



Ocena właściwości ekspansywnych iłów mio-pleceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich

Piotr Stajszczak¹



Evaluation of expansive properties of Mio-Pliocene clays from the Budy Mszczonowskie region. *Prz. Geol.*, 65: 168–176.

Abstract. The paper presents the issue of geological-engineering evaluation of ability to volume changes in Mio-Pliocene clays from the area of Budy Mszczonowskie. It has been stated that these clays are characterized by a high content of clay fraction with beidellite as a dominant clay mineral. For the evaluation of expansiveness, both direct and indirect test methods are used. Expansive features, i.e. swelling pressure and swelling index, are presented in relation to initial moisture content.

Keywords: Mio-Pliocene clays, shrinkage, swelling, expansion

Właściwości ekspansywne gruntów spoistych są wyrażane poprzez zmiany objętościowe, które powstają w efekcie współdziałania fazy stałej gruntu (szkieletu mineralnego) z fazą ciekłą (wodą). Zachodzą one w wyniku procesu pęcznienia (wzrost wilgotności) oraz skurczu (spadek wilgotności), a ich intensywność jest w znacznym stopniu uzależniona od właściwości ośrodka gruntowego oraz chemizmu fazy ciekłej (Myślińska, 2001). Do najważniejszych czynników kształtujących właściwości ekspansywne gruntów spoistych należą: rodzaj gruntu i jego skład granulometryczny, procentowa zawartość i skład mineralny frakcji iłowej, skład kationów wymiennych oraz wilgotność (Grabowska-Olszewska, 1998).

Zmiany objętościowe gruntów spoistych wywołane oddziaływaniem wody są bardzo często przyczyną niekorzystnego wpływu podłoża gruntowego na obiekty budowlane, co potwierdzają prace wielu badaczy (Niedzielski, 1993; Barański & Wójcik, 2007; Gorączko i in., 2009; Gorączko & Kumor, 2009; Niedzielski & Kumor, 2009; Gawriuczenkow, 2011 i in.). Pęcznienie i skurcz gruntów spoistych spowodowane zmianami wilgotności naturalnej są najczęściej przyczyną podniesienia lub osiadania podłoża pod fundamentami. Następstwem tych procesów mogą być uszkodzenia konstrukcji oraz fundamentów budynków posadowionych na gruntach ekspansywnych. Ponadto grunty spoiste ze względu na niską przepuszczalność hydrauliczną oraz dobre właściwości sorpcyjne są bardzo często wykorzystywane jako materiał służący do formowania mineralnych barier izolacyjnych (Łuczak-Wilamowska, 1997, 2002a, b; Drągowski & Łuczak-Wilamowska, 2005). W tym przypadku właściwości ekspansywne gruntów spoistych, jako kryterium doboru materiału izolacyjnego do budowy warstw uszczelniających, mogą pełnić dwojaką rolę. Z jednej strony niekorzystnym zjawiskiem prowadzącym do powstania szczelin i pęknięć w warstwie uszczelniającej jest skurcz spowodowany spadkiem wilgotności, co jest równoznaczne z powstawaniem nowych dróg migracji zanieczyszczeń. Z drugiej

zaś – korzystnym zjawiskiem jest pęcznienie, które w przeciwieństwie do skurczu prowadzi do zamykania dróg migracji zanieczyszczeń oraz ciśnienie pęcznienia powodujące uszczelnienie warstw izolacyjnych (Gawriuczenkow, 2001).

Jednymi z najbardziej rozprzestrzenionych w Polsce gruntami spoistymi wykazującymi zdolności do zmian objętościowych pod wpływem zmian wilgotności są łył mio-pleceńskie serii poznańskiej (Chroma-Motył & Motyl, 1992; Frankowski, 1992, 2004; Niedzielski & Dopieralska, 2003; Kumor, 2005, 2008; Gawriuczenkow & Wójcik, 2013 i in.). Pod względem litologicznym są one wykształcone w postaci iłów szarych (poziom dolny), iłów zielonych (poziom środkowy) oraz iłów płomienistych (poziom górny) nazywanych również pstrykami (Dygor, 1970, 1992). Utwory te powstawały w rozległym neogeńskim zbiorniku wodnym, który obejmował swoim zasięgiem znaczną część Niżu Polski. W zbiorniku tym sedymentacja rozpoczęła się w środkowym miocenie (ok. 13 mln lat temu) i trwała ok. 9 mln lat (Dygor, 1992). Wspomniany basen sedymentacyjny Wichrowski (1981) podzielił na cztery części, w których utwory serii poznańskiej zalegają pod nakładem utworów czwartorzędowych o zmiennej miąższości lub odsłaniają się bezpośrednio na powierzchni terenu. Są to: północno-wschodnia część basenu sedymentacyjnego (Warszawa, Ostrołęka, Ciechanów) zwana rejonem A, centralna część basenu sedymentacyjnego (Poznań, Konin, Bydgoszcz, Kalisz) – rejon B oraz części południowo-zachodnia (Zielona Góra) i południowa (Wrocław, Opole), które łącznie stanowią rejon C (Wichrowski, 1981; Grabowska-Olszewska & Kaczyński, 1994). Dokonanie podziału basenu sedymentacyjnego serii poznańskiej na poszczególne części odzwierciedla m.in. zróżnicowanie regionalne utworów mio-pleceńskich w Polsce, które wyraża się przede wszystkim w zmiennym ilościowościowo udziale minerałów ılastych oraz składzie granulometrycznym (Grabowska-Olszewska, 1998).

¹ Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; piotr.stajszczak@student.uw.edu.pl.

Iły mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich należą do północno-wschodniej części neogeńskiego basenu sedymentacyjnego. Utwory te nie są ściśle związane z utworami neogeńskimi *in situ*, lecz występują w postaci kry glacitektonicznej zalegającej w utworach plejstocenu (Szalewicz & Włodek, 2009). Fakt ten nie wpływa jednak negatywnie na reprezentatywność stanowiska w Budach Mszczonowskich, ponieważ dotychczas prowadzone badania potwierdziły podobieństwo tych utworów pod względem litologii oraz składu mineralnego z występującymi *in situ* iłami mio-plioceńskimi regionu A (Czarnecki & Czerny, 1960; Wiewióra & Wyrwicki, 1974; Łuczak-Wilamowska, 1997, 22002a, b; Gawriuczenkow, 2001; Izdebska-Mucha, 2003; Gawriuczenkow & Wójcik, 2013).

Celem niniejszego artykułu jest dokonanie kompleksowej oceny właściwości ekspansywnych iłów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich za pomocą metod pośrednich oraz bezpośrednich, a także określenie możliwych zmian objętościowych spowodowanych skurczem i pęcznieniem, jakie mogą wystąpić w efekcie zmian wilgotności naturalnej badanych iłów. Dotychczas prowadzone badania iłów mio-plioceńskich serii poznańskiej (Meissner, 1970; Niedzielski, 1993; Frankowski, 1992, 2004; Gawriuczenkow, 2001; Barański & Wójcik, 2007; Gorączko & Kumor, 2011 i inni) dowodzą, że grunty te są wrażliwe na zmiany wilgotności, co przy niewłaściwie prowadzonych pracach budowlanych może być przyczyną wielu awarii bądź utrudnień. Wystąpienie pęcznienia lub skurczu w następstwie fluktuacji wilgotnościowych może być spowodowane zarówno ingerencją człowieka (nieszczelność instalacji, zmiana zagospodarowania terenu), jak i udziałem czynników naturalnych, takich jak: opady atmosferyczne, parowanie czy też obecność roślinności lub jej brak (Gorączko & Kumor, 2009; Zawalski & Woźwodzki, 2009). Zakres zmian wilgotności naturalnej iłów mio-plioceńskich w połączeniu z właściwościami ekspansywnymi tych iłów będzie w znacznym stopniu decydować o wielkości pęcznienia i skurczu, wpływając tym samym na skalę oddziaływania podłoża ekspansywnego na fundamenty obiektów budowlanych (Gorączko & Kumor, 2009). Z tego względu istnieje potrzeba prognozowania rozmiarów zmian objętościowych wywołanych zmianami wilgotności naturalnej gruntów ekspansywnych jakimi są ły mio-plioceńskie serii poznańskiej, ze szczególnym uwzględnieniem zróżnicowania regionalnego tych utworów. Dzięki temu już na etapie projektowania obiektów budowlanych będzie możliwe wstępne określenie prawdopodobnych przemieszczeń fundamentów posadowionych na podłożu ekspansywnym.

