

Porównanie właściwości ekspansywnych iłów neogeńskich z Mazowsza

Ireneusz Gawriuczenkow¹, Emilia Wójcik¹



I. Gawriuczenkow



E. Wójcik

Comparison of expansive properties of Neogene clays from the Mazovia region.
Prz. Geol., 61: 243–247.

Abstract. Development of building projects in the Mazovia region causes the risk of their location on the soils of specific expansive properties. These properties, expressed as swelling or shrinkage, are a serious engineering problem. Many methods are used for the evaluation of expansiveness; both direct and indirect test methods are used. Tests were performed on clays from the areas of Warsaw, Dobrze near Mińsk Mazowiecki and Mszczonów. Comparative analysis of expansive properties of Neogene clays is based on the results of laboratory tests of mineral composition, grain size distribution, moisture content, free swelling and swelling pressure. The tests have shown that the expansive properties of clays from the Mazowsze region can have extremely high values, which causes the need for individual determination of potential expansiveness for different types of clays, depending on moisture content, swelling pressure and chemistry of the environment.

Keywords: expansion, Neogene (Mio-Pliocene) clay, swelling pressure, mineral composition, clay fraction



Problemy dotyczące posadowienia budowli na gruntach ekspansywnych, podlegających procesom zwiększania i zmniejszania objętości (pęcznienie i skurcz) pod wpływem działania wody (dostarczania lub ubytku), są znane i szeroko rozpowszechnione na świecie. Doniesienia o uszkodzeniach różnych elementów konstrukcji, w tym fundamentów, związane z występowaniem tego rodzaju gruntów są spotykane na obszarze wszystkich kontynentów. W ciągu ostatnich kilkunastu lat, w związku ze zwiększeniem częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych, można było obserwować negatywne skutki naprzemiennego zachodzenia procesów skurczu i pęcznienia. Również na znacznym obszarze naszego kraju, pod nakładem utworów czwartorzędowych o zróżnicowanej miąższości, występują ekspansywne iły. Już na etapie projektowania posadowienia budowli należy uwzględnić ich wrażliwość na zmiany wilgotności, szczególnie w strefie przypowierzchniowej, gdzie wahania wilgotności są największe. Właściwe rozpoznanie właściwości (ekspansywnych) gruntów oraz określenie zagrożeń (np. warunki środowiskowe) umożliwi wyeliminowanie lub ograniczenie potencjalnych szkód. Ekspansywność jest nie tylko cechą materiałową gruntu, lecz również zjawiskiem wynikającym z zaistnienia różnorodnych czynników w środowisku gruntowym podatnym na zjawisko ekspansji (Jeż & Jeż, 2006a, b; Jeż, 2008).

Do niedawna w badaniach ekspansywności więcej uwagi poświęcono ocenie zmian objętościowych podłoża spowodowanych pęcznieniem gruntu (Niedzielski, 1993). W literaturze dotyczącej klasyfikacji gruntów ekspansywnych zainteresowanie badaczy też zwraca się głównie ku temu procesowi. Ponadto w geotechnice pojęcie ekspansywności gruntów najczęściej wiąże się z definicją pęcznienia. Określeniem często spotykanym w literaturze jest termin „grunty pęczniące” (Garbulewski & Żakowicz, 1993).

Całe spektrum zjawisk związanych z ekspansywnością obejmuje również proces skurczu gruntów, choć z literatu-

ry wynika, że pęcznienie i skurcz nie są ilościowo równoważne. Istnieją nieliczne klasyfikacje ekspansywności wprowadzające do kryteriów oceny parametry skurczu (np. Altmeyer, 1955; Holtz, 1959; Ranganatham & Satyanarayana, 1965; Raman, 1967; Tountoungi, 1988). Cechą wskaźnikową w klasyfikacji jakościowej ekspansywnych gruntów polskich opracowanej przez Niedzielskiego (1993) jest przedział skurczalności wyrażony różnicą granicy płynności i skurczalności.

Uwzględnienie procesów skurczu i pęcznienia przy projektowaniu fundamentów proponuje Kumor (2006). Autor ten podkreśla, że nawet dobrze zaprojektowane i wykonane budowle po kilkunastu latach użytkowania mogą ulec poważnej awarii w wyniku przemieszczania fundamentów na skutek naprzemiennie występujących faz pęcznienia i skurczu podłoża.

