

PARAMETRY SKURCZU GRUNTÓW DROBNOZIARNISTYCH Z TERENU DOLNEGO ŚLĄSKA

Andrzej Batog, Maciej Hawrysz

Politechnika Wroclawska, Wrocław

Streszczenie. W publikacji prezentowane są wyniki badań próbek gruntów spoistych, pochodzących z terenu Dolnego Śląska, dotyczące rozpoznania ich zdolności do skurczu pod wpływem suszenia do temperatury 110°C. Parametrami określającymi skurczalność badanych gruntów były: granica skurczalności, wskaźnik skurczu objętościowego i współczynnik skurczu liniowego. Wykorzystując zbiór ponad 80 wyników przeprowadzonych badań, przedstawiono próby określenia zależności korelacyjnych wymienionych parametrów skurczu z innymi parametrami identyfikacyjnymi badanych gruntów. Oceniono także przydatność podawanych w literaturze wzorów do przybliżonej oceny parametrów skurczalności gruntów. Wskazano na silny wpływ lokalnych uwarunkowań na wartości parametrów skurczalności gruntów.

Słowa kluczowe: skurczalność gruntu, skurcz liniowy, skurcz objętościowy, granica skurczalności

WSTĘP

W artykule wykorzystano wyniki badań próbek gruntów spoistych, pochodzących z terenu Dolnego Śląska, dotyczące rozpoznania ich zdolności do skurczu pod wpływem suszenia do temperatury 110°C.

Skurcz gruntu jest związany ze zmniejszeniem się jego objętości wskutek zmniejszenia zawartości wody w porach. Usuwanie wody w podwyższonej temperaturze towarzyszą również procesy fizykochemiczne. Na wielkość skurczu gruntów spoistych i organicznych wpływ ma wiele czynników, wśród których najistotniejsze to: zawartość frakcji ilowej, udział substancji organicznej, skład mineralny (rodzaj kationów wymiennych), struktura gruntu oraz stężenie soli w wodzie znajdującej się w porach gruntu.

Ze skurczem i wysychaniem gruntu wiąże się zmniejszenie jego porowatości, skutkujące w większości przypadków zwiększeniem wartości parametrów wytrzymałości na

ściananie, jak również parametrów odkształcalności [Myślińska 2010]. Jednocześnie szybkemu wysychaniu i skurczowi mogą towarzyszyć również zjawiska w postaci spękań i kruszenia się masywu gruntowego, co z kolei wpływa na zmianę wodoprzepuszczalności takiego ośrodka gruntowego oraz zmienia jego wytrzymałość.

Dla zbioru 80 próbek gruntów spoistych, pochodzących z Dolnego Śląska, przeprowadzono badania laboratoryjne w celu wyznaczenia wartości parametrów charakteryzujących ich zdolność do skurczu w wyniku wysuszenia warstwy gruntu zalegającego w podłożu.

Celem przeprowadzonych analiz była próba określenia lokalnych (regionalnych) zależności korelacyjnych między parametrami skurczu a parametrami identyfikacyjnymi gruntów spoistych. Założono, iż dla badanej serii gruntów występować mogą znaczne ograniczenia w stosowalności i przydatności podawanych w literaturze zależności dla przybliżonej oceny parametrów skurczalności gruntów droбноziarnistych (spoistych).

PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE KURCZLIWOŚĆ GRUNTÓW

Kurczliwość gruntów charakteryzowana jest za pomocą kilku parametrów, z których za główne należy uznać skurcz liniowy (L_s) i objętościowy (V_s) oraz granicę skurczalności (w_s).

Względny skurcz objętościowy (b_V [%]) definiuje następujący wzór [Grabowska-Olszewska i in. 1977]:

$$b_V = \left(\frac{V_1 - V_2}{V_1} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: V_1 – objętość początkowa próbki gruntu [mm^3],

V_2 – objętość końcowa próbki gruntu po skurczeniu [mm^3].

Według literatury [Head 1992] oraz procedury podanej w normie ASTM D 4943-02 wartość skurczu objętościowego (V_s [%]) można wyznaczyć ze wzoru:

$$V_s = R(w_n - w_s) \quad (2)$$

gdzie: w_n – wilgotność naturalna gruntu [%],

w_s – granica skurczalności [%],

R – współczynnik skurczu [–]

Współczynnik skurczu (R) dany jest wzorem:

$$R = \frac{m_s}{V_d \cdot \rho_w} \quad (3)$$

gdzie: m_s – masa próbki wysuszonej [g],

V_d – objętość próbki wysuszonej [cm^3],

ρ_w – gęstość wody [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$].