MATERIAŁ I METODY

Próbki iłów mio-plioceńskich serii poznańskiej do badań laboratoryjnych zostały pobrane w kopalni należącej do Przedsiębiorstwa Kruszyw Lekkich „Keramzyt” Sp. z o.o., zlokalizowanej w Budach Mszczonowskich. Miały one formę monolitów, dzięki czemu zachowano ich naturalną wilgotność, uziarnienie oraz strukturę (próbki NNS).

Badania wilgotności naturalnej, granic konsystencji, składu granulometrycznego oraz gęstości objętościowej przeprowadzono zgodnie z zaleceniami polskiej normy PN-B-04481:1998. Skład mineralny oznaczono na pod-

stawie analizy termicznej oraz dyfraktometrycznej. Analizę termiczną przeprowadzono w aparacie Q600 firmy TA, otrzymane wyniki interpretowano wg zaleceń metodycznych Kościówko i Wyrwickiego (1996). Analiza dyfraktometryczna została wykonana w proszkowym dyfraktometrze rentgenowskim X'PERT Pro MPD (Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego). Badanie przeprowadzono na preparatach: powietrznosuchych, poddanych prażeniu oraz nasączonych glikolem etylenowym.

Oceny ekspansywności badanych iłów dokonano za pomocą pośrednich oraz bezpośrednich metod oceny właściwości ekspansywnych gruntów spoistych. Ocena pośrednia została przeprowadzona na podstawie zmodyfikowanego przez Grabowską-Olszewską nomogramu Casagrande'a (1998), a także nomogramów Seeda (1962), Van der Merwe (1964) oraz Vijayvergiya i Ghazzaly'ego (1973) do oceny wartości ciśnienia pęcznienia. Parametrami branymi pod uwagę w trakcie dokonywania pośredniej oceny właściwości ekspansywnych badanych gruntów były: granica płynności (w_L), wskaźnik plastyczności (I_p), wskaźnik pęcznienia (ϵ_p) oraz aktywność koloidalna (A). W ramach bezpośredniej oceny właściwości ekspansywnych badanych iłów dokonano oznaczenia:

- skurczu liniowego (L_S) wg BS 1377: Part 2:1990,
- pęcznienia swobodnego wg metody Holtza-Gibbsa (FS_{HG}) na próbkach sproszkowanych (za Myślińska, 2001),
- wskaźnika pęcznienia (ϵ_p) z zastosowaniem pęczniomierza,
- ciśnienia pęcznienia (σ_{sp}) w aparacie firmy Geonor metodą C, przy zachowaniu stałej wysokości próbki (ASTM D 2435-90).

Uzupełnieniem charakterystyk skurczalności było wyznaczenie wartości wskaźnika skurczalności wg Rangana-thana i Satyanarayana (1965). Pomiary ciśnienia pęcznienia oraz wskaźnika pęcznienia zostały przeprowadzone przy różnej wilgotności początkowej badanych próbek, dzięki czemu było możliwe prognozowanie zachodzących zmian objętościowych badanych iłów przy różnym stopniu nasycenia porów wodą.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych (wg PN-B-04481:1998) ły mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich zostały zakwalifikowane jako grunty bardzo spoiste występujące w stanie twaroplastycznym (tab. 1). Ich wilgotność naturalna mieści się w przedziale 26,7–34,1%, co odpowiada wartościom gęstości objętościowej rzędu 1,92–2,06 Mg/m³. W zależności od zawartości frakcji iłowej (f_i : 51–66%) wilgotność granicy plastyczności badanych iłów kształtuje się na poziomie 24,7–29,4%, natomiast wilgotność granicy płynności przyjmuje wartości 65,0–88,0%. Wilgotność przy granicy skurczalności w_s w przypadku badanych próbek charakteryzuje się mniejszym zróżnicowaniem wyników względem pozostałych granic konsystencji i przyjmuje wartości rzędu 10,3–13,6%. Iły mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich odznaczają się wysoką plastycznością, czego potwierdzeniem są otrzymane wartości wskaźnika plastyczności I_p na poziomie 38,5–60,0%.

W składzie mineralnym badanych gruntów dominują minerały ilaste, przede wszystkim beidelit (minerał z grupy smektytu) oraz podrzędnie kaolin (tab. 2). W dalszej kolejności występują minerały nieaktywne termicznie, kwarc

Tab. 1. Wyniki badań laboratoryjnych iłów mio-pliocenkich z Bud Mszczonowskich
Table 1. The results of laboratory tests on Mio-Pliocene clays from Budy Mszczonowskie

| Próbka Sample | w_n [%] | ρ [Mg/m ³] | f_i [%] | f_{π} [%] | f_p [%] | w_s [%] | w_p [%] | w_L [%] | I_p [%] | I_L [-] | A [-] | ε_p [%] | σ_{sp} [kPa] |
|------------------|--------------|--------------------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------------------|------------------------|
| BM1 | 34,1 | 1,92 | 66 | 31 | 3 | 12,2 | 28,0 | 88,0 | 60,0 | 0,10 | 0,91 | 1,5 | 40,0 |
| BM2 | 31,2 | 1,97 | 62 | 32 | 6 | 11,2 | 25,6 | 75,2 | 49,6 | 0,11 | 0,80 | 1,1 | 47,4 |
| BM3 | 30,8 | 1,97 | 64 | 32 | 4 | 11,5 | 28,3 | 81,0 | 52,7 | 0,05 | 0,82 | 1,3 | 52,2 |
| BM4 | 30,2 | 1,96 | 66 | 31 | 3 | 12,1 | 29,4 | 88,0 | 58,6 | 0,01 | 0,89 | 1,6 | 54,0 |
| BM5 | 26,7 | 2,06 | 51 | 40 | 9 | 10,4 | 26,4 | 65,0 | 38,5 | 0,01 | 0,76 | 2,1 | 76,2 |
| BM6 | 27,4 | 1,93 | 57 | 36 | 7 | 10,9 | 25,1 | 68,8 | 43,7 | 0,05 | 0,77 | 1,9 | 73,1 |
| BM7 | 33,4 | 1,95 | 64 | 32 | 4 | 11,8 | 29,2 | 84,0 | 54,8 | 0,08 | 0,86 | 1,3 | 43,2 |
| BM8 | 33,9 | 1,94 | 62 | 35 | 3 | 11,6 | 29,2 | 80,0 | 50,8 | 0,09 | 0,82 | 1,1 | 42,1 |
| BM9 | 34,1 | 1,82 | 61 | 32 | 7 | 11,3 | 26,8 | 73,6 | 46,8 | 0,16 | 0,77 | 0,7 | 41,1 |
| BM10 | 31,7 | 1,85 | 64 | 31 | 5 | 11,8 | 27,2 | 82,5 | 55,3 | 0,08 | 0,86 | 1,4 | 51,8 |
| BM11 | 33,8 | 1,83 | 59 | 35 | 6 | 11,2 | 25,9 | 71,1 | 45,2 | 0,18 | 0,77 | 0,9 | 47,2 |
| BM12 | 30,1 | 1,92 | 66 | 32 | 2 | 13,6 | 28,8 | 86,3 | 57,5 | 0,02 | 0,87 | 1,2 | 54,6 |
| BM13 | 29,3 | 1,95 | 54 | 38 | 8 | 10,6 | 24,7 | 69,7 | 45,0 | 0,10 | 0,83 | 1,8 | 61,3 |

w_n – wilgotność naturalna, ρ – gęstość objętościowa, f_i – frakcja ilowa, f_{π} – frakcja pyłowa, f_p – frakcja piaskowa, w_s – granica skurczalności, w_p – granica plastyczności, w_L – granica płynności, I_p – wskaźnik plastyczności, I_L – stopień plastyczności, A – aktywność, ε_p – wskaźnik pęcznienia, σ_{sp} – ciśnienie pęcznienia

w_n – moisture content, ρ – bulk density, f_i – clay fraction, f_{π} – silt fraction, f_p – sand fraction, w_s – shrinkage limit, w_p – plastic limit, w_L – liquid limit, I_p – plasticity index, I_L – liquidity index, A – activity, ε_p – swell index, σ_{sp} – swelling pressure