W ocenie właściwości ekspansywnych gruntów wykorzystuje się zarówno badania bezpośrednie, jak i metody pośrednie oparte na nomogramach i wzorach empirycznych. Zastosowanie znajduje tu wiele właściwości i parametrów, które często nazywa się wskaźnikowymi (tab. 1).

W artykule ocenie poddano iły serii poznańskiej z obszaru Mazowsza.

METODYKA BADAŃ

Badania podstawowych parametrów gruntu, takich jak skład granulometryczny, wilgotność i granice konsystencji, wykonano zgodnie z polską normą PN-B-04481:1998. Badania pęcznienia swobodnego przeprowadzono według metody zaproponowanej przez Holtza i Gibbsa (1956), a skurczu liniowego – według brytyjskiej normy BS 1377: Part 2: 1990. Ciśnienie pęcznienia zbadano w aparacie firmy Geonor metodą C, przy stałej wysokości próbki (ASTM D2435-90). Badania składu mineralnego analizowanych próbek przeprowadzono w aparacie Q600 firmy TA Instruments. Skład mineralny ustalono na podstawie analizy termicznej, zgodnie z ściśle określoną metodyką (Kościółko & Wyrwicki, 1996).

¹Institut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; ireneusz.gawriuczenkow@uw.edu.pl, wojcike@uw.edu.pl.

Tab. 1. Wybrane metody pośredniej oceny ekspansywności gruntów (na podstawie literatury)
Table 1. Selected indirect methods of soil expansiveness evaluation (based on literature)

Metody oceny pośredniej <i>Indirect evaluation methods</i>	Parametry oceniane <i>Valued parameters</i>	Parametry wskaźnikowe <i>Index parameters</i>
Nomogram Van der Merwe (1964) <i>Van der Merwe (1964) chart</i>	potencjalna ekspansywność (PE) <i>potential expansion (PE)</i>	zawartość frakcji ilowej f_i [%], wskaźnik plastyczności I_p [%] <i>clay content f_i [%], plasticity index I_p [%]</i>
Nomogram według Seeda i in. (1962) <i>Seed et al. (1962) chart</i>	stopień ekspansji (DE), potencjał pęcznienia (S) <i>degree of expansion (DE), swelling potential (S)</i>	zawartość frakcji ilowej f_i [%], aktywność A^* [-], wskaźnik plastyczności I_p [%] <i>clay content f_i [%], activity A^* [-], plasticity index I_p [%]</i>
Nomogram Vijayvergiya i Gazzaly'ego (1973) <i>Vijayvergiya and Gazzaly (1973) chart</i>	ciśnienie pęcznienia (σ_{sp}) <i>swelling pressure (σ_{sp})</i>	granica płynności w_L [%], wskaźnik pęcznienia I_s [-] <i>liquid limit w_L [%], swell index I_s [-]</i>
Nomogram Casagrande'a według Head'a (1992) <i>Casagrande chart according to Head (1992)</i>	pęcznienie (S_{DR}), plastyczność <i>swelling (S_{DR}), plasticity</i>	granica płynności w_L [%], wskaźnik plastyczności I_p [%] <i>liquid limit w_L [%], plasticity index I_p [%]</i>
Klasyfikacja (Seed i in., 1962) <i>Classification (Seed et al., 1962)</i>	całkowite pęcznienie (TE) <i>total expansion (TE)</i>	stopień ekspansji (DE) <i>degree of expansion (DE)</i>
Wzór empiryczny (Seed i in., 1962) <i>Empirical formula (Seed et al., 1962)</i>	potencjał pęcznienia (S) <i>swelling potential (S)</i>	wskaźnik plastyczności I_p [%] <i>plasticity index I_p [%]</i>

*Aktywność obliczona według wzoru $A = \frac{I_p}{(f_i - 5)}$ / Activity defined from the formula $A = \frac{I_p}{(f_i - 5)}$.



Ryc. 1. Zasięg występowania ilów neogeńskich (Wichrowski, 1981) oraz miejsca pobrania próbek

Fig. 1. Distribution of Neogene clays (Wichrowski, 1981) and location of sampling points

GRUNTY TESTOWE

Analizowane grunty pochodzą z obszaru północno-wschodniej części neogeńskiego basenu sedimentacyjnego (Wichrowski, 1981) – tzw. rejonu A (Grabowska-Olszewska & Kaczyński, 1994), obejmującego centralną część Mazowsza. Lokalizację miejsc, z których pobrano próbki do badań, przedstawiono na rycinie 1.