Z kolei w monografii Grabowskiej-Olszewskiej i innych [1977] zamieszczona została inna propozycja wyznaczenia względnego skurczu objętościowego, na podstawie której skurcz objętościowy (V_s [%]) określono następującym wzorem:

$$V_s = \left(\frac{n_1 - n_2}{1 - n_2} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{\rho_{d1}}{\rho_{d2}} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie: n_1 – początkowa porowatość gruntu [-],

ρ_{d1} – początkowa gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$],

n_2 – porowatość końcowa gruntu po skurczeniu [-],

ρ_{d2} – końcowa gęstość objętościowa szkieletu gruntowego po skurczeniu [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$],
równa gęstości objętościowej gruntu po wysuszeniu ρ_2 .

Względny skurcz liniowy (b_l [%]) definiuje wzór [Grabowska-Olszewska i in. 1977]:

$$b_l = \left(\frac{l_1 - l_2}{l_1} \right) \cdot 100\% \quad (5)$$

gdzie: l_1 – długość początkowa próbki gruntu [mm],

l_2 – długość końcowa próbki gruntu po skurczeniu [mm].

Wartość skurczu liniowego (L_s [%]) można określić również na podstawie wartości skurczu objętościowego, według wzoru zamieszczonego w normie ASTM D 4943-02:

$$L_s = \left[1 - \left(\frac{100}{V_s + 100} \right)^{1/3} \right] \cdot 100\% \quad (6)$$

lub na podstawie procedury suszenia próbek pasty gruntowej w pojemniku w formie korytka, opisanej w normie BS 1377 Part 2:1990:

$$L_s = \left(1 - \frac{L_D}{L_0} \right) \cdot 100\% \quad (7)$$

gdzie: L_D – długość próbki po wysuszeniu [mm],

L_0 – początkowa długość próbki (pojemnika) [mm].

Granica skurczalności (w_s [%]) może być wyznaczona metodą laboratoryjną (np. według normy PN-88/B-04481 lub normy amerykańskiej ASTM D 4943-02) bądź obliczona na podstawie laboratoryjnie wyznaczonych granic Atterberga ze wzoru [Kezdi 1974]:

$$w_s = w_L - 1,25w_p \quad (8)$$

gdzie: w_L – granica płynności [%],

w_p – granica plastyczności [%].

Wśród mniej istotnych, z praktycznego punktu widzenia, parametrów określających kurczliwość gruntów można wymienić: odkształcenie skurczu (ε_{sh}) [Grabowska-Olszewska i Kaczyński 1994], przedział skurczalności (A) [Head 1992] oraz wskaźnik skurczalności (SI) [Head 1992].

METODYKA BADAŃ

Badania parametrów określających skurcz gruntów przeprowadzane są za pomocą metod opisanych w normie brytyjskiej i amerykańskiej. Interesującą analizę parametrów skurczalności gruntów spoistych, przeprowadzonych według różnych norm, przedstawiono w artykule Izdebskiej-Muchy i Wójcik [2011].

Na potrzeby niniejszej pracy oznaczenie wilgotności odpowiadającej granicy skurczalności (w_s) próbek gruntów spoistych (drobnoziarnistych) przeprowadzono zgodnie z metodą podaną w normie amerykańskiej ASTM D 4943-02. Na podstawie uzyskanych wyników, oprócz granicy skurczalności, wyznaczono wartości współczynnika skurczu (R – wzór 3), wartość skurczu objętościowego (V_s – wzór 2) i skurczu liniowego (L_s – wzór 6).

W przeprowadzonych badaniach zmodyfikowano podaną w przywołanej normie ASTM metodologię, wykorzystując do badań pastę gruntową o wilgotności bliskiej granicy płynności, jaką stosuje się zazwyczaj dla oznaczenia skurczu liniowego według standardu brytyjskiego [norma BS 1377 Part 2:1990]. Taki sposób badania skurczu liniowego opisano na przykład w podręczniku Myślińskiej [2010]. Ponadto w opisywanym badaniu wykorzystano sposób oznaczenia objętości wysuszonej próbki gruntu za pomocą pomiaru wyporu próbki w cieczy organicznej, jaką była płynna parafina.