Tab. 2. Skład mineralny iłów mio-pliocenkich z Bud Mszczonowskich
Table 2. Mineral composition of Mio-Pliocene clays from Budy Mszczonowskie

| Mineral Mineral | Zawartość procentowa [%] Percentage [%] | | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|---|
| | Budy Mszczonowskie | | | Warszawa Gawriuczenkow (2014) | Dobre Gawriuczenkow & Wójcik (2013) |
| | badania własne own research | Łuczak-Wilamowska (1997) | Izdebska-Mucha (2003) | | |
| beidelit / <i>beidelite</i> | 54,7 | 53,6 | 37,0–54,0 | 35,0–60,0 | 23,0–76,5 |
| kaolinit / <i>kaolinite</i> | 10,4 | 11,8 | 11,0–15,0 | 10,0–20,0 | 3,8–24,0 |
| goethyt / <i>goethyt</i> | 3,4 | 6,4 | 3,0–8,0 | 2,2–3,0 | 1,0–9,2 |
| kwarc i in. / <i>quartz and others</i> | 31,5 | 14,8 | 15,0–47,0 | 27,8–47,0 | 14,0–58,1 |

oraz akcesorycznie getyt. Ponadto oznaczenie składu mineralnego metodą analizy dyfraktometrycznej wykazało, że wśród minerałów ilastych obok beidelitu i kaolinitu zaznacza się także obecność illitu (ryc. 1).

Jednym ze sposobów wytypowanych do analizy właściwości ekspansywnych iłów mio-pliocenkich z rejonu Bud Mszczonowskich jest zmodyfikowany przez Grabowską-Olszewską (1998) nomogram Casagrande'a. Umożliwia on scharakteryzowanie pęcznienia oraz plastyczności gruntów spoistych na podstawie wartości takich parametrów jak: wskaźnik plastyczności I_p oraz wilgotność granicy płynności w_L . Na podstawie wspomnianego nomogramu stwierdzono, że iły z rejonu Bud Mszczonowskich charakteryzują się wysokim oraz bardzo wysokim pęcznieniem i plastycznością (ryc. 2).

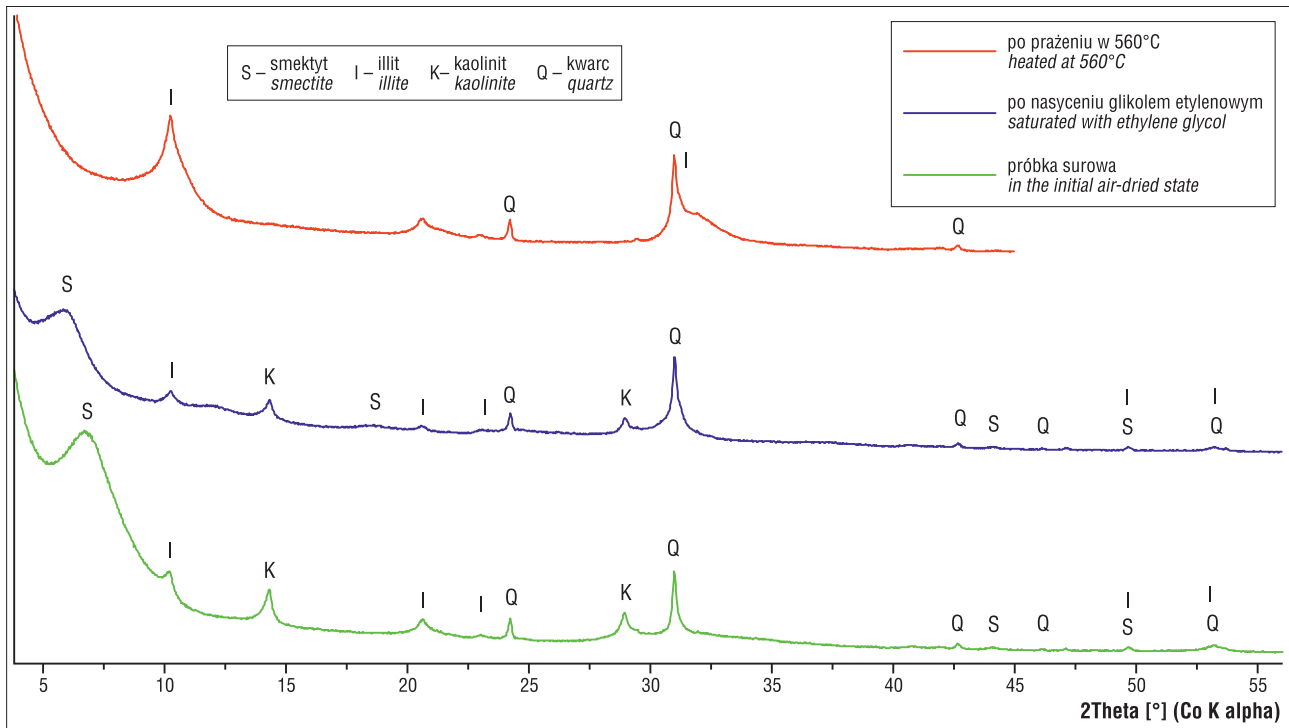
Wykorzystując nomogramy Van der Merwe (1964) oraz Seeda i in. (1962), stwierdzono, że badane iły odznaczają się bardzo wysoką potencjalną ekspansywnością, średnią aktywnością koloidalną oraz wysokim i bardzo wysokim stopniem ekspansji. Potencjał ich pęcznienia wg przeprowadzonych analiz przekracza wartość 5% (ryc. 3, 4).

Iły mio-pliocenkie z rejonu Bud Mszczonowskich cechują się dużą skurczalnością. Oznaczone w warunkach laboratoryjnych wartości skurczu liniowego wykazują znaczne rozmiary, przyjmując wartości rzędu 16,1–20,3%. Zmianom objętościowym spowodowanym skurczem

towarzyszą zmiany wartości wskaźnika porowatości, które w przypadku badanych iłów mieszczą się w zakresie 0,30–1,13. Otrzymane wartości wskaźnika skurczalności wynoszą 54,6–75,9%.

Wielkość pęcznienia swobodnego FS_{HG} badanych iłów mio-pliocenkich, oznaczona wg zaleceń Holtza Gibbsa na próbkach sproszkowanych, także przyjmuje wysokie wartości, które mieszczą się w przedziale 80,0–125,0%. Zmienny udział frakcji ilowej w składzie granulometrycznym badanych gruntów (współczynnik zmienności $v = 8,06\%$) sprawia, że różnice wartości pęcznienia swobodnego FS_{HG} są rzędu 40% i podobnie jak w przypadku skurczu liniowego rosną wraz ze wzrostem zawartości frakcji ilowej (ryc. 5).

Wartości wskaźnika pęcznienia ε_p iłów mio-pliocenkich z rejonu Bud Mszczonowskich są uzależnione od wilgotności początkowej tych gruntów. W przypadku wartości odpowiadających wilgotności naturalnej badanych iłów wskaźnik pęcznienia przyjmuje niezbyt wysokie wartości w zakresie 0,7–2,1% ($w_n = 26,7$ – $34,1\%$). Dopiero przy postępującym spadku wilgotności początkowej w_0 można zaobserwować większe pęcznienie wyrażone przyrostem wysokości próbek umieszczonych w pęcznieniomierzu (ryc. 6). W efekcie wartości wskaźnika pęcznienia wzrastają, osiągając maksymalnie 40,3% (przy $w_0 = 13,3\%$). W badanym przedziale wilgotności zależność wskaźnika pęcznienia ε_p od wilgotności początkowej w_0 badanych



