

## ANALIZA PARAMETRÓW SKURCZALNOŚCI GRUNTÓW SPOISTYCH WEDŁUG RÓŻNYCH NORM

### ANALYSIS OF CLAY SOILS SHRINKAGE PARAMETERS ACCORDING TO VARIOUS METHODS

DOROTA IZDEBSKA-MUCHA<sup>1</sup>, EMILIA WÓJCIK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów skurczalności oznaczonych wg norm polskiej PN-88/B-04481 i brytyjskiej BS1377: Part 2: 1990: 6.3 oraz wg wzoru korelacyjnego Krabbego z 1958 (Schultze, Muhs, 1967). Analizę przeprowadzono dla ilów mioplioceniowych, glin lodowcowych oraz mad. Określono takie parametry skurczu, jak: granica skurczalności  $w_s$ , skurcz objętościowy  $V_s$ , względny skurcz objętościowy  $V_p$  oraz przeprowadzono analizę ich zależności od parametrów wskaźnikowych gruntu. Najwyższe wartości granicy skurczalności i skurczu objętościowego ( $V_s$  i  $V_p$ ) wykazały kolejno: ility mioplioceniowe > mady > gliny lodowcowe. Wartości granicy skurczalności wg normy brytyjskiej są niższe niż wg normy polskiej, a różnica wartości średnich wynosi ok. 1–4%. Granica skurczalności obliczona wg wzoru Krabbego znacznie odbiega i nie wykazuje jednolitej tendencji zróżnicowania w stosunku do pozostałych metod. Nie stwierdzono wiążących zależności funkcyjnych pomiędzy granicą skurczalności a zawartością frakcji ilowej oraz wskaźnikiem plastyczności. Stwierdzono zależności liniowe o wysokim współczynniku korelacji pomiędzy skurczem objętościowym ( $V_s$  i  $V_p$ ) a wilgotnością gruntu  $w_0$ , przedziałem skurczu, wskaźnikiem plastyczności ( $I_p$ ) i zawartością frakcji ilowej. Wyznaczono wzór na względny skurcz objętościowy w zależności od parametrów łatwo i standardowo wyznaczanych w badaniach geologiczno-inżynierskich gruntów – wilgotności i wskaźnika plastyczności:  $V_p = 0,629w_0 + 0,191I_p - 1,659 \pm 3,166$ ; ( $R = 0,968$ ).

**Słowa kluczowe:** skurcz objętościowy, granica skurczalności, mada, glina lodowcowa, ility mioplioceniowe, grunt spoisty.

**Abstract.** The article presents the results of shrinkage parameters research according to Polish standard PN-88/B-04481, British standard BS1377: Part 2: 1990: 6.3 and Krabbe's equation from 1958 (Schultze, Muhs, 1967). Mio-Pliocene clays, glacial tills and alluvial soils were tested, as the most typical subsoils in Poland. Shrinkage limit  $w_s$ , volumetric shrinkage  $V_s$ , relative volumetric shrinkage  $V_p$  were determined and correlated with soils properties such as moisture content, shrinkage range, plasticity index and clay content. No significant relationships between shrinkage limit and clay content or plasticity index were found. Linear regression of high correlation coefficient was found between volumetric shrinkage  $V_s$ ,  $V_p$  and moisture content, shrinkage range, plasticity index, clay content. However, the most important result of the analyses was the determination of the relationship between volumetric shrinkage  $V_p$  and moisture content ( $w_0$ ) and plasticity index ( $I_p$ ) – parameters commonly tested in geological engineering practice:  $V_p = 0,629w_0 + 0,191I_p - 1,659 \pm 3,166$ ; ( $R = 0,968$ ).

**Key words:** volumetric shrinkage, shrinkage limit, alluvial soil, Mio-Pliocene clay, glacial till, clay soil.

## WSTĘP

W świetle przeprowadzonych ekspertyz i badań jedną z głównych przyczyn awarii obiektów budowlanych są właściwości ekspansywne podłoża budowlanego i związane z tym

faktem nieodpowiednie rozwiązania posadowienia i usztywnień konstrukcji (Jeż, 1989; Kumor, 1990, 1994, 2008). Właściwa ocena potencjalnych zdolności gruntów spoistych do

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; dim@uw.edu.pl; wojcike@uw.edu.pl

zmian objętościowych jest konieczna z przyczyn praktycznych, daje możliwość ekonomicznego projektowania i pełnego wykorzystania rzeczywistych właściwości gruntów. J. Jeż i T. Jeż (2006a, b) oraz J. Jeż (2008) zwracają uwagę, że ekspansywność jest nie samą cechą materiałową gruntu, ale zjawiskiem wynikającym z zaistnienia różnorodnych czynników w środowisku gruntowym podatnym na zjawisko ekspansji. Dotychczas w badaniach ekspansywności więcej uwagi poświęcono ocenie zmian objętościowych podłoża spowodowanych pęcznieniem gruntu (np. Niedzielski, 1993).

