

OCENA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY PĘCZNIE NIEM SWOBODNYM, CIŚNIENIEM PĘCZNIE NIA A POWIERZCHNIĄ WŁAŚCIWĄ WYBRANYCH GRUNTÓW ILASTYCH

THE ESTIMATION OF RELATIONS BETWEEN FREE SWELLING, SWELLING PRESSURE AND SPECIFIC SURFACE AREA OF SELECTED CLAYEY SOILS

Ewa Koszela-Marek, Joanna Stróżyk - Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Politechnika Wrocławska

W pracy przeprowadzono ocenę zależności wybranych parametrów ekspansywności gruntów ilastych. Wykazano wyraźną zależność wartości pęcznienia swobodnego od parametrów, takich jak powierzchnia właściwa, pojemność sorpcyjna (MBC) oraz wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym. Na tej podstawie stwierdzono, że głównym czynnikiem powodującym pęcznienie badanych gruntów jest zawartość pęczniących minerałów ilastych w frakcji ilowej. Wyniki laboratoryjne badanych prób ilów nie wykazały zależności pomiędzy wartościami ciśnienia pęcznienia, a wartościami pęcznienia swobodnego oraz powierzchnią właściwą i pozostałymi parametrami. Stwierdzono, że główną przyczyną braku korelacji tych czynników może być silne skonsolidowanie i zagęszczenie prób ilów.

Słowa kluczowe: ciśnienie pęcznienia, pęcznienie swobodne, powierzchnia właściwa, pojemność sorpcyjna, il

The paper presents estimation of the relation between selected swell parameters of clayey soils. The clear correlation of free swelling and parameters such as specific surface area, methylene blue value, water content of air-dry soil was demonstrated. On this basis, it was found that the main factor behind the swelling of tested soils is contents of swelling clay minerals in the clay fraction. Results of laboratory tests of the clay samples showed no relationship between swelling pressure values, free swelling and specific surface area, as well as other parameters. It was found that, the main reason for the absence of correlation of these factors may be high consolidation and compaction of clay samples.

Key words: swelling pressure, free swelling, specific surface area, methylene blue value, clay

Wprowadzenie

Badanie pęcznienia gruntów drobnoziarnistych ma zasadnicze znaczenie w geotechnice, hydrotechnice, wielu gałęziach budownictwa, a także w górnictwie. Poprzez pęcznienie gruntu rozumie się zwiększenie jego objętości na skutek zmniejszenia naprężeń efektywnych, przy odciążaniu i/lub na skutek oddziaływania wody (zwiększenia wilgotności) [3, 10]. Podstawowym, najczęściej stosowanym parametrem, opisującym pęcznienie jest wskaźnik pęcznienia (V_p) przedstawiony wzorem [11]:

$$V_p = \frac{V'' - V'}{V'} \cdot 100\% = \frac{h'' - h'}{h'} \cdot 100\%$$

gdzie:

- V_p – wskaźnik pęcznienia
- V', h' – odpowiednio objętość gruntu i wysokość próby w pierścieniu przed zalaniem wodą,
- V'', h'' – odpowiednio objętość gruntu i wysokość próby w pierścieniu po maksymalnym spęcznieniu.

Proces pęcznienia występuje głównie w gruntach spoistych i organicznych [11, 2]. Grunty mające zdolność do zmian objętości pod wpływem zmian wilgotności określane są jako grunty

ekspansywne, a pęcznienie jako ekspansja [11]. Przyjmuje się dwie teorie pęcznienia gruntów:

- teorię warstwy podwójnej/ciśnienia osmotycznego
- teorię absorpcji wody.

Teorię pierwszą przedstawia Grabowska-Olszewska [3], opisując ją w kontekście pęcznienia minerałów ilastych, gdzie zakłada charakter dwustopniowy pęcznienia:

- stopień pierwszy - pęcznienie wewnątrzkrystaliczne, wynikające z wzrostu odległości pomiędzy warstwami minerałów ilastych na skutek uwodnienia kationów,
- stopień drugi - pęcznienie osmotyczne, wynikające z oddziaływań sił będących efektem różnicy stężenia jonów, utrzymywanych siłami elektrostatycznymi przez powierzchnię minerałów ilastych, a jonów znajdujących się w wodzie porowej.