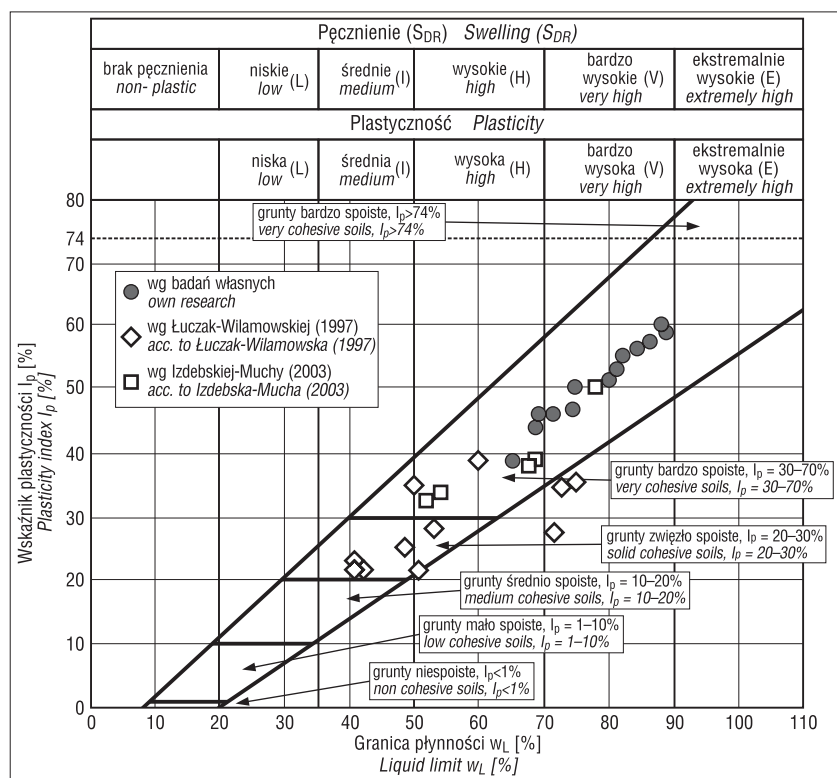
Ryc. 1. Dyfraktogramy iłów mio-plioceńskich z Bud Mszczonowskich
Fig. 1. Diffractograms of Mio-Pliocene clays from Budy Mszczonowskie

iłów przyjmuje charakter liniowy o wysokiej korelacji (ryc. 7)

Ciśnienie pęcznienia iłów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich oszacowane wg nomogramu Vijayvergiya i Ghazzaly'ego (1973) mieści się w przedziale 30–150 kPa (ryc. 8), co jest zgodne z wynikami badań laboratoryjnych przeprowadzonych na próbkach o wilgotności naturalnej (tab. 1). Wielkość tego parametru oznaczona w warunkach laboratoryjnych przy wilgotności odpowiadającej wilgotności naturalnej ($w_n = 26,7\text{--}34,1\%$) wynosi 40–76,2 kPa (tab.1). Przy coraz niższych wartościach wilgotności parametr ten przyjmuje coraz wyższe wartości, osiągając w badanym zakresie wilgotności maksymalnie 1315,0 kPa (przy $w_0 = 7,65\%$) (ryc. 9). Obserwowana zależność ciśnienia pęcznienia od wilgotności początkowej w przypadku iłów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich ma charakter funkcji wykładniczej. Liniowy trend można zaobserwować jedynie dla zakresu wilgotności wyższej bądź zbliżonej do wartości wilgotności granicy plastyczności w_p (średnia wartość $w_p = 27,66\%$) (ryc. 9).

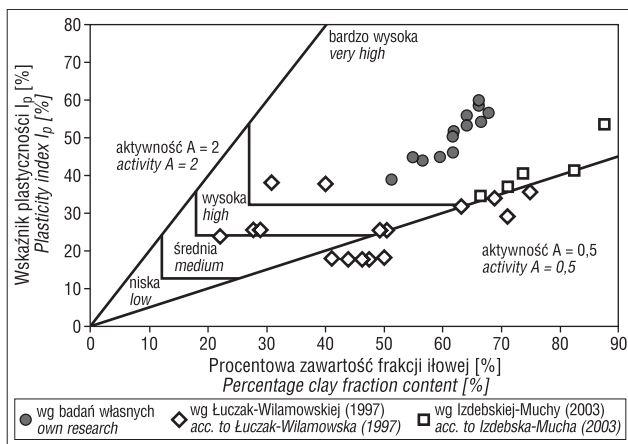
DYSKUSJA

Zastosowane w niniejszej pracy metody badawcze w sposób jednoznaczny potwierdzają ekspansywny charakter iłów mio-plioceńskich występujących w rejonie Bud Mszczonowskich. Iły te charakteryzują się znaczną zawartość-



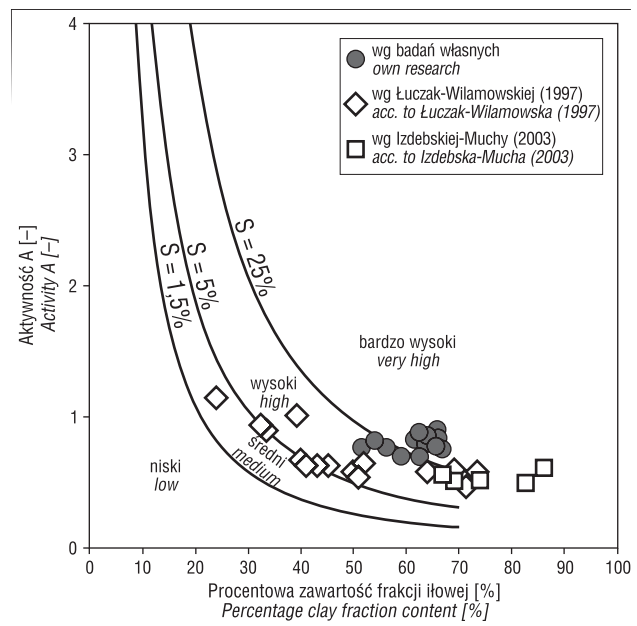
Ryc. 2. Ocena zdolności ekspansywnych iłów mio-plioceńskich z Bud Mszczonowskich wg nomogramu Casagrande'a zmodyfikowanego przez Grabowską-Olszewską (1998)
Fig. 2. Evaluation of expansive ability obtained for Mio-Pliocene clays from the region of Budy Mszczonowskie according to Casagrande chart modified by Grabowska-Olszewska (1998)

cią frakcji iłowej oraz przewagą beidelitu w tej frakcji (tab. 2), co jest głównym czynnikiem warunkującym zdolności tych gruntów do wykazywania zmian objętościowych na skutek zmian wilgotności naturalnej. Skład mineralny iłów



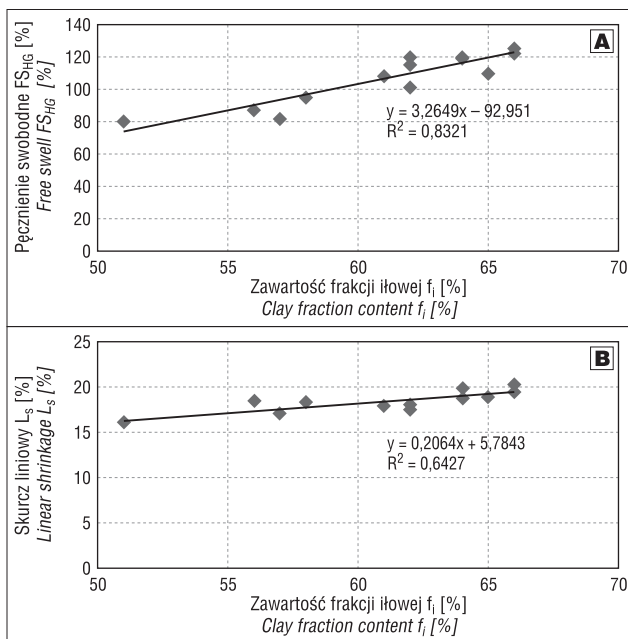
Ryc. 3. Wartości potencjalnej ekspansyjności ilów mio-pliocenickich z Bud Mszczonowskich wg różnych autorów przedstawione na nomogramie Van der Merwe (1964)

Fig. 3. The values of potential expansion obtained for Mio-Pliocene clays from the region of Budy Mszczonowskie by various authors presented on the Van der Merwe (1964) chart



Ryc. 4. Ocena stopnia ekspansji i potencjału pęcznienia ilów mio-pliocenickich z Bud Mszczonowskich wg różnych autorów przedstawiona na nomogramie Seeda i in. (1962)

Fig. 4. Evaluation of degree of expansion and swelling potential obtained for Mio-Pliocene clays from the region of Budy Mszczonowskie by various authors presented on the Seed et al (1962) chart