W artykule przedstawiono analizę parametrów skurczalności gruntu, które są również stosowane jako cechy wskaźnikowe w klasyfikacjach jakościowych gruntów ekspansywnych (np. Altmeyer, 1955; Holtz, 1959; Rangantham, Satanarayna, 1965; Raman, 1967; Tountoungi, 1988). Ponadto przedmiotem opracowania jest porównanie wartości granicy skurczalności wyznaczonej różnymi metodami oraz analiza zależności pomiędzy granicą skurczalności i skurczem objętościowym a parametrami wskaźnikowymi gruntów. Kumor (2007) wskazuje, że brak jest zidentyfikowanych parametrów i zależności, które zdefiniują możliwość

określenia niebezpiecznych dla konstrukcji wartości skurczu objętościowego gruntów w odniesieniu do cech gruntów ekspansywnych.

Analizę parametrów skurczalności przeprowadzono dla trzech typów gruntów o zróżnicowanej spoistości: iłów miopliocenijskich, glin lodowcowych oraz mad, które powszechnie występują na terenie Polski.

Iły miopliocenijskie pobrano z kopalni Przedsiębiorstwa Kruszyw Lekkich Keramzyt w Mszczonowie oraz na terenie Warszawy: z poligonu badawczego Stegny, z rejonu odcinka metra w okolicy Placu Bankowego pod srebrzystym wieżowcem oraz z planowanej lokalizacji kolektora Buraków. Badaniem objęto trzy poziomy iły: szare, zielone i płomieniste.

Badania skurczalności zostały wykonane również dla gliny stadiału mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego z obszaru Warszawy, gliny zlodowacenia warty z okolicy Mszczonowa oraz gliny zlodowacenia środkowopolskiego z rejonu Płocka.

Próbki mad do badań pobrano z wyższego tarasu zalewowego Wisły z rejonu Saskiej Kępy oraz Wilanowa.

## METODYKA BADAŃ

Badania parametrów skurczalności zostały wykonane na próbkach preparowanych – pastach (28 próbek) oraz na próbkach o nienaruszonej strukturze (6 próbek). Łącznie badaniom poddano 34 próbki gruntów (w tym 16 próbek iłów miopliocenijskich, 14 próbek glin lodowcowych i 4 próbki mad). Każde oznaczenie wykonano na dwóch identycznych próbkach, czyli rozpatrywane wyniki są średnią dwóch powtórzeń (liczba wykonanych badań wynosi 68). Do przeprowadzonej analizy wykorzystano również skład granulometryczny, podstawowe właściwości fizyczne: wilgotność, gęstość właściwą, gęstość objętościową oraz parametry konsystencji gruntów.

Pomiary granicy skurczalności ( $w_s$ ) zostały wykonane zgodnie z zaleceniami PN-88/B-04481 na podstawie wyznaczonej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, rozumianej jako masa jednostki objętości gruntu po jego wysuszeniu w temp. 105–110°C i gęstości właściwej szkieletu gruntowego. Badania granicy skurczalności wykonano również według normy brytyjskiej BS1377: Part 2: 1990: 6.3. Wilgotność początkowa past gruntowych odpowiadała stanowi twardoplastycznemu gruntu. Wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego próbek wysuszonych w 105–110°C, pomierzone w trakcie badań wg normy brytyjskiej, przyjęto do obliczeń granicy skurczalności wg PN-88/B-04481. Granicę skurczalności obliczono ponadto na podstawie wzoru podanego przez Krabbego w 1958 r. (za Schultze, Muhs, 1967):

$$w_s = w_L - 1,25I_p \quad [1]$$

gdzie:

- $w_s$  – wilgotność granicy skurczalności [%],
- $w_L$  – wilgotność granicy płynności [%],
- $I_p$  – wskaźnik plastyczności [%].