Do badania wykorzystano pastę gruntową o wilgotności, która powinna przekraczać wartość granicy płynności. Pastę gruntową wypełniano w całości ceramiczną parowniczkę, której objętość jest znana i odpowiada objętości pasty gruntowej przed suszeniem (V). Próbkę wstępnie jest podsuszana w powietrzu do zmiany barwy na jaśniejszą przez okres 2–3 dni, następnie jest suszona do stałej masy w suszarce w temperaturze $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Po wysuszeniu próbki do stałej masy wyznacza się jej masę w powietrzu (m_{sp}), a następnie za pomocą specjalistycznego oprzyrządowania wagi laboratoryjnej oznacza się jej masę po zanurzeniu w płynnej parafinie (m_{spw}).

Wartość granicy skurczalności (w_s), wyznaczonej według zastosowanej metody, można obliczyć za pomocą następującego wzoru:

$$w_s = w - \left[\frac{(V - V_d) \rho_w}{m_s} \right] \cdot 100\% \quad (9)$$

gdzie: V – objętość próbki gruntu (pasty gruntowej) przed suszeniem [cm^3],

V_d – objętość próbki wysuszonej [cm^3],

ρ_w – gęstość objętościowa wody [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],

m_s – masa próbki gruntu (pasty) po wysuszeniu ważona w powietrzu [g].

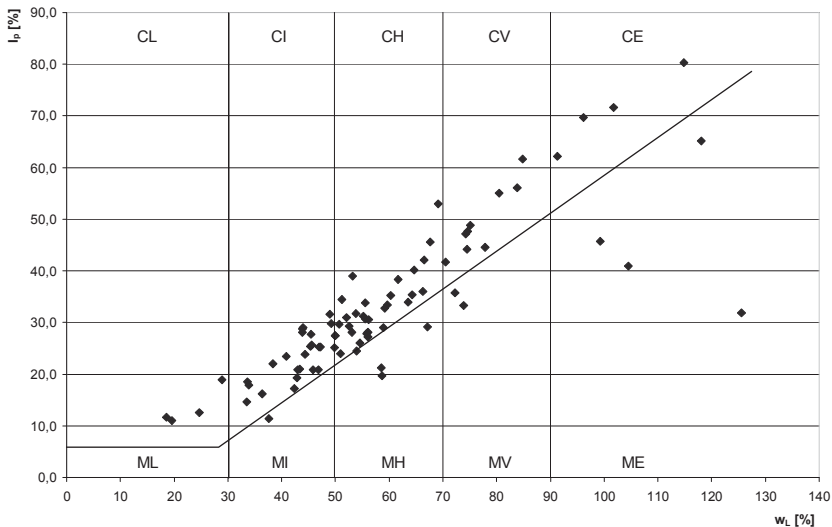
Znając gęstość objętościową oleju w temperaturze, w jakiej odbywało się ważenie, można określić objętość próbki wysuszonej (V_d) zgodnie ze wzorem:

$$V_d = \frac{m_s - m_{spw}}{\rho_p} \quad (10)$$

gdzie: m_{spw} – masa próbki gruntu (pasty) po wysuszeniu ważona w oleju parafinowym [g],
 ρ_p – gęstość objętościowa płynnej parafiny określona dla temperatury badania
 T [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$].

WYNIKI BADAŃ

Badaniu poddano łącznie 82 próbki gruntów spoistych z terenu Dolnego Śląska. Pod względem składu granulometrycznego, według dotychczas stosowanej klasyfikacji gruntów budowlanych [PN-B-02480:1986], do grupy gruntów mineralnych zliczono: 48 próbek ilów oraz ilów pylastych, 8 próbek glin, glin pylastych i glin zwięzłych oraz 4 próbki piasków gliniastych i pyłów. Części organiczne zawierały pozostałe 22 próbki, w tym: 10 próbek ilów i ilów pylastych z częściami organicznymi oraz 12 próbek glin, glin pylastych, piaszczystych i glin zwięzłych. W celu sklasyfikowania badanych próbek gruntów spoistych na podstawie wyników oznaczeń granic Atterberga sporządzono wykres plastyczności (rys. 1). Na jego podstawie do grupy gruntów pylastych (M) zaliczyć można było 10 próbek, a do grupy gruntów ilastych (C) – pozostałe 72 próbki.