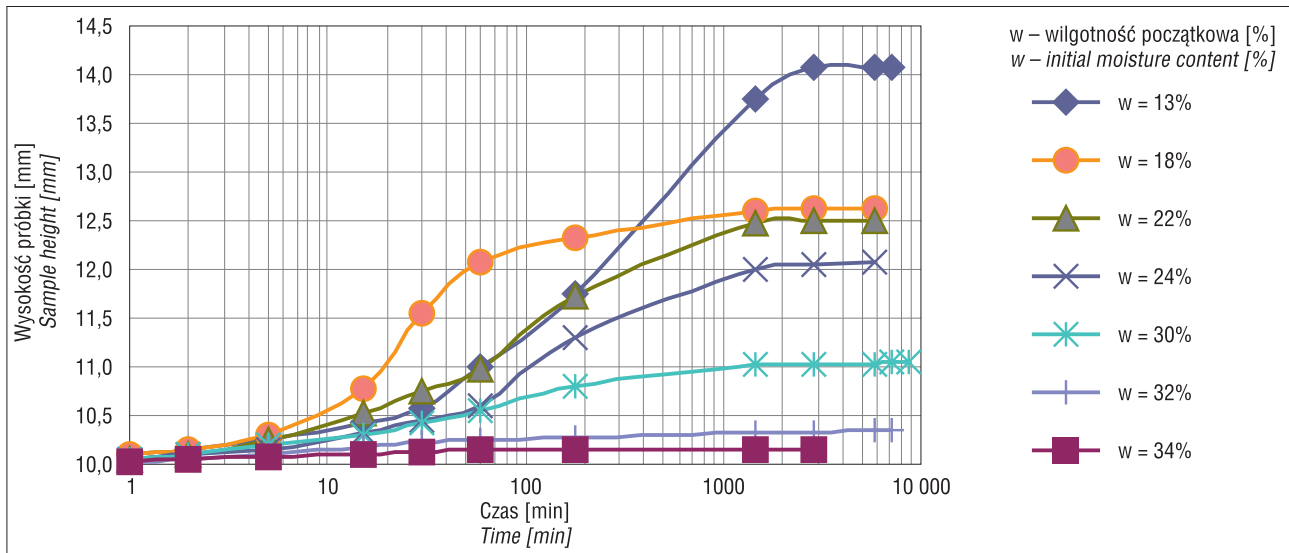
Ryc. 5. Zależności pomiędzy: **A** – zawartością frakcji ilowej i pęcznieniem swobodnym, **B** – zawartością frakcji ilowej i skurczem liniowym, otrzymane dla ilów miopliocenickich z rejonu Bud Mszczonowskich

Fig. 5. Relationship between: **A** – clay content and free swell; **B** – clay content and linear shrinkage, obtained for Mio-Pliocene clays from the Budy Mszczonowskie region

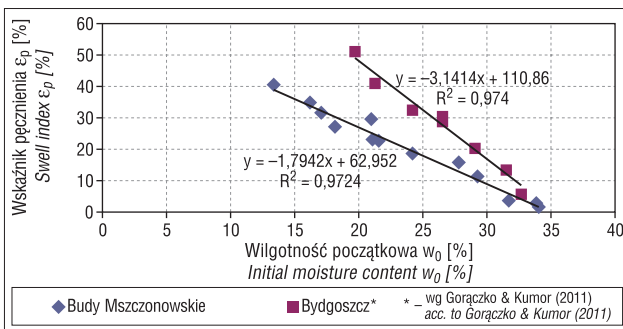
mio-pliocenickich z rejonu Bud Mszczonowskich wykazuje cechy charakterystyczne dla ilów serii poznańskiej występujących w centralnej oraz północno-wschodniej części neogeńskiego basenu sedymentacyjnego, które charakteryzują się dominacją minerałów mieszanopakietowych, głównie beielitowych (Wiewióra & Wyrwicki, 1974, 1976; Kaczyński & Grabowska-Olszewska, 1997). Podobieństwo to potwierdzają także prowadzone dotychczas badania złoża w Budach Mszczonowskich (tab. 2) (Wiewióra & Wyrwicki, 1974; Łuczak-Wilamowska, 1997, 2002a, b; Gawriuczenkow, 2001; Izdebska-Mucha, 2003; Gawriuczenkow & Wójcik, 2013).

Pod względem właściwości identyfikacyjnych ły mio-pliocenickie z rejonu Bud Mszczonowskich nie wyróżniają się w sposób szczególny spośród ilów neogeńskich występujących w innych rejonach kraju, przy czym wykazują najbardziej zbliżone właściwości do ilów serii poznańskiej obszaru północno-wschodniego (Wichrowski, 1981; Łuczak-Wilamowska, 1997; Grabowska-Olszewska, 1998; Gawriuczenkow, 2001), które wg Grabowskiej-Olszewskiej (1998) oraz Kaczyńskiego (2011) charakteryzują się niższymi właściwościami ekspansywnymi, niż ich odpowiedniki występujące w części centralnej basenu (rejon Poznań, Bydgoszcz, Konina, Kalisz). Przeprowadzone analizy właściwości ekspansywnych za pomocą wytypowanych nomogramów wykazują, że ły mio-pliocenickie z rejonu Bud Mszczonowskich cechują wysokie wartości wskaźników ekspansyjności, które podobnie jak w przypadku badań prowadzonych przez Łuczak-Wilamowską (1997) oraz Izdebską-Muchę (2003) pozwalają zakwalifikować badane ły jako grunty ekspansywne (ryc. 2–4). Potwierdzają to także analizy Gawriuczenkova i Wójcika (2013), którzy tę cechę określili jako wysoką oraz bardzo wysoką. Stwierdzili oni również, że wysoka ekspansyjność tych ilów wynika ze znacznej zawartości minerałów ilastych z grupy smektytu (beidelit), co znajduje potwierdzenie w badaniach składu mineralnego przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy (tab. 2).

Podobne charakterystyki mineralogiczne ilów z rejonu Bud Mszczonowskich oraz ilów serii poznańskiej występujących w rejonie Warszawy sprawiają, że grunty te wykazują zbliżone wartości parametrów opisujących ekspansyjność. Przykładowo badania ilów mio-pliocenickich z rejonu Warszawy prowadzone m.in. przez Superczyńską (2006), Gawriuczenkova i Wójcika (2013) dowodzą, że ły te charakteryzują się plastycznością i pęcznieniem od średnich do ekstremalnie wysokich, a także wartościami stopnia ekspansji i potencjalnej ekspansyjności od średnich do

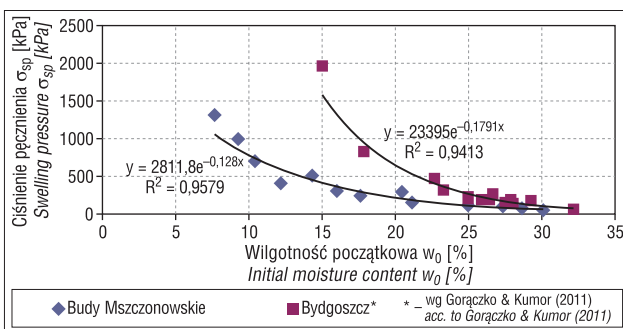


Ryc. 6. Wpływ wilgotności początkowej na zmiany wysokości próbek iłów mio-łocięńskich
Fig. 6. The effect of initial moisture content on sample height changes obtained for Mio-Pliocene clays



Ryc. 7. Zależność pomiędzy wskaźnikiem pęcznienia a wilgotnością początkową iłów mio-łocięńskich z rejonu Bud Mszczonowskich i Bydgoszczy

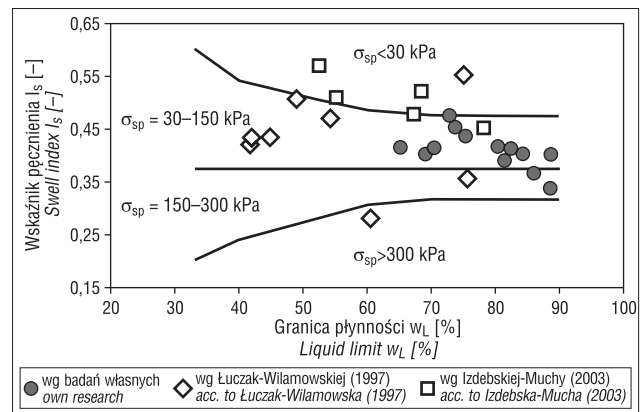
Fig. 7. Relationship between swell index and initial moisture content obtained for Mio-Pliocene clays from the Budy Mszczonowskie region and Bydgoszcz