Według Schultze i Muhs (1967) wartości granicy skurczalności wyliczone zgodnie ze wzorem [1] należy traktować jako przybliżone.

Na podstawie przeprowadzonych badań dla wszystkich analizowanych gruntów wyznaczono skurcz objętościowy  $V_s$ , zgodnie z BS1377: Part 2: 1990: 6.3 według wzoru:

$$V_s = \frac{w - w_s}{R_s}; R_s = \frac{m_d}{\rho_w V_d} \quad [2]$$

gdzie:

- $V_s$  – skurcz objętościowy [%],
- $R_s$  – współczynnik skurczalności [-],
- $m_d$  – masa próbki wysuszonej w 105°C [g],
- $V_d$  – objętość próbki wysuszonej w 105°C [cm<sup>3</sup>],
- $\rho_w$  – gęstość wody [1 Mg/m<sup>3</sup>],
- $w$  – wilgotność początkowa gruntu [%],
- $w_s$  – wilgotność granicy skurczalności [%].

oraz względny skurcz objętościowy  $V_p$  według formuły:

$$V_p = \frac{V_0 - V_k}{V_0} 100\% \quad [3]$$

gdzie:

- $V_p$  – względny skurcz objętościowy [%],
- $V_0$  – objętość początkowa próbki gruntu [cm<sup>3</sup>],
- $V_k$  – objętość końcowa próbki po wysuszeniu w 105°C [cm<sup>3</sup>].

## WYNIKI BADAŃ

CHARAKTERYSTYKA SKURCZALNOŚCI  
ANALIZOWANYCH TYPÓW GRUNTÓW

W tabeli 1 zestawiono uśrednione wartości granicy skurczalności i skurczu objętościowego ( $V_s$  i  $V_p$ ) analizowanych gruntów, wyznaczone różnymi metodami. Na podstawie uzyskanych wyników określono ich przeciętne wartości dla badanych typów gruntów oraz porównano wartości granicy skurczalności otrzymane wg norm brytyjskiej BS1377: Part 2: 1990: 6.3 i polskiej PN-88/B-04481 oraz ze wzoru Krabbego.

Średnie wartości granicy skurczalności wg normy BS są najniższe dla glin lodowcowych (10,2%). Iły mioplioceniowe i mady wykazują nieco wyższe, niemal identyczne wartości (12,5 i 12,4%). Wg normy PN najniższe wartości  $w_s$  uzyskano dla mad i glin lodowcowych (13,2 i 13,9%). Dla ilów mioplioceniowych  $w_s$  wyniosła 15,1%.

Dla wszystkich typów gruntów średnie wartości granicy skurczalności wg normy BS są niższe niż wg PN, a różnica wynosi ok. 1–4%. Analogiczna tendencja rozbieżności między tymi metodami została również stwierdzona w pracy Izdebskiej-Muchy (2003). Granica skurczalności wg Krabbego nie wykazuje jednolitej zależności w stosunku do wartości otrzymanych innymi metodami. Należałoby podjąć próbę poprawienia wzoru Krabbego na podstawie obszernych wyników badania skurczalności gruntów z terenu Polski.

Największe zróżnicowanie średnich wartości  $w_s$ , uzyskanych trzema metodami można zaobserwować w ilach mioplioceniowych: od 12,5 do 19,4%. Uzyskane rozbieżności wartości granicy skurczalności mogą dawać różną klasę ekspansywności gruntu wg klasyfikacji znanych w literaturze. Im wyższa wartość granicy skurczalności, tym niższy stopień ekspansywności gruntu (np. Altmeyer, 1955; Holtz, 1959; Tountoungi, 1988), a zatem ocena ekspansywności podłoża gruntowego na podstawie  $w_s$  oznaczonej wg BS zapewnia większy margines bezpieczeństwa, ponieważ zakłada mniej korzystne warunki posadowienia.

Otrzymane wyniki potwierdzają wysokie właściwości ekspansywne ilów mioplioceniowych. W badanej grupie gruntów największy potencjał zmian objętościowych w procesie skurczu wykazują iły mioplioceniowe ( $V_s = 16,3\%$ ), a znacznie mniejszy mady i gliny lodowcowe ( $V_s$  odpowiednio 6,4 i 4,5%). Również względny skurcz objętościowy  $V_p$  jest najwyższy dla ilów mioplioceniowych (35,3%), dla mad wynosi 18,2%, a dla glin lodowcowych 11,9%. Powyższe wartości dotyczą badań past gruntowych, wg Mitchella (1993) grunty o naruszonej strukturze wykazują wyższy skurcz niż grunty o strukturze nienaruszonej.