Iły neogeńskie na terenie Warszawy stanowią podłoże fundamentów wielu wznoszonych nowoczesnych obiektów budowlanych, w tym metra. Głębokość występowania

iłów mieści się w granicach 2–100 m p.p.t., a ich miąższość zmienia się od 50 m do miejscami 100–150 m (Frankowski & Wysokiński, 2000). Grunty te ze względu na swoje właściwości ekspansywne i złożoną historię geologiczną wymagają przeprowadzenia kompleksowych i niestandardowych badań (dotyczących np. składu mineralnego, aktywności, ciśnienia pęcznienia). Na terenie Warszawy próbki do badań pobrano z różnych lokalizacji, gdzie prowadzone były prace budowlane.

Drugim obszarem, z którego pobrano grunty do analizy, jest teren kopalni Przedsiębiorstwa Kruszyw Lekkich „Keramzyt” Sp. z o.o. w Mszczonowie, położony ok. 45 km na południowy zachód od Warszawy. Wspomniane iły występują tu w postaci kry glaciektonicznej, przeniesionej przez łądolód i wciśniętej w utwory czwartorzędowe stadiału Warty zlodowacenia środkowopolskiego, (Czarnecki & Czerny, 1960; Czarnecki & Niedzielski, 1961).

Badania przeprowadzono również na próbkach ilów neogeńskich ze złoża surowców ilastych z cegielni należącej do Wienerberger Ceramika Budowlana Sp. z o.o., znajdującego się ok. 17 km na północny wschód od Mińska Mazowieckiego i ok. 1 km na południe od miejscowości Dobre, u zbiegu dwóch dróg łączących Dobre z Rudzienkiem i z Kamionką. W rejonie Dobrego stwierdzono istnienie równoleżnikowej struktury zbudowanej ze spiętrzonych utworów neogenu (Piotrowska & Kamiński, 2005). Między Dobrem a Antoniną maksymalna rzędna ich stropu wynosi 160 m n.p.m. (Nowak, 1971a, b). Spiętrzenie rozciąga się na kilkanaście kilometrów: na wschód do doliny Osownicy i na zachód do doliny Rządzy. Na południe od wyniesienia strop neogenu gwałtownie spada i osiąga rzędą 80 m n.p.m.

WYNIKI BADAŃ

W tabeli 2 zamieszczono wyniki badań parametrów fizycznych określających ekspansywność ilów neogeńskich z różnych obszarów badawczych zlokalizowanych w obrębie rejonu A oraz ilów z rejonu Bydgoszczy uznawanych za nietypowe (Kumor, 2005, 2006).

Tab. 2. Podstawowe parametry fizyczne iłów neogeńskich z rejonu A
Table 2. Basic physical parameters of the Neogene clays from area A

Lokalizacja Locality	Parametr Parameter	f_i [%]	w_n [%]	w_s [%]	w_p [%]	w_L [%]	I_p [%]	I_L [-]	I_s [%]	A [-]	S_r [-]	FS_{HG} [%]	ϵ_p [%]	σ_{sp} [kPa]	L_s [%]
Warszawa	min	13	17	10,6	16,8	35,5	16,9	-0,73	21,1	0,29	0,93	10	1,5	31,2	9,7
	max	90	40,2	35,7	49,8	116	72,9	0,24	91,1	3,62	1	115	13,2	280	17,4
	\bar{x}	60	26,1	19,5	32,2	77,3	45,1	-0,15	58,1	0,86	0,98	66,4	5,6	81,9	14,4
	s	15,7	5,3	6	7,1	18,1	13	0,1	16,4	0,6	0,02	38,4	3,8	80,9	3,1
Mszczonów	min	40	21,7	14,8	24,8	55,3	29,3	-0,16	36,6	0,51	0,94	65	1,6	25,7	6
	max	82	35,4	24,7	38,3	94,3	59,1	0,08	73,9	0,91	1	135	12,1	58	16,1
	\bar{x}	61,4	27,6	18,4	29,4	73,3	43,9	-0,04	54,8	0,72	0,98	102,5	5,7	36,9	11,8
	s	12,4	3,7	3	4,5	14	10,3	0,1	12,9	0,1	0,03	22,8	3,6	11,3	3,9
Dobre k. Mińska Mazowiec- kiego	min	44	21,7	11,1	23,1	63,9	39,3	-0,2	48,1	0,59	0,96	70	1,7	19	13
	max	88	44,0	33,6	54	105	65,7	0,16	82	1	1	165	11	59	20
	\bar{x}	67,9	29,3	18,8	32,3	83,2	50,9	-0,06	64,4	0,77	0,98	116,5	5,4	34,4	16,7
	s	13,4	5,5	5,7	7,9	12,1	7	0,1	8,9	0,1	0,03	29,6	3,1	12,3	2,2
Bydgoszcz*	min	30	11,8	12,81	11,9	45,6	56,3	0,03	-	0,72	-	-	-	12	3
	max	84	46,8	18,53	50,5	148,5	99	0,019	-	1,95	-	-	-	1200	14,4
	\bar{x}	45	26,51	13,7	27,2	82,1	30	-0,1	-	1,22	-	-	-	200-400	7,6-10,7