Ryc. 9. Zależność pomiędzy ciśnieniem pęcznienia a wilgotnością początkową iłów mio-łocięńskich z rejonu Bud Mszczonowskich i Bydgoszczy

Fig. 9. Relationship between swelling pressure and initial moisture content obtained for Mio-Pliocene clays from the Budy Mszczonowskie region and Bydgoszcz

bardzo wysokich. Właściwości ekspansywne iłów mio-łocięńskich z rejonu Warszawy opisywał także Barański (2009), który badając łąki serii poznańskiej z poligону badawczego Stegny, stwierdził, że grunty te charakteryzują się plastycznością od średniej do ekstremalnie wysokiej. Charakterystyki te w znacznym stopniu odpowiadają wielkością uzyskanym dla iłów mio-łocięńskich z rejonu



Ryc. 8. Wartości ciśnienia pęcznienia iłów mio-łocięńskich z Bud Mszczonowskich otrzymane przez różnych autorów na podstawie nomogramu Vijayvergiya i Ghazzaly'ego (1973)

Fig. 8. The values of swell pressure obtained for Mio-Pliocene clays from the region of Budy Mszczonowskie by various authors based on Vijayvergiya and Ghazzaly (1973) chart

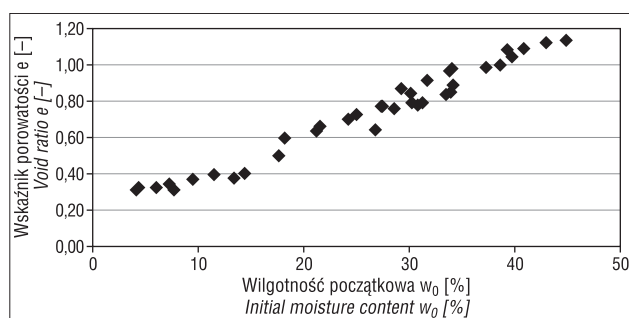
Bud Mszczonowskich (ryc. 2). Fakt ten sprawia, że badane łąki, podobnie jak ich odpowiedniki z rejonu Warszawy, będą wykazywać wysokie oraz bardzo wysokie pęcznienie, co może stanowić realne zagrożenie dla fundamentów budynków umieszczonych na podłożu zbudowanym z tych gruntów.

Czynnikiem, który generuje awarie i destrukcje obiektów posadowionych na łąkach mio-łocięńskich serii poznańskiej, może być znaczny skurcz spowodowany zmniejszeniem wilgotności naturalnej tych gruntów (Niedzielski & Dopieralska, 2003). Jak wykazują dotychczas prowadzone badania łąki serii poznańskiej, grunty te charakteryzują się znacznym skurczem, który następując po fazie pęcznienia, powoduje osiadanie podłoża pod fundamentami, prowadząc tym samym do awarii budynków wybudowanych na tych gruntach (Kumor, 2005). Wartości skurczu liniowego iłów mio-łocięńskich z rejonu Bud Mszczonowskich podane w literaturze (Łuczak-Wilamowska, 1997; Izdebska-Mucha, 2003; Gawruczenkow & Wójcik, 2013) oraz potwierdzone badaniami własnymi (ryc. 5) osiągają wartości w zakresie 16–18%. Podobne

wielkości tego parametru są obserwowane dla iłów mio-plioceńskich z rejonu Warszawy oraz Dobrego (średnio 14,4–16,7%), które reprezentują północno-wschodnią część neogeńskiego basenu sedimentacyjnego (Gawriuczenkow & Wójcik, 2013). Wraz z postępującym w trakcie wysychania skurczem będzie się zmniejszała objętość badanych próbek, czego odzwierciedleniem jest redukcja wartości wskaźnika porowatości e (ryc. 10). W przypadku iłów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich w przedziale wilgotności 41,0–4,1% zmiany wartości wskaźnika porowatości w wyniku skurczu są znaczne i osiągają 73% wartości początkowej tego parametru. Największe zmiany wartości wskaźnika porowatości można zaobserwować w fazie skurczu normalnego (Sridharan & Venkatappa, 1971), w której zmiany wilgotności i objętości gruntu są względem siebie proporcjonalne. Zmiany wielkości wskaźnika porowatości badanych iłów na tym etapie wynoszą ok. 60% wartości początkowej i mają miejsce przy zmniejszeniu wilgotności z ok. 34,0 do 13,0% (ryc. 10). Dominacja fazy skurczu normalnego względem pozostałych z zaproponowanych przez Sridharana i Venkatappę (1971) faz skurczu w przypadku badanych iłów potwierdza prawidłowości zaobserwowane dla gruntów spoistych przez Izdebską-Muchę i Wójcik (2013). Podają one, że im bardziej hydrofilne minerały zawiera grunt spoisty (w tym przypadku beidelit), tym dłuższa jest faza skurczu normalnego, krótsza faza braku skurczu, a wartości wskaźnika porowatości przyjmują coraz to niższe wielkości (Izdebska-Mucha & Wójcik, 2013).

Zgodnie z propozycją klasyfikacyjną Niedzielskiego (1993) oceny właściwości ekspansywnych gruntów spoistych można dokonać uwzględniając fazę skurczu poprzez oznaczenie wskaźnika skurczalności I_s . Parametr ten zdefiniowany jest jako różnica pomiędzy granicą płynności oraz granicą skurczalności danego gruntu. Jak wiadomo wartości graniczne konsystencji odzwierciedlają zdolności sorpcyjne gruntów spoistych względem cieczy nasycających, które w przypadku iłów serii poznańskiej są uwarunkowane głównie zawartością minerałów ilastych z grupy smektytu (beidelit). Wzrost ilości smektytów w składzie mineralnym gruntów spoistych skutkuje zwiększeniem właściwości hydrofilnych tych gruntów przy przejściu ze stanu zwartego do stanu płynnego. Tym samym zostaje zwiększony zakres wilgotności, przy której mogą nastąpić zmiany objętościowe w postaci skurczu i pęcznienia. Zależności te wyraża wskaźnik skurczalności I_s , na podstawie którego wartości ekspansywności gruntów spoistych Niedzielski (1993) uznaje jako bardzo wysoką ($I_s > 50\%$), wysoką ($35\% < I_s < 50\%$), średnią ($20 < I_s < 35$) oraz niską ($I_s < 20\%$). Iły mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich przyjmują średnie wartości wskaźnika skurczalności na poziomie 66,4%, co sprawia, że ich ekspansywność została uznana jako bardzo wysoka. Pod tym względem badane iły zachowują się podobnie jak ich odpowiedniki z centralnej oraz północno-wschodniej części basenu sedimentacyjnego (średnio $I_s = 58,1\text{--}82,1\%$), które były przedmiotem badań m.in. Kumora (2008) oraz Gawriuczenkowa i Wójcik (2013).

Zdolności do zmian objętościowych iłów mio-plioceńskich serii poznańskiej wyrażone przemieszczeniem podłoża ekspansywnego w wyniku procesów skurczu i pęcznienia zależą w znacznym stopniu zarówno od cech identyfikacyjnych tych gruntów (zawartość frakcji iłowej, skład mineralny frakcji iłowej, zdolności hydrofilne etc.), jak też



Ryc. 10. Krzywa skurczalności otrzymana dla iłów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich

Fig. 10. Shrinkage curve obtained for Mio-Pliocene clays from the Budy Mszczonowskie region

od zakresu rzeczywistych zmian wilgotności naturalnej podłoża. W stanie naturalnym iły mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich charakteryzują się wysokim stopniem nasycenia por wodą, co sprawia, że uzyskiwane wartości ciśnienia pęcznienia oraz wskaźnika pęcznienia nie są wysokie (średnio $\epsilon_p = 1,4\%$; $\sigma_{sp} = 52,6$ kPa). Przesuszenie tych utworów, np. w źle zabezpieczonych wykopach fundamentowych, może jednak doprowadzić do znacznego pęcznienia, którego prognostyczne wartości oszacowane na podstawie wskaźnika pęcznienia będą osiągać wartości rzędu 30–40% (przy $w_n = 13\text{--}20\%$). Tak dużym zmianom objętościowym będzie towarzyszyło znaczne ciśnienie pęcznienia, którego rozmiary w przypadku omawianych iłów mogą przekraczać wartości 1MPa (ryc. 9). Zjawisko to przy niższych wartościach wilgotności naturalnej będzie stanowić realne zagrożenie dla już istniejących oraz przyszłych obiektów budowlanych, przy czym trzeba mieć na uwadze fakt, że w warunkach *in situ* obserwowane maksymalne wartości ciśnienia działającego na fundamenty budowli są zazwyczaj nieco niższe niż prognozowane w toku badań laboratoryjnych. Występujące tendencje zmian objętościowych są spowodowane tym, że w trakcie pęcznienia podłoża ilastego w pierwszej kolejności zostaje zamknięty system spękań występujących w ekspansywnym masywie skalnym, czego skutkiem jest zmniejszenie ciśnienia pęcznienia generowanego przez podłoże ilaste (Fityus & Buzzi, 2009; Gorączko & Kumor, 2011).