Wartości  $w_s$  dla poszczególnych próbek wyznaczone trzema metodami przedstawiono na figurze 1. Wartości granicy skurczalności wg BS są niższe niż wg PN, a różnice są

Tabela 1

## Charakterystyka parametrów skurczalności ilów mioplioceniowych, glin lodowcowych i mad

Shrinkage parameters of Mio-Pliocene clays, glacial tills and alluvial soils

	Iły mioplioceniowe					Gliny lodowcowe					Mady				
	$w_s$ [%]			$V_s$ [%]	$V_p$ [%]	$w_s$ [%]			$V_s$ [%]	$V_p$ [%]	$w_s$ [%]			$V_s$ [%]	$V_p$ [%]
	BS	PN	Krabbe			BS	PN	Krabbe			BS	PN	Krabbe		
Liczba próbek	16					14					4				
min	5,6	9,8	10,4	10,2	27,0	5,8	10,8	8,1	3,1	6,0	10,0	10,5	14,2	5,6	18,0
max	19,0	21,9	31,7	28,9	45,5	16,1	17,2	16,7	6,1	16,8	13,6	15,6	17,3	7,8	18,5
średnia	12,5	15,1	19,4	16,3	35,3	10,2	13,9	11,5	4,5	11,9	12,4	13,2	15,5	6,4	18,2
mediana	13,4	14,7	18,5	14,9	34,0	9,2	12,9	10,7	4,3	12,0	12,9	13,2	15,3	6,2	18,2
odchylenie standardowe	3,3	3,0	6,6	5,6	6,2	3,2	2,4	2,6	1,0	3,0	1,6	2,8	1,4	0,9	0,2
współczynnik zmienności [%]	26,8	20,2	34,2	34,5	17,6	31,2	17,2	22,7	22,8	25,0	13,0	21,4	8,8	14,5	1,4

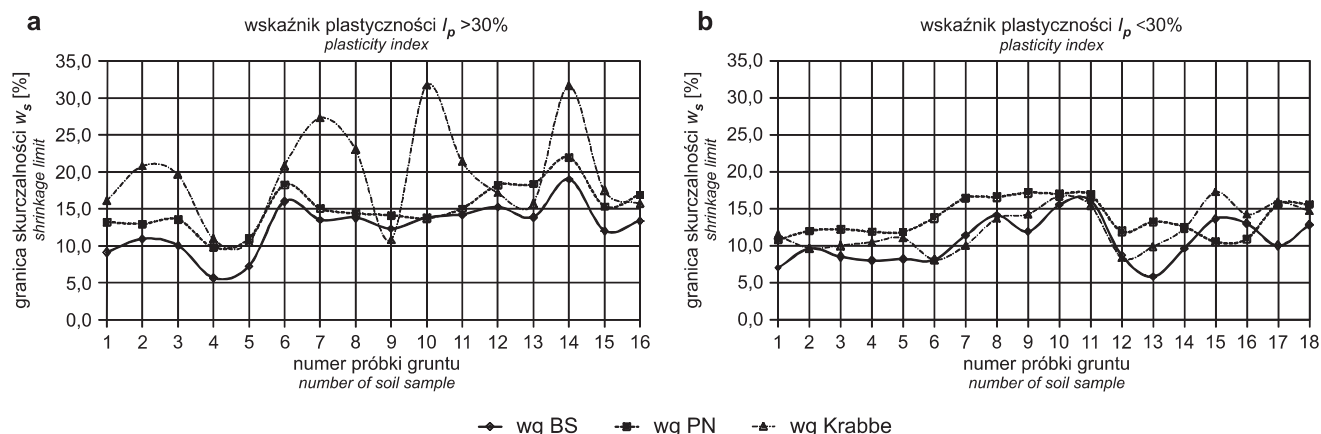
BS – granica skurczalności / *shrinkage limit* ( $w_s$ ) wg BS1377: Part 2: 1990: 6.3

PN – granica skurczalności / *shrinkage limit* ( $w_s$ ) wg PN-88/B-04481

Krabbe – granica skurczalności wg wzoru Krabbego z 1958 / *shrinkage limit after Krabbe formula* (1958)