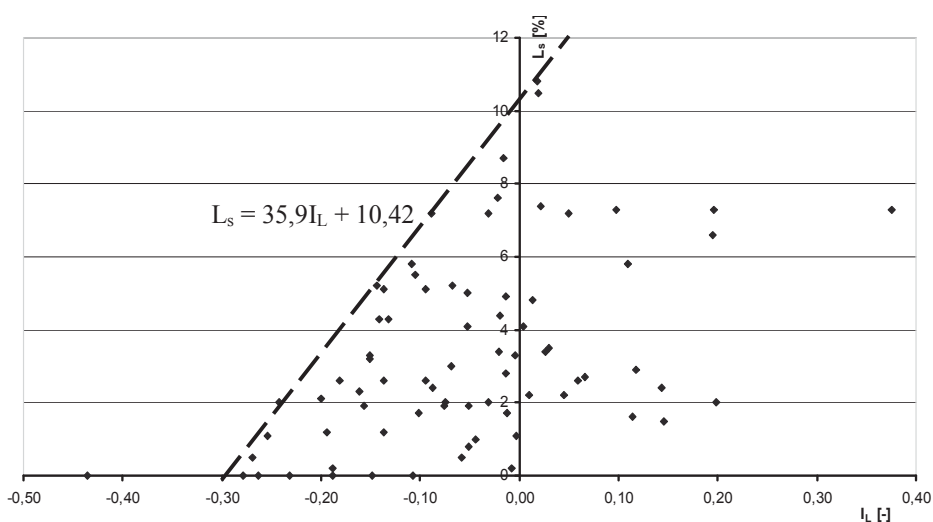
Rys. 1. Wykres plastyczności badanych próbek gruntu

Fig. 1. Plasticity chart of investigated soils

Jak wspomniano wcześniej, na kurczliwość gruntów ma wpływ wiele czynników. Jednakże wpływ ten jest trudny do wyrażenia za pomocą prostych związków korelacyjnych pomiędzy parametrami charakteryzującymi skurcz a wybranymi cechami fizycznymi czy wskaźnikami klasyfikacyjnymi gruntów. Dla badanej serii gruntów nie znaleziono

takich zależności korelacyjnych dla oddzielnie analizowanych parametrów, takich jak: wilgotność naturalna, udział części organicznych, granice plastyczności czy płynności, wskaźnik plastyczności czy stopień plastyczności. Jako przykład na rysunku 2 pokazano wykres zależności skurczu liniowego (L_s) od stopnia plastyczności (I_L). Współczynnik determinacji (R^2) dla związku między tymi parametrami jest bliski zeru. Niemniej jednak na podstawie tak licznego zbioru wyników wyznaczono zależność określającą maksymalną wartość skurczu dla gruntów o wilgotności mniejszej niż granica plastyczności (linia przerywana na wykresie – rys. 2). Znając wartość stopnia plastyczności, można stwierdzić, iż skurcz liniowy nie będzie większy niż dany wzorem:

$$L_{s \max} \leq 35,9I_L + 10,42 \quad (11)$$

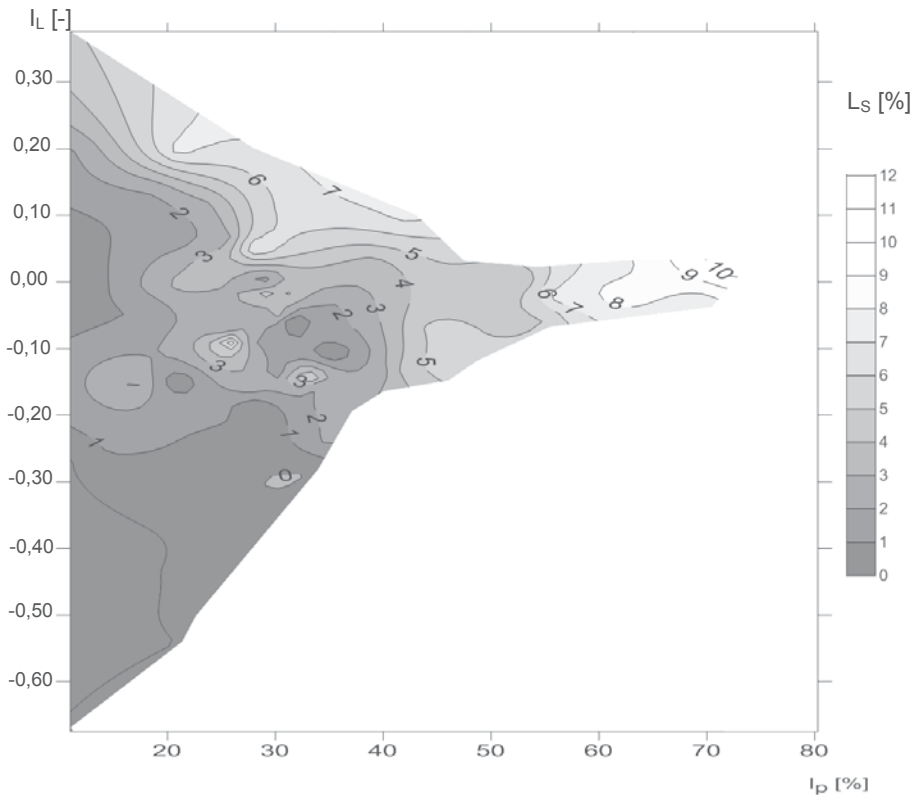


Rys. 2. Wykres zależności skurczu liniowego (L_s) od stopnia plastyczności (I_L): linia przerywana – maksymalny skurcz ($L_{s \max}$) gruntów w konsystencji zwartej

Fig. 2. Dependence the linear shrinkage (L_s) on liquidity index (I_L): the dotted line – the maximum shrinkage ($L_{s \max}$) of solid soils

Jeśli uwzględnić w prowadzonej analizie wyników kolejny wskaźnik klasyfikacyjny gruntów – wskaźnik plastyczności (I_p), to prezentowany na rysunku 3 wykres warstwicy wartości skurczu liniowego (L_s) wyraźnie wskazuje na silną zmienność wartości tego parametru. Bardzo nieregularne ułożenie warstwicz pozwala jedynie stwierdzić, iż skurcz liniowy rośnie wraz ze zwiększaniem się wartości stopnia plastyczności (I_L) oraz wskaźnika plastyczności (I_p).

Z kolei do interesujących wniosków prowadzi porównanie wyników oceny wartości skurczu objętościowego (V_s) określonego zgodnie z procedurą podaną w normie amerykańskiej ASTM D 4943-02, z propozycją opisaną wzorem (4), zamieszczoną w monografii Grabowskiej-Olszewskiej i innych [1977]. Obliczenia skurczu objętościowego, zgodnie ze wzorem (4), przeprowadzono dla 61 próbek gruntu i porównano na wykresie (rys. 4). Jak można zauważyć, dla 53 próbek gruntów na podstawie wzoru (4) uzyskano

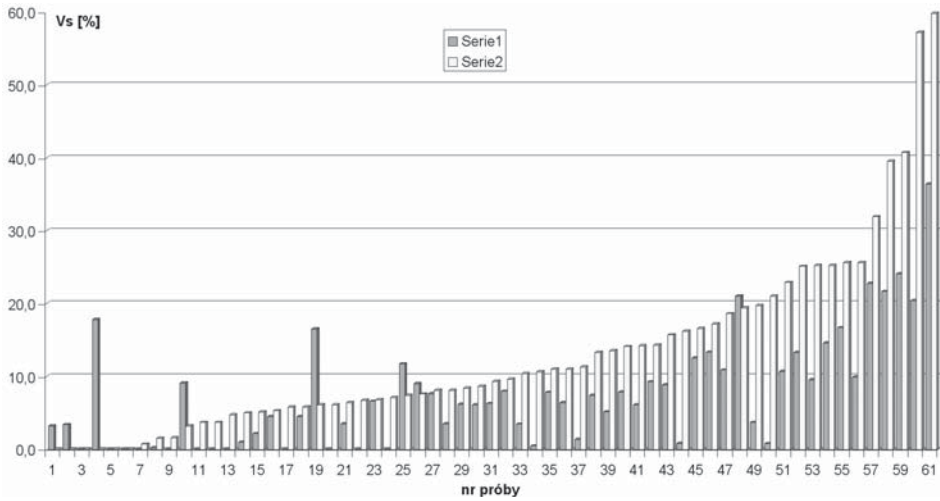


Rys. 3. Wykres zależności skurczu liniowego (L_s) od stopnia plastyczności (I_L) i wskaźnika plastyczności (I_p)