Wpływ wielkości wilgotności początkowej na charakter zmian parametrów opisujących pęcznienie iłów mio-plioceńskich serii poznańskiej był także przedmiotem badań Gorączko i Kumora (2011). Badacze ci dla iłów mio-plioceńskich z rejonu Bydgoszczy reprezentujących centralną część neogeńskiego basenu sedimentacyjnego (rejon B), podobnie jak w przypadku iłów z rejonu Bud Mszczonowskich (rejon A), obserwowali liniowy charakter zmian wskaźnika pęcznienia oraz wykładniczą zależność ciśnienia pęcznienia względem wilgotności początkowej badanych próbek (Gorączko & Kumor, 2011). Fakt ten sprawia, że iły mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich pod tym względem zachowują się podobnie jak iły tej formacji z rejonu Bydgoszczy (Gorączko & Kumor, 2011). Jedyne różnice dotyczą charakterystyk ilościowych, które zarówno w przypadku wskaźnika pęcznienia, jak i ciśnienia pęcznienia, przyjmują wyższe wartości dla iłów serii poznańskiej z rejonu Bydgoszczy (ryc. 7, 9). Wyższe wartości wskaźnika pęcznienia oraz ciśnienia pęcznienia iłów serii poznańskiej rejonu Bydgoszczy są spowodowane wyż-

szą zawartością frakcji ilowej ($f_i = 64\text{--}74\%$) w stosunku do ilów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich.

Jak twierdzi Wichrowski (1981) utwory serii poznańskiej reprezentujące centralną część neogeńskiego basenu sedymentacyjnego (rejon Bydgoszczy, Poznania, Konina) charakteryzują się wyższym niż w części północno-wschodniej (rejon A, Warszawa Budy Mszczonowskie) udziałem minerałów ilastych. Fakt ten jest spowodowany występowaniem w tej części zbiornika bardziej spokojnych (mniej peryferyjnych) niż w części północno-wschodniej warunków sedymentacji (Wichrowski, 1981; Grabowska-Olszewska, 1998). W efekcie ropy mio-plioceńskie występujące w centralnej części basenu charakteryzują się zazwyczaj większą zawartością minerałów ilastych z grupy smektytu oraz mniejszym udziałem kwarcu w stosunku do ich odpowiedników z rejonu północno-wschodniego, co znajduje potwierdzenie w analizie dostępnej literatury (Fortunat, 1960; Kumor 1992, 2008; Frankowski, 1992, 2004; Kaczyński & Grabowska-Olszewska, 1997; Kaczyński, 2003, 2011; Barański, 2009; Gawriuczenkow, 2001, 2009; Kaczmarek & Gawriuczenkow, 2016 i inni). Skutkiem odmiennych warunków jakie panowały w neogeńskim basenie sedymentacyjnym jest fakt, że ropy mio-plioceńskie z rejonu Bydgoszczy cechują się wyższymi niż ropy mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich wartościami wskaźnika pęcznienia oraz ciśnienia pęcznienia przy podobnych wartościach wilgotności początkowej badanych próbek.

WNIOSKI

Dokonana ocena właściwości ekspansywnych ilów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich na podstawie metod pośrednich (nomogramy) oraz bezpośrednich (badania laboratoryjne) dowodzi, że grunty wytypowane do badań są wrażliwe pod względem ich cech ekspansywności. W wyniku przedstawionej analizy można sformułować następujące wnioski:

1. ropy mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich charakteryzują się wysoką zawartością frakcji ilowej oraz dominacją minerałów ilastych z grupy smektytu w tej frakcji, czego skutkiem są wysokie wartości parametrów ekspansywności oszacowane na podstawie zastosowanych nomogramów. Pod tym względem badane ropy wykazują cechy charakterystyczne dla ilów serii poznańskiej występujących na znacznym obszarze Polski, które powszechnie są uznawane za grunty ekspansywne.

2. Wysoki stopień nasycenia porów wodą w stanie naturalnym sprawia, że zmiany objętościowe ilów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich spowodowane wzrostem wilgotności będą nieznaczne. Z kolei znaczne zmiany deformacyjne mogą powstawać w wyniku ich skurczu, który jest efektem spadku wilgotności naturalnej w okresie letnim, prowadzącego nawet do czterokrotnej redukcji wartości wskaźnika porowatości.

3. Charakter zmian objętościowych ilów mio-plioceńskich z rejonu Bud Mszczonowskich w znacznym stopniu zależy od wilgotności początkowej badanych próbek. W przypadku badanych gruntów zmiany objętościowe spowodowane pęcznieniem mogą dochodzić nawet do 40%, natomiast zmiany spowodowane skurczem liniowym osiągają maksymalnie wartości 20%. Towarzyszące tym

procesom zmiany wartości ciśnienia pęcznienia badanych ilów przekraczać będą wartości 1 MPa, co może stanowić realne zagrożenie dla obiektów budowlanych posadowionych na tych gruntach.

4. ropy mio-plioceńskie z rejonu Bud Mszczonowskich podobnie jak ropy serii poznańskiej z Bydgoszczy wraz ze spadkiem wilgotności charakteryzują się liniowym wzrostem wartości wskaźnika pęcznienia oraz wykładniczym charakterem zmian wartości ciśnienia pęcznienia. Obserwowane różnice pomiędzy wartościami wskaźnika pęcznienia oraz ciśnienia pęcznienia uzyskane dla ilów z obydwu stanowisk wznoszą się wraz ze spadkiem wilgotności badanych próbek. Wynikają one bezpośrednio ze zróżnicowania litologicznego utworów serii poznańskiej w obrębie neogeńskiego zbiornika sedymentacyjnego, które wyraża się głównie w zmianach ilościowych minerałów ilastych z grupy smektytu oraz zmiennej zawartości frakcji ilowej.

Autor dziękuje Recenzentom za cenne uwagi oraz wysiłek włożony w rzetelną ocenę niniejszej pracy, a także Panu dr. hab. Pawłowi Dobakowi za cenne rady udzielone na etapie przygotowywania niniejszej pracy.