$V_s$  – skurcz objętościowy / *volumetric shrinkage* wg BS1377: Part 2: 1990: 6.3

$V_p$  – względny skurcz objętościowy / *relative volumetric shrinkage*



**Fig. 1. Granica skurczalności ( $w_s$ ) gruntów: a – bardzo spoistych ( $I_p > 30\%$ ), b – mało, średnio i zwięzłospoistych ( $I_p < 30\%$ ), wyznaczona trzema metodami**

Shrinkage limit ( $w_s$ ) of soils with plasticity index  $I_p > 30\%$  (a) and  $I_p < 30\%$  (b), obtained from three methods

mniejsze w grupie gruntów bardzo spoistych ( $I_p > 30\%$ ) – od 0 do 4,5%, średnio 2,6% niż w gruntach mało, średnio i zwięzłospoistych – od 0,8 do 7,4%, średnio 3,8%. Wartości granicy skurczalności obliczone wg wzoru Krabbego na ogół istotnie odbiegają i nie wykazują jednolitej tendencji zróżnicowania w stosunku do wartości uzyskanych pozostałymi metodami.

#### ZALEŻNOŚĆ GRANICY SKURCZALNOŚCI I SKURCZU OBJĘTOŚCIOWEGO OD PARAMETRÓW WSKAŹNIKOWYCH GRUNTU

Podjęto próbę wyznaczenia zależności funkcyjnych pomiędzy granicą skurczalności a innymi cechami wskaźnikowymi gruntu, takimi jak: zawartość frakcji ilowej oraz wskaźnik plastyczności. W analizowanym zbiorze danych nie stwierdzono wiążących zależności funkcyjnych pomiędzy granicą skurczalności a zawartością frakcji ilowej i/lub wskaźnikiem plastyczności.

Skurcz objętościowy gruntu zależy m.in. od jego składu mineralnego, granulometrycznego, struktury, składu kompleksu sorpcyjnego, jak również jest silnie zależny od zakresu zmian wilgotności, w jakim ten proces obserwujemy. Stwierdzono istnienie zależności liniowych o wysokim współczynniku korelacji pomiędzy skurczem objętościowym  $V_s$  oraz względnym skurczem objętościowym  $V_p$  a wilgotnością początkową gruntu  $w_0$ , przedziałem skurczu zdefiniowanym jako  $w_0 - w_s$  (Head, 1992), wskaźnikiem plastyczności  $I_p$  oraz zawartością frakcji ilowej (fig. 2).

Kumor (2007) zwraca uwagę na potrzebę prognozowania skurczu objętościowego podłoża gruntowego z uwzględnieniem zakresu zmian wilgotności, w którym skurcz zachodzi, oraz tzw. cech materiałowych gruntu (np. granice konsystencji). W odpowiedzi na postawiony problem autorki wyznaczyły równanie względnego skurczu objętościowego ( $V_p$ ) w zależności od wilgotności początkowej ( $w_0$ ) i wskaźnika plastyczności gruntu ( $I_p$ ). Zastosowano metodę najmniejszych kwadratów. Znalaziono zależność liniową ( $R = 0,968$ ) o wzorze:

$$V_p = 0,629w_0 + 0,191I_p - 1,659 \pm 3,166$$

z prawdopodobieństwem  $\alpha = 0,95$ .

Warto zauważyć, że zadanie to spełniają również przedstawione (fig. 2b) zależności względnego skurczu objętościowego ( $V_p$ ) od przedziału skurczu ( $w_0 - w_s$ ):

$$V_p = 0,949(w_0 - w_s) + 4,987 \text{ gdzie } R = 0,967;$$

$w_s$  wg BS1377: Part 2: 1990: 6.3

$$V_p = 0,938(w_0 - w_s) + 7,879 \text{ gdzie } R = 0,982;$$

$w_s$  wg PN-88/B-04481.

Równania te mogą posłużyć do przewidywania maksymalnych zmian objętościowych w podłożu gruntowym o określonej wilgotności początkowej (naturalnej) w wyniku procesu skurczu.