*Według Kumora (2005). Objaśnienia: f_i – zawartość frakcji iłowej, w_n – wilgotność naturalna, w_s – granica skurczalności, w_p – granica plastyczności, w_L – granica płynności, I_p – wskaźnik plastyczności, I_L – stopień plastyczności, I_s – wskaźnik skurczalności, A – aktywność, S_r – stopień nasycenia, FS_{HG} – pęcznienie swobodne, ϵ_p – wskaźnik pęcznienia, σ_{sp} – ciśnienie pęcznienia, L_s – skurcz liniowy, min – wartość minimalna, max – wartość maksymalna, \bar{x} – wartość średnia, s – odchylenie standardowe.

*According to Kumor (2005). Explanations: f_i – clay content, w_n – moisture content, w_s – shrinkage limit, w_p – plastic limit, w_L – liquid limit, I_p – plasticity index, I_L – liquidity index, I_s – shrinkage index, A – activity, S_r – degree of saturation, FS_{HG} – free swell, ϵ_p – swell index, σ_{sp} – swelling pressure, L_s – linear shrinkage, min – minimum value, max – maximum value, \bar{x} – mean value, s – standard deviation.

Wyniki badań składu granulometrycznego wskazują, że rozpatrywane grunty charakteryzują się znaczną zawartością frakcji iłowej. Średnia jej zawartość w iłach z poszczególnych lokalizacji jest zbliżona, chociaż nieznacznie wyższe wartości uzyskano dla iłów z Dobrego, a najniższe dla iłów z Warszawy. W stosunku do średnich wartości otrzymanych dla rejonu Bydgoszczy (Kumor, 2005, 2006) są one jednak wyższe. Wartości maksymalne są natomiast bardzo zbliżone i osiągają ok. 86%. Również średnie wartości wilgotności naturalnej są podobne we wszystkich rejonach, podczas gdy jej wartości minimalne w rejonie Bydgoszczy są niższe i spadają nawet poniżej granicy skurczalności.

Średnie wilgotności naturalne iłów ze wszystkich trzech poligonów badawczych z rejonu A oscylują w pobliżu wartości granicy plastyczności, co wskazuje, że iły te znajdują się w stanie półzwarłym. Dodatkowo stopień nasycenia tych gruntów jest zbliżony do pełnego, co powoduje, że iły neogeńskie w takich warunkach nie powinny stanowić zagrożenia. Potwierdzają to również wyniki badań ciśnienia pęcznienia oraz wskaźnika pęcznienia próbek o nienaruszonej strukturze (NNS), których wartości nie są zbyt wysokie (tab. 2). Czasami zdarzają się znaczne odstępstwa od wartości średnich, szczególnie w przypadku iłów występujących na niewielkich głębokościach w strefie aeracji, strefie aktywnej o obniżonej wilgotności, gdzie wartości maksymalne zarówno ciśnienia pęcznienia, jak i wskaźnika ekspansji są znacznie wyższe (tab. 2). Maksymalne wartości tych parametrów wskazują na potrzebę identyfikacji właściwości ekspansywnych iłów neogeńskich, chociażby przez wykonanie badań wskaźnikowych. Przykładem takiego badania jest oznaczenie pęcznienia swobodnego według Holtza i Gibbsa (1956), za pomocą którego szybko można stwierdzić, czy badane grunty mogą stanowić realne zagrożenie i czy należy wykonać dalsze badania. W przypadku iłów z trzech poligonów z rejonu A średnie