LITERATURA

- 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.
 BARAŃSKI M. & WÓJCIK E. 2007 – Ocena zdolności do zmian deformacyjnych ilów mio-plioceńskich z poligonu badawczego Stegny w Warszawie. *Geologos*, 11: 414–420.
 BARAŃSKI M. 2009 – Historia geologiczna a historia naprężenia w ilach mio-plioceńskich z terenu poligonu badawczego Stegny w Warszawie. Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych. Praca zbiorowa. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 407–414.
 CZARNECKI A. & CZERNY B. 1960 – Dokumentacja złoża pstrych ilów poznańskich do produkcji kruszywa lekkiego w Budach Mszczonowskich. CUG, Przedsiębiorstwo Geologiczne Surowców Skalnych w Krakowie. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa: 413/55.
 CHROMA-MOTYL K. & MOTYL J. 1992 – Wpływ struktury na wielkość pęcznienia ilów poznańskich z wybranych odsłoneń Polski SW. *Geologiczno-inżynierskie problemy serii poznańskiej*. Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław: 173–179.
 DRĄGOWSKI A. & ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2005 – Uwarunkowania stosowalności ilów jako izolacyjnych barier geologicznych na przykładzie ilów ze złoża w Budach Mszczonowskich. *Prz. Geol.*, 53: 687–690.
 DYJOR S. 1970 – Seria poznańska w Polsce zachodniej. *Geol. Quart.*, 14: 819–835.
 DYJOR S. 1992 – Rozwój sedymentacji i przebieg przeobrażeń osadów w basenie serii poznańskiej w Polsce. *Geologiczno-inżynierskie problemy serii poznańskiej*. Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław: 3–16.
 FITYUS S. & BUZZI O. 2009 – The place of expansive clays in the framework of unsaturated soil mechanics. *Appl. Clay Sci.*, 43: 150–155.
 FORTUNAT W. 1960 – Charakterystyczne cechy fizyczne trzeciorzędowych ilów Warszawy, Bydgoszczy i Tarnobrzega. *Biul. Inst. Geol.*, 163: 125–155.
 FRANKOWSKI Z. 1992 – Swelling and shrinkage of the pliocene clays from the central Poland. *Proceedings of the 7th International Conference on Expansive Soils*, August 3–5. Dallas: 105–108.
 FRANKOWSKI Z. 2004 – Występowanie ilów formacji poznańskiej w Warszawie. *Sem. ITB ropy plioceńskie Warszawy*. 26 feb. 2004, Warszawa: 5–14.
 GAWRIUCZENKOW I. 2001 – Ocena właściwości ilów serii poznańskiej jako potencjalnych, izolacyjnych barier geologicznych. Praca doktorska, Wyd. Geol. UW, Warszawa.
 GAWRIUCZENKOW I. 2009 – Geologiczno-inżynierskie charakterystyki ekspansywnych ilów plioceńskich centralnej Polski. *Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych*. Praca zbiorowa. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 329–333.

- GAWRIUCZENKOW I. 2011 – Ocena ekspansywności ilów plioceńskich z rejonu Dobrego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 273–276.
- GAWRIUCZENKOW I. 2014 – Wpływ chlorków sodu i wapnia na pęcznienie ilów mioceńsko-plioceńskich z Warszawy. *Prz. Geol.*, 62: 570–572.
- GAWRIUCZENKOW I. & WÓJCIK E. 2013 – Porównanie właściwości ekspansywnych ilów neogeńskich z Mazowsza. *Prz. Geol.*, 61: 243–247.
- GORĄCZKO A., GADOMSKI J. & GORĄCZKO M. 2009 – Charakter przemieszczeń budynków posadowionych na podłożu ekspansywnym na przykładach z Bydgoszczy. Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych. Praca zbiorowa. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 335–342.
- GORĄCZKO A. & KUMOR M. 2009 – Cykliczność zmian wilgotności naturalnej ilastego podłoża ekspansywnego w Bydgoszczy. Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych. Praca zbiorowa. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 343–350.
- GORĄCZKO A. & KUMOR M. 2011 – Pęcznienie mioplioceńskich ilów serii poznańskiej z rejonu Bydgoszczy na tle ich litologii. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 305–3014.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. & KACZYŃSKI R. 1994 – Metody badania gruntów pęczniących. *Gosp. Sur. Min.*, 10: 125–160.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1998 – Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. PWN, Warszawa: 36–93.
- IZDEBSKA-MUCHA D. 2003 – Wpływ benzyny i oleju napędowego na właściwości deformacyjne monomineralnych ilów wzdorowych oraz gruntów spoistych. Praca doktorska, Wydz. Geol. UW, Warszawa.
- IZDEBSKA-MUCHA D. & WÓJCIK E. 2013 – Wpływ struktury na skurczalność gruntów spoistych. *Prz. Geol.*, 61: 195–202.
- KACZMAREK Ł. & GAWRIUCZENKOW I. 2016 – Porównanie wyników analiz zawartości części organicznych w ilach mioplioceńskich z podłoża stacji Centrum Nauki Kopernik II linii metra w Warszawie. *Prz. Geol.*, 64: 489–494.
- Kaczyński R. 2003 – Overconsolidation and microstructure of Warsaw Mio-Pliocene clays. *Geol. Quart.*, 47 (1): 43–54.
- KACZYŃSKI R. & GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1997 – Soil mechanics of the potentially expansive clays in Poland. *Appl. Clay Sc.*, 11: 337–355.
- KACZYŃSKI R. 2011 – Geologiczno-inżynierskie charakterystyki typowych gruntów występujących w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 329–340.
- KOŚCIÓWKO H. & WYRWICKI R. 1996 – Metodyka badań kopalni ilastych. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KUMOR M.K. 1992 – Charakterystyczne parametry geotechniczne serii poznańskiej rejonu Bydgoszczy. Geologiczno-inżynierskie problemy serii poznańskiej. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, No 1345, Pr. Geol.-Miner., 26: 67–90, Wrocław.
- KUMOR M.K. 2005 – Wybrane problemy geotechniczne gruntów ekspansywnych. XX Jubileuszowa Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła-Ustroń, 1–4 marca 2005r. *Pol. Związ. Inż. Tech. Bud.*, 6: 315–317.
- KUMOR M.K. 2008 – Selected geotechnical problems of expansive clays in the area of Poland. *Arch. Civil Eng. Environ.*, 1: 75–92.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 1997 – Modelowe właściwości ilów neogeńskich z Mszczonowa jako warstw izolacyjnych. Praca doktorska, Wydz. Geol. UW, Warszawa.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2002a – Neogene clays from Poland as mineral salting barriers for landfills: experimental study. *Appl. Clay Sc.*, 21: 33–43.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2002b – Hy serii poznańskiej jako podłoża składowisk odpadów na przykładzie odsłonięcia w Budach Mszczonowskich. *Prz. Geol.*, 50: 966–970.
- MEISSNER K. 1970 – Właściwości inżyniersko-geologiczne ilów poznańskich rejonu Konina. *Biul. Inst. Geol.*, 231: 113–179.
- MYŚLIŃSKA E. 2001 – Laboratoryjne badania gruntów. WUW: 143–156.
- NIEDZIELSKI A. 1993 – Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie ilów poznańskich i warwowych. *Roczn. AR w Poznaniu. Rozpr. Nauk.*, 238.
- NIEDZIELSKI A. & DOPIERALSKA L. 2003 – Skurczalność ilów poznańskich. *Roczn. AR w Poznaniu. Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 24: 149–155.
- NIEDZIELSKI A. & KUMOR M.K. 2009 – Geotechniczne problemy posadowień na gruntach ekspansywnych w Polsce. *Inż. Mor. i Geotech.*, 3: 180–190.
- PN-88/B-04481:1998 – Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów.
- RANGANATHANA B.V. & SATYANARAYANA B. 1965 – A rational method of predicting swelling potential for compacted expansive clays. *Proc. 1st Int. Conf. on Unsaturated Soils*, Paris: 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.
- SRIDHARAN A. & VENKATAPPA Rao G. 1971 – Effective stress theory of shrinkage phenomena. *Can. Geotech. J.*, 8: 503–513.
- SUPERZYŃSKA M. 2006 – Historia geologiczna oraz identyfikacja parametrów geotechnicznych ilów formacji poznańskiej. *Zesz. Nauk. Politech. Białostoc.*, Budownictwo, 29: 199–209.
- SZALEWICZ H. & WŁODEK M. 2009 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Mszczonów. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- 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. & GHAZZALI O.I. 1973 – Prediction of swelling potential for natural clays. *Proceedings of the 3rd International Conference on Expansive Clay Soils*. Vol. 1. Jerus. Acad. Press, Jerusalem.
- WICHROWSKI Z. 1981 – Studium mineralogiczne ilów serii poznańskiej. *Arch. Mineral.*, 37: 96–196.
- WIEWIÓRA A. & WYRWICKI R. 1974 – Minerale ilaste poziomu ilów płomienistych serii poznańskiej. *Geol. Quart.*, 18: 615–635.
- WIEWIÓRA A. & WYRWICKI R. 1976 – Beidelit osadów serii poznańskiej. *Geol. Quart.*, 20: 331–342.
- ZAWALSKI A. & WOZIWOZKI Z. 2009 – Wpływ usunięcia drzew na zachowanie się konstrukcji budynków posadowionych na ilach. Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych. Praca zbiorowa. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 397–404.

Praca wpłynęła do redakcji 15.06.2015 r.

Akceptowano do druku 2.09.2015 r.