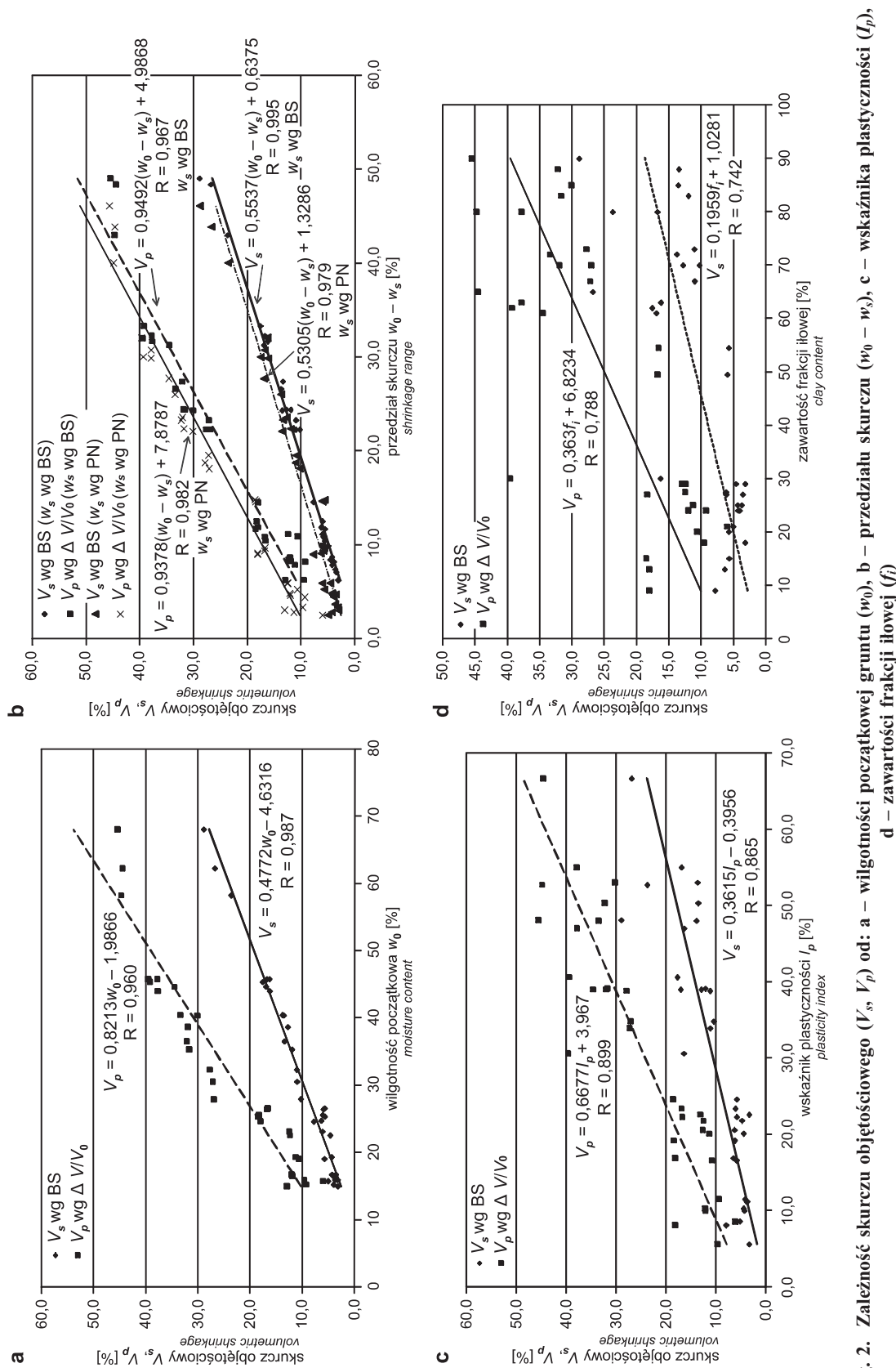


Fig. 2. Zależność skurczu objętościowego ( $V_s$ ,  $V_p$ ) od: a – wilgotności początkowej gruntu ( $w_0$ ), b – przedziału skurczu ( $w_0 - w_s$ ), c – wskaźnika plastyczności ( $I_p$ ), d – zawartości frakcji ilowej ( $f$ )

Correlation between volumetric shrinkage ( $V_s$ ,  $V_p$ ) and: a – moisture content ( $w_0$ ), b – shrinkage range ( $w_0 - w_s$ ), c – plasticity index ( $I_p$ ), d – clay content ( $f$ )

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono, że najniższe średnie wartości granicy skurczalności wykazały gliny lodowcowe (10,2% wg BS oraz 13,9% wg PN). Wyższe i zbliżone do siebie wartości granicy skurczalności otrzymano dla iłłów miopliocieńskich (12,5% wg BS; 15,1% wg PN) oraz małd (12,4% wg BS; 13,2% wg PN).