wartości pęcznienia swobodnego FS_{HG} wskazują, że iły te mogą stwarzać problemy przy inwestycjach budowlanych. Zagrożenie może być spotęgowane przez wpływ warunków atmosferycznych w trakcie prac inwestycyjnych. Przesuszenie bądź zawilgocenie podłoża może diametralnie zmienić parametry, wpływając na zwielokrotnienie wartości ciśnienia pęcznienia, które przy wilgotności powietrzno-suchej dochodzi nawet do ponad 2000 kPa (Gawriuczenkow & Krzynówek, 1998; Kumor, 2005). Podwyższenie wilgotności (np. w wyniku długotrwałych ulew) powoduje późniejszy znaczny skurcz iłów. To właśnie osiadanie podłoża fundamentowego w fazie skurczu, która następuje po fazie pęcznienia, jest powodem większości awarii budynków (Kumor, 2005). Wyniki badań skurczu liniowego wskazują, że poddane analizie próbki iłów mogą stracić na długości średnio ok. 15% w przypadku, gdy ich wilgotność wzrosłaby do wartości zbliżonych do granicy płynności. Wpływ na tak duże wartości zarówno skurczu, jak i ciśnienia pęcznienia mają na pewno duża zawartość frakcji iłowej i skład mineralny.

Iły neogeńskie serii poznańskiej ze wszystkich rejonów charakteryzują się dużą zawartością minerałów ilastych, wynoszącą średnio ok. 59% (tab. 3). Mineralem dominującym w składzie iłów jest beidellit (minerał z grupy smektytu), którego średnia ilość we wszystkich lokalizacjach przekracza 45%. Jako drugi minerał ilasty występuje kaolinit. W niektórych próbkach akcesorycznie może pojawiać się illit, najprawdopodobniej jako minerał mieszanopakietowy z beidellitem, jednak w ilościach uniemożliwiających określenie jego procentowej zawartości. We wszystkich próbkach występują domieszki getytu, a w pojedynczych pojawiają się również niewielkie ilości substancji organicznej (do ok. 0,5%). Dopełnienie składu mineralnego stanowią kwarc oraz minerały nieaktywnie termicznie (średnio 30%).

Tab. 3. Skład mineralny iłów neogeńskich z rejonu A
Table 3. Mineral composition of the Neogene clays from area A

Lokalizacja Locality	Wartości charakterystyczne Characteristic values	Zawartość minerałów Mineral composition [%]			
		minerały ilaste clay minerals		geothyt goethite	kwarc i inne quartz and others
		beidellit beidellite	kaolinit kaolinite		
Warszawa	min	26,9	6,9	2	16,7
	max	61,9	17,4	9	65,5
	\bar{x}	48,8	13,3	5,8	32,9
	s	11,8	4,3	2,5	17,8
Mszczonów	min	31,1	2	0,7	10,9
	max	67,9	22,8	7,5	55,2
	\bar{x}	48,2	11,4	4,3	36,1
	s	11,7	5,9	1,7	13,7
Dobre k. Mińska Mazowieckiego	min	23	3,8	1	14
	max	76,5	24	9,2	58,1
	\bar{x}	45,7	12,8	4,7	34,5
	s	16,9	5,6	2,3	13,9

Objaśnienia: min – wartość minimalna, max – wartość maksymalna, \bar{x} – wartość średnia, s – odchylenie standardowe.
 Explanations: min – minimum value, max – maximum value, \bar{x} – mean value, s – standard deviation.

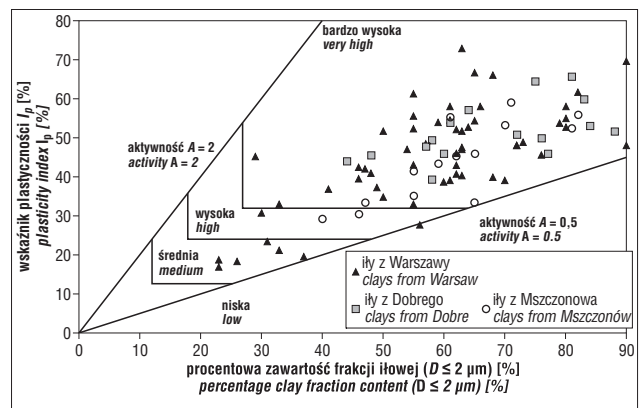
Duża zawartość minerałów z grupy smektytu sprawia, że iły z Mazowsza mogą okazać się bardzo ekspansywne.

Zarówno potencjalną ekspansywność, jak i aktywność gruntów można oszacować na podstawie nomogramu Van der Merwe (1964). Iły neogeńskie z Warszawy charakteryzują się potencjalną ekspansywnością od średniej do bardzo wysokiej oraz aktywnością od nieaktywnych do aktywnych, iły z Dobrego potencjalną ekspansywnością bardzo wysoką, aktywnością od nieaktywnych do normalnych, a iły z Mszczonowa potencjalną ekspansywnością wysoką i bardzo wysoką oraz aktywnością od nieaktywnych do normalnych (ryc. 2).

