próbki. Mieścił się on w zakresie 1,5–7,4%. Oznacza to że proces pęcznienia jest częściowo odwracalny i ponowne nasycenie gruntu wodą spowoduje wzrost jego objętości (ryc. 5).

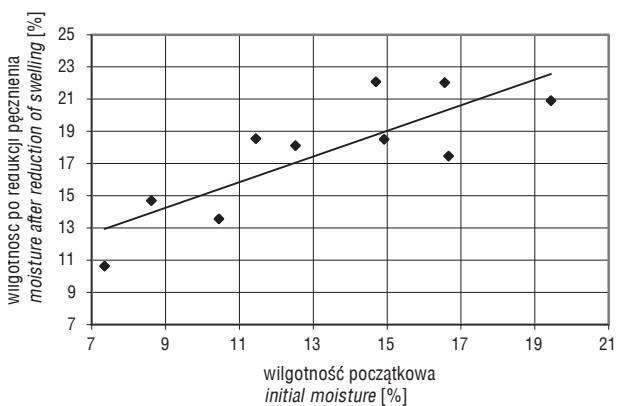
Wykonano również kilka badań wytrzymałościowych łożysk w aparacie bezpośredniego ścinania. Ścinanie wykonywano po wstępnej konsolidacji. Na ich podstawie stwierdzono, że grunt niespęczniały, o właściwościach ekspansywnych, będzie miał niższe parametry wytrzymałościowe. Wynika to ze struktury gruntu, która pozwala na łatwe „rozwarstwianie” i wnikanie wody między pojedyncze pakiety (ryc. 6 i 7).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

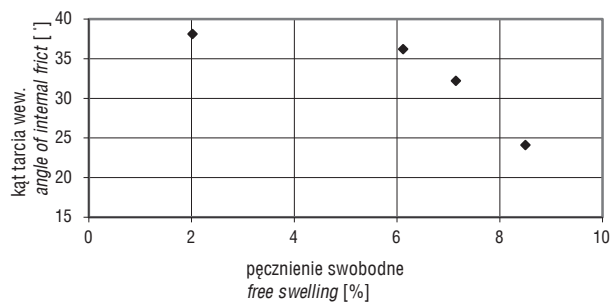
Na podstawie przeprowadzonych badań łożysk pochodzących z rejonu zbiornika wodnego w Świnnej Porębie wynika, że grunty te są pęczniące. Potwierdzają to zarówno badania parametrów pęcznienia, jak i składu mineralogicznego. Wielkość tego pęcznienia jest wprost uzależniona od wilgotności początkowej badanego gruntu



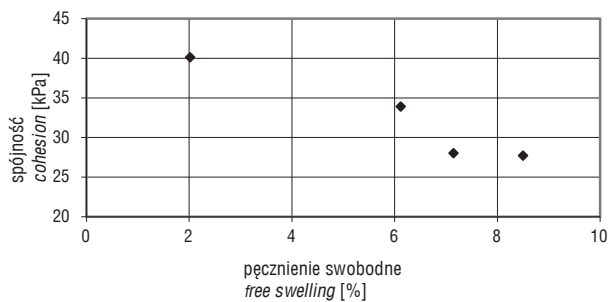
Ryc. 4. Zależność swobodnego pęcznienia od kąta nachylenia lamin
 Fig. 4. Relationship between angle inclination of laminae and free swelling



Ryc. 5. Zależność między wilgotnością początkową a wilgotnością po redukcji pęcznienia
 Fig. 5. Relationship between natural humidity and humidity after reduction after free swelling



Ryc. 6. Zależność między pęcznieniem swobodnym i kątem tarcia wewnętrznego
 Fig. 6. Relationship between free swelling and angle of friction



Ryc. 7. Zależność między pęcznieniem swobodnym i spójnością
 Fig. 7. Relationship between free swelling and cohesion

oraz nachylenia lamin. Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że łożyska o wilgotności początkowej powyżej 21% będą pęczniały w bardzo niewielkim stopniu lub wyczerpały już zdolność do pęcznienia (ryc. 2, 3).

Bardzo ważne jest również nachylenie lamin w badanych gruntach. Wyraźnie widać, że maksymalne wartości pęcznienia są osiągane przy nachyleniu lamin między 30 a 45° (ryc. 4). Z uwagi na to, że w warunkach naturalnych nachylenie warstw łożyskowych na terenach osuwiskowych często ma wartości w granicach około 15–40°, uzyskane informacje o pęcznieniu należy uznać za bardzo ważne. Takie nachylenie warstw powoduje łatwiejszy dostęp wody między laminy oraz w głąb poszczególnych warstw. Właściwość tę można potraktować jako jeden z czynników wpływających na stateczność naturalnych stoków.

Część badań wykonano w ramach realizacji projektu badawczego NCN N N525 254740.

LITERATURA

- FISHER J. 1988 – Zagrożenie zbiornika Świnna Poręba osuwiskami. [W:] IX Konf. Sozologiczna PTG, Świnna Poręba: 117–132.
- GAŁAŚ A. & PAULO A. 2001 – Osuwiska w otoczeniu zbiornika Świnna Poręba. [W:] Przewod. 72 Zjazdu PTG, 11–15 września 2001, Kraków: 262–266.
- GASZYŃSKA-FREIWALD G. 2008 – Wpływ laminacji na właściwości pęczniące iłolupków fliszu karpackiego [pr. dr.]. Politechnika Krakowska
- GASZYŃSKA-FREIWALD G. 2012 – Wpływ tekstury iłolupków fliszu karpackiego na parametry deformacji. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 1: 61–72.
- GASZYŃSKI J., PABIAN Z., ZAPAŁ A., BRONIATOWSKA M., BORYS M., GASZYŃSKA-FREIWALD G., POSŁAJKO M. & WĄSIK L. 2007 – Dokumentacja geotechniczna dla określenia stabilności osuwisk w rejonie zbiornika wodnego Świnna Poręba na rzece Skawie. Instytut Geotechniki Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1998 – Geologia stosowana – Właściwości gruntów nienasyconych. PWN, Warszawa.
- 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 iłów poznańskich i warwowych. Roczniki AR, 238.
- PN-86/B-02480: 1986 – Grunty budowlane. Określenie, symbole, podział i opis gruntów. PKN.
- PN-EN ISO 14688: 2006 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. PKN.
- SKARŻYŃSKA K., ŁACHETA S. & HLIBOWSKA H. 1968 – Zdolność pęcznienia lessu ze Zwierzyńca w Krakowie w świetle badań laboratoryjnych. Zesz. Nauk. WSR Kraków, Mel., 2, 3: 103–128.