Największe zmiany objętościowe stwierdzono dla iłłów miopliocieńskich ( $V_s = 16,3\%$ ;  $V_p = 35,3\%$ ), mniejsze dla małd ( $V_s = 6,4\%$ ;  $V_p = 18,2\%$ ) i najmniejsze dla glin lodowcowych ( $V_s = 4,5\%$ ;  $V_p = 11,9\%$ ).

Wartości granicy skurczalności wyznaczone wg BS są niższe niż wg PN, a różnice są mniejsze w grupie gruntów bardzo spoistych (średnio 2,6%) niż w gruntach o  $I_p < 30\%$  (średnio 3,8%). Wartości granicy skurczalności wg Krabbego (1958) nie wykazały jednolitej tendencji zróżnicowania w stosunku do wartości otrzymanych innymi metodami. Znacząca i nieregularna rozbieżność wartości granicy skurczalności obliczonych wg wzoru Krabbego sugeruje, że nie można go stosować w odniesieniu do polskich gruntów i powinien on zostać poprawiony. Ocena ekspansywności podłoża gruntowego na podstawie granicy skurczalności oznaczonej wg BS jest bezpieczniejsza, ponieważ zakłada mniej korzystne warunki posadowienia.

Nie stwierdzono wiążących zależności granicy skurczalności od zawartości frakcji iłłowej oraz wskaźnika plastyczności.

Dla skurczu objętościowego oraz względnego skurczu objętościowego wyznaczono następujące liniowe zależności funkcyjne o wysokim współczynniku korelacji:

$$V_s = f(w_0) \quad R = 0,987 \quad V_s = 0,4772w_0 - 4,6316 \quad (1)$$

$$V_s = f(I_p) \quad R = 0,865 \quad V_s = 0,3615 I_p - 0,3956 \quad (2)$$

$$V_s = f(f_i) \quad R = 0,742 \quad V_s = 0,1959 f_i + 1,0281 \quad (3)$$

$$V_p = f(w_0) \quad R = 0,960 \quad V_p = 0,8213w_0 - 1,9866 \quad (4)$$

$$V_p = f(I_p) \quad R = 0,899 \quad V_p = 0,6677 I_p + 3,967 \quad (5)$$

$$V_p = f(f_i) \quad R = 0,788 \quad V_p = 0,363 f_i + 6,8234 \quad (6)$$

$$V_s = f(w_0 - w_s \text{ wg BS}) \quad R = 0,995 \quad V_s = 0,5537(w_0 - w_s) + 0,6375 \quad (7)$$

$$V_s = f(w_0 - w_s \text{ wg PN}) \quad R = 0,979 \quad V_s = 0,5305(w_0 - w_s) + 1,3286 \quad (8)$$

$$V_p = f(w_0 - w_s \text{ wg BS}) \quad R = 0,967 \quad V_p = 0,9492(w_0 - w_s) + 4,9868 \quad (9)$$

$$V_p = f(w_0 - w_s \text{ wg PN}) \quad R = 0,982 \quad V_p = 0,9378(w_0 - w_s) + 7,8787 \quad (10)$$

$$V_p = f(w_0, I_p) \quad R = 0,968 \quad V_p = 0,629w_0 + 0,191I_p - 1,659 \quad (11)$$

Równania (7) do (11) mogą posłużyć do prognozowania zmian objętościowych w podłożu gruntowym z jednoczesnym uwzględnieniem wilgotności gruntu oraz innych jego parametrów wskaźnikowych, takich jak granice konsystencji. Przebieg oznaczenia granicy skurczalności jest złożony, czasochłonny i stwarza możliwość powstania błędów pomiarowych. W związku z tym szczególnie przydatny wydaje się wzór (11), ponieważ pozwala wyznaczyć względny skurcz objętościowy na podstawie wilgotności początkowej i wskaźnika plastyczności – parametry łatwo i standardowo wyznaczone w badaniach geologiczno-inżynierskich gruntów.