Ocena stopnia ekspansji DE oraz potencjału pęcznienia S na podstawie nomogramu Seeda i in. (1962) wskazuje, że iły z Warszawy cechują się stopniem ekspansji od średniego do bardzo wysokiego, a ich potencjał pęcznienia wynosi powyżej 1,5%. Iły z Dobrego i z Mszczonowa wyróżniają stopień ekspansji od średniego do bardzo wysokiego, a ich potencjał pęcznienia osiąga ponad 5% (ryc. 3).

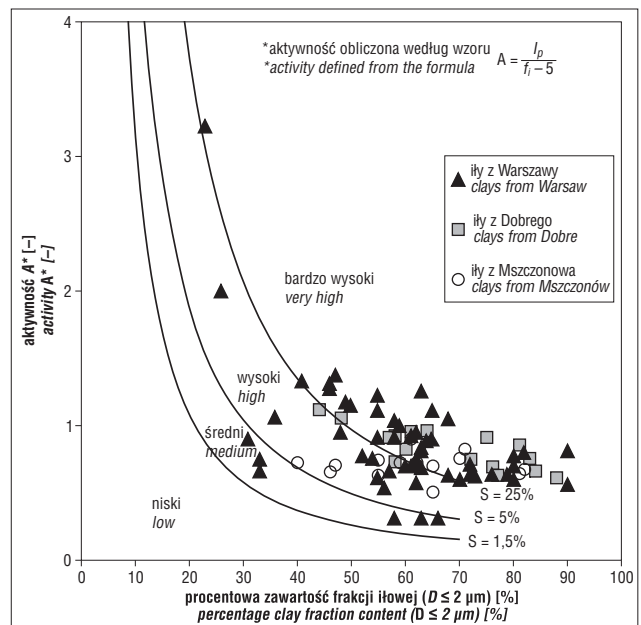
Parametrem uzupełniającym wymienione klasyfikacyjne wskaźniki ekspansywności, który można oszacować na podstawie nomogramu Vijayvergiya i Gazzaly'ego (1973), jest ciśnienie pęcznienia (ryc. 4). Zgodnie z nomogramem iły z Warszawy i z Mszczonowa można zaklasyfikować do gruntów o ciśnieniu pęcznienia od poniżej 30 kPa do powyżej 300 kPa, a iły z Dobrego – od 30 kPa do powyżej 300 kPa. Trzeba zaznaczyć, że uzyskane wyniki badań przy pomocy aparatu do badania ciśnienia pęcznienia dla iłów o wilgotności naturalnej są znacznie niższe i wynoszą od 19 kPa do maksymalnie 280 kPa. Maksymalne wartości mogą stanowić już zagrożenie dla lekkich budowli i obiektów inżynierskich.

Dopełnieniem klasyfikacji ekspansywności pozwalającym pełniej oszacować plastyczność i pęcznienie gruntu jest nomogram Casagrande'a zmodyfikowany przez Grabow-



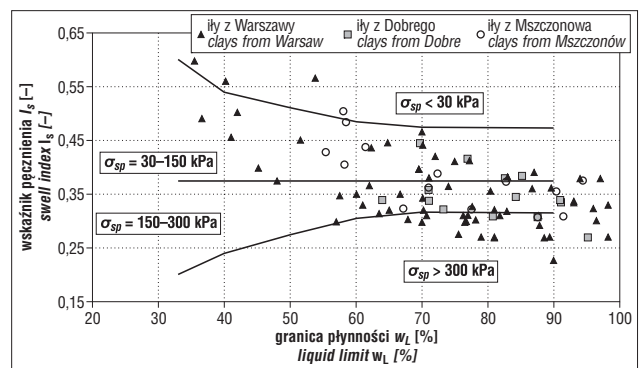
Ryc. 2. Nomogram Van der Merwe (1964) do oceny potencjalnej ekspansywności z wartościami uzyskanymi dla iłów neogeńskich z rejonu A

Fig. 2. Van der Merwe (1964) chart for evaluation of potential expansion values with values obtained for the Neogene clays from area A