Fig. 3. Dependence the linear shrinkage (L_s) on liquidity index (I_L) and plasticity index (I_p)

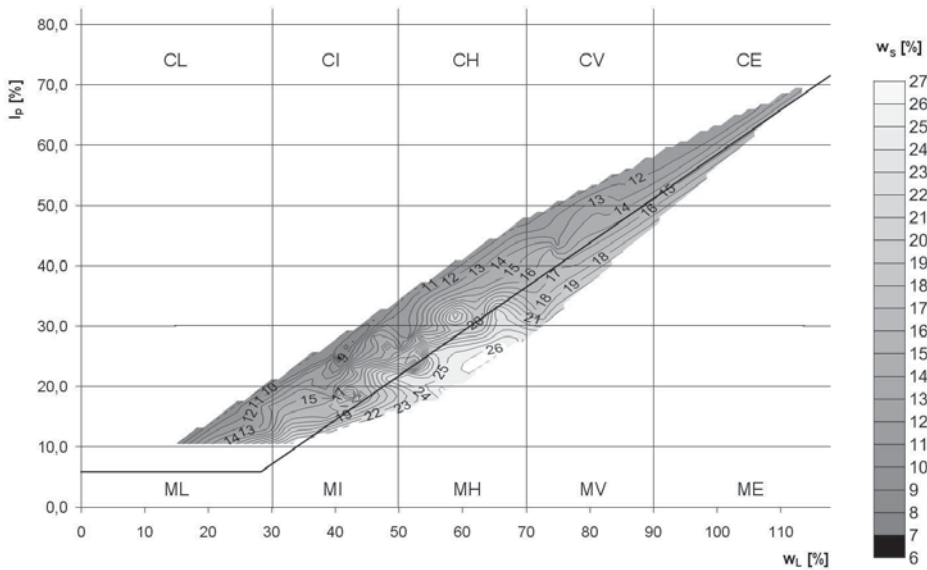
wartości skurczu objętościowego mniejsze od wyznaczonych bezpośrednio na podstawie badań. Wartości wyznaczone według propozycji Grabowskiej-Olszewskiej i innych [1977] są mniejsze średnio o 56% od wartości określonej metodą laboratoryjną.

Ostatnim analizowanym w niniejszym artykule zagadnieniem jest weryfikacja podanego w literaturze wzoru Kezdiego [Kezdi 1974], służącego do oszacowania wartości granicy skurczalności (w_s). Wartości w_s obliczone na podstawie wzoru (8) różnią się znacząco od wartości wyznaczonych laboratoryjnie od -80,4% do +466,8%, średnio są większe o 88,5%. Przyczyny tak dużych różnic można doszukiwać się w lokalnych specyficznych właściwościach badanych serii gruntów, ale również zaznacza się wpływ bardzo uproszczonej postaci wzoru (8), w którym założono w zasadzie proporcjonalny związek między granicami w_s a w_L . Analiza badanej serii gruntów dostarcza odmiennych spostrzeżeń. W celu prezentacji relacji między granicami w_s a w_L nałożono na wykres plastyczności warstwicowy wykres wartości granicy skurczalności w_s (rys. 5). Jak można zauważyć, maksymalne wartości granicy skurczalności wystąpiły dla pyłów o dużej plastyczności MH – dla większych wartości granicy płynności (w_L) wartość granicy skurczalności maleje. Z kolei dla ilów granica skurczalności generalnie przyjmuje wartość



Rys. 4. Porównanie wartości skurczu objętościowego wyznaczonego laboratoryjnie [ASTM D 4943-02] – seria 2, z wartościami określonymi na podstawie koncepcji Grabowskiej-Olszewskiej i innych [1977] – seria 1

Fig. 4. Comparison of laboratory determined values of volumetric shrinkage – Series 2 with values based on the concept of Grabowska-Olszewska i in. [1977] – Series 1



Rys. 5. Rozkład wartości granicy skurczalności (w_s) naniesiony na wykres plastyczności

Fig. 5. Distribution of the shrinkage limit values plotted on the plasticity chart

12–15%, z lokalnym minimum dla iłów o średniej plastyczności CI. Zatem zmienność granicy skurczalności dla analizowanej serii gruntów spoistych z Dolnego Śląska ma inny charakter niż opisany wzorem Kezdiego (8).