## LITERATURA

- ALTMAYER W.T., 1955 — Discussion on engineering properties of expansive clays. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, **81**, 658: 17–19.
- BS1377: Part 2: 1990: 6.3 — Methods of testing soils for civil engineering purposes. British Standards Institution, London.
- HEAD K.H., 1992 — Manual of soil laboratory testing. Vol. 1. Soil classification and compaction tests. Pentech Press, London.
- HOLTZ W.G., 1959 — Expansive clays – properties and problems. *Quarterly Colorado School of Mines*, **54**, 4: 89–125.
- IZDEBSKA-MUCHA D., 2003 — Polska a brytyjska norma badań skurczalności gruntów spoistych. *W: 45 lat geotechniki w Łodzi. Geotechnika w polskim budownictwie: 63–78. Łódź.*
- JEŹ J., 1989 — Ocena właściwości geotechnicznych podłoża gruntowego na podstawie szaty roślinnej. *Zesz. PPozn., Rozprawy*, **218**.
- JEŹ J., 2008 — Geotechnika – awarie osobliwe. *Warstwy, dachy, ściany*, **4**: 87–89.
- JEŹ J., JEŹ T., 2006a — O awariach budynków posadowionych na iłłach poznańskich. *Inż. i Bud.*, **62**, 3: 135–137.
- JEŹ J., JEŹ T., 2006b — Stereotypy w ocenie sytuacji geotechnicznej obiektu budowlanego. *Inż. i Bud.*, **62**, 6: 315–317.
- KUMOR M.K., 1990 — Awaryjne budynki posadowione na ekspansywnych iłłach trzeciorzędowych w Bydgoszczy. *Prz. Bud.*, **11**: 471–476.
- KUMOR M.K., 1994 — Geotechniczna charakterystyka iłłów trzeciorzędowych serii poznańskiej jako podłoża budowlanego. *W: Iły poznańskie. Praktyczne aspekty budownictwa na gruntach ekspansywnych: 1–18. Bydgoszcz.*
- KUMOR M.K., 2007 — Wybrane problemy skurczu iłłów ekspansywnych rejonu Bydgoszczy. *Zesz. Nauk. PŚl., Bud.*, **111**: 247–254.
- KUMOR M.K., 2008 — Selected geotechnical problems of expansive clays in the area of Poland. *Architecture Civil Engineer. Environ.*, **1**, 4: 75–92.
- MITCHELL J.K., 1993 — Fundamentals of soil behavior. John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- NIEDZIELSKI A., 1993 — Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie iłłów poznańskich i warwowych. *Rocz. AR, Rozprawy Naukowe*, **238**.
- PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.

- RAMAN V., 1967 — Identification of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data. *Indian Engineer.*, **11**, 1: 17–22.
- RANGANATHAM G. V., SATANARAYANA B., 1965 — A rational method of predicting swelling potential for compacted expansive soils. Proc. of the 6th ICSMFE: 92–96. Montreal, Canada.
- SCHULTZE E., MUHS H., 1967 — Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg/New York.
- TOUNTOUNGI A., 1988 — Expansion soil in Syria. Proc. of Int. Conf. Eng. Probl. of Reg. Soils: 413–714. Beijing, China.

## SUMMARY

Shrinkage properties of Mio-Pliocene clays, glacial tills and alluvial soils were tested according to Polish standard PN-88/B-04481, British standard BS1377: Part 2: 1990: 6.3 and Krabbe's equation from 1958 (Schultze, Muhs, 1967). Shrinkage limit  $w_s$ , volumetric shrinkage  $V_s$ , relative volumetric shrinkage  $V_p$  were determined and correlated with index properties of soils.

Values of shrinkage limit and volumetric shrinkage ( $V_s$  and  $V_p$ ) decreased in order: Mio-Pliocene clays > alluvial soils > glacial tills. Shrinkage limit values obtained from BS1377: Part 2: 1990: 6.3 method were lower than from PN-88/B-04481 method and the difference was of about 1–4%. Shrinkage limit values calculated from Krabbe's equation did not show relation to other methods (Tab. 1).

No significant relationship was found between shrinkage limit and clay content or plasticity index. Linear regression of high correlation coefficient was found between volumetric shrinkage  $V_s$ ,  $V_p$  and moisture content, shrinkage range, plasticity index, clay content (Fig. 2).

As a result of multiple regression analysis, relative volumetric shrinkage  $V_p$  was defined by the equation:  $V_p = 0,629w_0 + 0,191I_p - 1,659 \pm 3,166$ ; ( $R = 0,968$ ). Thus, it might be predicted on the basis of a soil moisture content ( $w_0$ ) and plasticity index ( $I_p$ ) – parameters commonly tested in geological engineering practice.