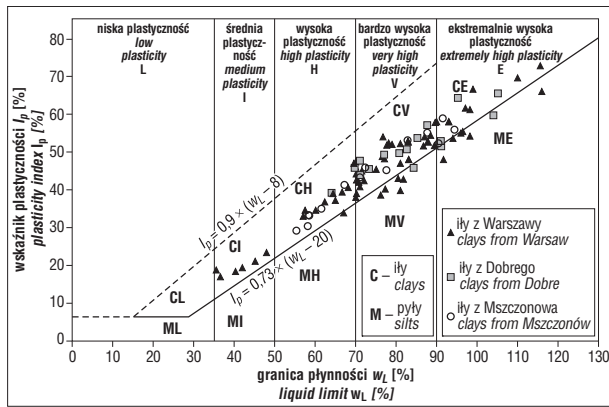
Ryc. 3. Nomogram Seeda i in. (1962) do oceny stopnia ekspansji oraz potencjału pęcznienia z wartościami uzyskanymi dla iłów neogeńskich z rejonu A

Fig. 3. Seed et al. (1962) chart for evaluation of degree of expansion and swelling potential with values obtained for the Neogene clays from area A



Ryc. 4. Nomogram Vijayvergiya i Ghazzaly'ego (1973) do oceny wartości ciśnienia pęcznienia neogeńskich iłów z rejonu A

Fig. 4. Vijayvergiya and Ghazzaly (1973) chart for evaluation of swell pressure values of the Neogene clays from area A



Ryc. 5. Nomogram Casagrande'a według Heada (1992) do oceny zdolności ekspansyjnych z wartościami uzyskanymi dla iłów neogeńskich z rejonu A

Fig. 5. Casagrande chart according to Head (1992) for evaluation of expansive ability with values obtained for the Neogene clays from area A

ską-Olszewską (1995). Analiza wyników badań w tym ujęciu pozwala stwierdzić, że ły z Warszawy charakteryzują się plastycznością i pęcznieniem od średnich do ekstremalnie wysokich, natomiast ły z Dobrego i z Mszczonowa od wysokich do ekstremalnie wysokich (ryc. 5).

WNIOSKI

Badania iłów neogeńskich serii poznańskiej z Mazowsza wykazały, że:

1. ły te cechują wysokie wartości wskaźników ekspansyjnych, co jest typowe dla iłów z innych obszarów Polski o podobnych cechach genetycznych. Nie stwierdza się istotnego zróżnicowania wartości liczbowej parametrów charakteryzujących ekspansywność gruntów z rejonów poddanych badaniom.

2. Właściwości ekspansywne takie jak pęcznienie, plastyczność, ciśnienie pęcznienia, stopień ekspansji, wskaźnik ekspansji, potencjalna ekspansywność i aktywność badanych iłów są bardzo zróżnicowane i mogą dochodzić do ekstremalnie wysokich, a znaczny wpływ na to mają wilgotność i ich stopień nasycenia.

3. Przy projektowaniu fundamentów i na etapie wykonywania prac należy uwzględnić możliwość występowania gruntów ekspansyjnych w podłożu i odpowiednio zabezpieczyć wykop oraz podłoże budowli.

4. Charakterystyki potencjalnej ekspansywności powinny być określone indywidualnie dla różnych typów iłów, w zależności od wilgotności, ciśnienia pęcznienia i chemizmu środowiska. W porównaniu z łąkami neogeńskimi z Bydgoszczy ły z Mazowsza charakteryzują się podobnymi, a często wyższymi właściwościami ekspansywnymi.

LITERATURA

- ALTMeyer W.T. 1955 – Discussion of engineering properties of expansive clays. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 81: 17–19.
 ASTM D2435-90 – Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils. Am. Soc. Test. Mat., Philadelphia, USA.
 BS 1377: Part 2: 1990: 6.5 – British standard methods of test for soils for civil engineering purposes. Linear Shrinkage.. British Standards Institution, London.
 CZARNECKI A. & CZERNY B. 1960 – Dokumentacja złoża pstrych iłów poznańskich do produkcji kruszywa lekkiego w Budach Mszczonowskich. Centr. Urząd Geol., Przedz. Geol. Sur. Skal. w Krakowie, Arch. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