Należy tu dodać, że prowadzone są obecnie badania na kolejnych seriach próbek gruntów, które zwiększą liczbę wyników, co pozwoli na przeprowadzenie analiz z wykorzystaniem metod statystycznych (por. Izdebska-Mucha i Wójcik [2012]).

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono analizę i interpretację wyników badań parametrów skurczalności serii gruntów drobnoziarnistych (spoistych) mineralnych i zawierających substancję organiczną, pochodzących z Dolnego Śląska. Badania przeprowadzono na podstawie metodologii zawartej w normie amerykańskiej ASTM.

Dla badanej serii gruntów nie znaleziono zależności korelacyjnych między parametrami skurczalności a kolejno analizowanymi cechami fizycznymi i wskaźnikami klasyfikacyjnymi: wilgotnością naturalną, udziałem substancji organicznej, granicami Atterberga, wskaźnikiem plastyczności czy stopniem plastyczności.

W pracy oceniono również możliwość wykorzystania wzorów umożliwiających określenie parametrów charakteryzujących skurcz objętościowy [Grabowska-Olszewska i in. 1977] oraz granicę skurczalności [Kezdi 1974].

Wartości skurczu objętościowego, obliczone według propozycji Grabowskiej-Olszewskiej i innych [1977], są mniejsze średnio aż o 56% od wartości określonej metodą laboratoryjną.

Jeszcze większe różnice występują w przypadku zastosowania wzoru Kezdiego dla oceny wartości granicy skurczalności (w_s). Różnią się one od –80,4% do +466,8% w stosunku do wielkości wyznaczonej laboratoryjnie – średnio są większe o 88,5%.

Zatem zmienność granicy skurczalności dla analizowanej serii gruntów spoistych z Dolnego Śląska ma inny charakter niż opisany wzorem Kezdiego. Nie można wykluczyć, że wnioski ten można rozszerzyć również na inne grunty drobnoziarniste (spoiste).

PIŚMIENNICTWO

- ASTM D 4943-02 Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method.
BS 1377 Part 2:1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests.
Grabowska-Olszewska B., Kaczyński R., 1974. Metody badania pęcznienia gruntów spoistych. Gosp. Sur. Min.10, 1,
Grabowska-Olszewska B. i in., 1977. Gruntoznawstwo Wydaw. Geolog., Warszawa.
Head K.H., 1992. Manual of soil laboratory testing, 1. Pentech Press, London.
Izdebska-Mucha D., Wójcik E., 2011. Analiza parametrów skurczalności gruntów spoistych według różnych norm. Biuletyn PIG 446, 2.
Izdebska-Mucha D., Wójcik E., 2012. Ewaluacja i porównanie badań granicy skurczalności i płynności z wykorzystaniem metod statystycznych. Inż. Morska i Geotechnika 6.
Kezdi A., 1974. Handbook of soil mechanics. Ak. Kiado, Budapest.
Myślińska E., 2010. Laboratoryjne badania gruntów i gleb. Wydaw. UW, Warszawa.
PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.

ESTIMATION OF THE SHRINKAGE PARAMETERS FOR THE COHESIVE SOILS FROM LOWER SILESIA

Abstract. The paper presents the results of tests on samples of cohesive soils from Lower Silesia, concerning recognition of their ability to shrinkage under the drying to 110°C. The parameters defining the shrinkage of soil were: shrinkage limit, shrinkage rate and coefficient of linear and volumetric shrinkage. Using set of more than 80 tests results, presents an attempt to determine the correlation mentioned parameters according to shrinkage with other identification parameters investigated soil. Also estimated the usefulness of formulas given in the literature to approximate soil shrinkage parameter estimation calculated on the basis of other physical characteristics of the soils. Pointed the strong influence of local conditions on the values of the soil shrinkage.

Key words: soil shrinkage, linear shrinkage, volumetric shrinkage, shrinkage limit

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.07.2013