- CZARNECKI A. & NIEDZIELSKI A. 1961 – Dokumentacja geologiczna złoża pstrych iłów poznańskich Budy Mszczonowskie do produkcji kruszywa lekkiego. Arch. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
 FRANKOWSKI Z. & WYSOKIŃSKI L. (red.) 2000 – Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy. Narod. Arch. Geol., Warszawa.
 GARBULEWSKI K. & ŻAKOWICZ S. 1993 – Ocena pęcznienia drobnoziarnistych gruntów na podstawie pomiarów ssania. Gosp. Wod., 3: 53–56.
 GAWRIUCZENKOW I. & KRZYŃÓWEK M. 1998 – Ciśnienie pęcznienia badane w aparacie firmy Geonor – wpływ wybranych czynników na uzyskiwane wartości. [W:] Liszkowski J. (red.) Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. WIND, Wrocław: 133–137.
 GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. & KACZYŃSKI R. 1994 – Metody badania gruntów pęczniących. Gosp. Sur. Min., 10: 125–160.
 GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1995 – Plastyczność i pęcznienie różnych genetycznych typów gruntów spoistych. [W:] Seminarium „Badania geotechniczne i ich zastosowanie w projektowaniu”. PAN, Politech. Warsz., Warszawa: 45–54.
 HEAD K.H. 1992 – Manual of soil laboratory testing. Vol. 1. Soil classification and compaction tests. Pentech Press, London, s. 388.
 HOLTZ W.G. 1959 – Expansive clays – properties and problems. Quart. Colorado School Mines, 54: 89–125.
 HOLTZ W.G. & GIBBS H.J. 1956 – Engineering properties of expansive clays. Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 121: 641–663.
 JEŻ J. 2008 – Geotechnika – awarie osłoniwe. Warstwy, Dachy i Ściany, 4: 87–89.
 JEŻ J. & JEŻ T. 2006a – O awariach budynków posadowionych na łąkach poznańskich. Inż. Bud., 62: 135–137.
 JEŻ J. & JEŻ T. 2006b – Stereotypy w ocenie sytuacji geotechnicznej obiektu budowlanego. Inż. Bud., 6: 315–317.
 KOŚCÍÓWKO H. & WYRWICKI R. 1996 – Metodyka badań kopalni łąkowych. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 56–76.
 KUMOR M.K. 2005 – Wybrane problemy geotechniczne gruntów ekspansyjnych. [W:] XX Jubileuszowa Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła-Ustroń, 1–4 marca 2005 r. Pol. Związ. Inż. Tech. Bud., Kraków: 233–260.
 KUMOR M.K. 2006 – Badanie fazy skurcz-pęcznienie łąki jako możliwość przewidywania przemieszczeń podłoża ekspansywnego. Zesz. Nauk. Politech. Białostoc., Bud., 28: 179–189.
 NIEDZIELSKI A. 1993 – Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie iłów poznańskich i warwowych. Akad. Roln. w Poznaniu, Poznań, s. 100.
 NOWAK J. 1971a – Mapa geologiczna Polski, skala 1 : 200 000, ark. N-34-XXXIV Warszawa Wschód. Wyd. Geol., Warszawa.
 NOWAK J. 1971b – Objasnienia do Mapy geologicznej Polski w skali 1 : 200 000, ark. N-34-XXXIV Warszawa Wschód. Wyd. Geol., Warszawa.
 PIOTROWSKA K. & KAMIŃSKI M. 2005 – Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Mińsk Mazowiecki. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
 PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów. PKN, Warszawa.
 RAMAN V. 1967 – Identification of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data. Indian Engineer., 11: 17–22.
 RANGANATHAM G.V. & SATYANARAYANA B. 1965 – A rational method of predicting swelling potential for compacted expansive clays. [W:] Proceedings of the 6th ICSMFE, Montreal, Canada, 1: 92–96.
 SEED H.B., WOODWARD R.J. & LUNDGREN R. 1962 – Prediction of swelling potential for compacted clays. J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, 88, SM-3: 53–87.
 TOUNTOUNGI A. 1988 – Expansion soil in Syria. [W:] Proceeding of the International Conference on Engineering Problems of Regional Soils, Beijing, China: 413–414.
 VAN DER MERWE D.H. 1964 – The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils. Civil Eng. South Africa, 6: 103–106.
 VIJAYVERGIYA V.N. & GHAZZALY O. I. 1973 – Prediction of swelling potential for natural clays. [W:] Proceedings of the 3rd International Conference on Expansive Clay Soils. Vol. 1. Jerus. Acad. Press, Jerusalem.
 WIRCHROWSKI Z. 1981 – Studium mineralogiczne iłów serii poznańskiej. Arch. Min., 37: 93–195.

Praca wpłynęła do redakcji 16.07.2012 r.
 Po recenzji akceptowano do druku 31.10.2012 r.