Teoria druga, tzw. teoria absorpcji wody zakłada, że pęcznienie jest wynikiem hydratacji powierzchni cząstek ilastych. Mitchell i Soga [10], wskazują, że ta teoria bardziej sprawdza się dla naturalnych gruntów ilastych, takich jak ły z domieszką frakcji grubszej o średnicy cząstek $d > 0,002$ mm.

Na pęcznienie gruntu wpływa szereg czynników, z których najważniejszymi są [3]:

- rodzaj gruntu i skład granulometryczny,
- procentowa zawartość frakcji ilowej,
- skład mineralny frakcji ilowej,
- procentowy udział minerałów ilastych, których intensywność pęcznienia określa szereg: smektyt > smektyt/illit > illit > kaolinit,
- skład kationów wymiennych, determinujących hydrofilność gruntu malejącą zgodnie z $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{3+}$,
- stopień nasycenia wodą i wilgotność,
- chemizm wody porowej,
- struktura i mikrostruktura gruntu,
- przemiany zachodzące w strefie hipergenezy (np. liczba cykli przemarzania).

Rozpatrując strukturę gruntu, znaczącą rolę w pęcznieniu odgrywają fizykochemiczne oddziaływania pomiędzy cząstkami gruntu, wzajemne ich ułożenie oraz charakter wiązań pomiędzy nimi [3]. W wielu gruntach o zmienionej strukturze obserwuje się większą wrażliwość pęcznienia. Dla tych gruntów wskaźnik pęcznienia jest znacznie większy, niż dla tych samych gruntów o nienaruszonej strukturze. Zjawisko to może być wynikiem procesu zniszczenia więzi pomiędzy cząstkami gruntu, tzw. wiązań cementacyjnych. Wrażliwość pęcznienia obserwuje się zwykle w prekonsolidowanych „starszych” gruntach ilastych [3].

Charakterystyki pęcznienia można dokonywać różnymi metodami laboratoryjnymi i obliczeniowymi. W przedstawionej pracy zbadano takie parametry ekspansywności gruntów, jak pęcznienie swobodne oraz ciśnienie pęcznienia, a także pojemność sorpcyjną i powierzchnię właściwą. Pęcznienie swobodne określane jest jako zwiększenie objętości wysuszonego i roztartego gruntu luźno usypanego w cylindrze z wodą, wyrażone w procentach [7, 11, 14]. Ciśnienie pęcznienia, jest to ciśnienie równe takiemu obciążeniu, przy którym nie obserwuje się wzrostu objętości (wysokości) próbki gruntu będącego w kontakcie z wodą [8, 11, 14]. Powierzchnię właściwą gruntów rozumie się jako powierzchnię szkieletu mineralnego (fazy stałej), odniesioną do jednostki masy tego szkieletu, wyrażoną w m^2/kg [2]. Należy zwrócić uwagę, że minerały z grupy smektytu (minerały pęczniące), oprócz powierzchni zewnętrznych cząstek, mają jeszcze dostępne dla wody i jonów wymiennych powierzchnie w przestrzeniach między-pakietowych, a powierzchnia całkowita tych minerałów wynosi $700\text{--}800 \times 1000 \text{ m}^2/\text{kg}$. Minerały niepęczniące, takie jak kaolinity mają tylko zewnętrzną powierzchnię cząstek, a ich powierzchnia właściwa jest rzędu $10 \text{ do } 30 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{kg}$ [2]. Oznaczenie powierzchni właściwej badanych prób przeprowadzono metodą sorpcji błękitu metylenowego. Jest to niezawodna, prosta metoda, aby uzyskać informacje na temat obecności i właściwości minerałów ilastych w gruncie, zwłaszcza w pierwszym etapie badań [15]. Jak wskazuje E. Myślińska [11], ta metoda oznaczania powierzchni właściwej opiera się na założeniu, że „całkowita powierzchnia właściwa gruntów równa jest sumie rzutów powierzchni poszczególnych cząstek błękitu metylenowego, zaadsorbowanych przez grunt w postaci warstwy jednocząsteczkowej”. Przez pojemność sorpcyjną gruntu (MBC) rozumie się ilość gramów błękitu metylenowego zaadsorbowanego przez 100 g suchego gruntu [11, 15].

Celem pracy była ocena zależności wybranych parametrów, opisujących ekspansywność gruntów ilastych, takich

jak pęcznienie swobodne (FS), ciśnienie pęcznienia (σ_{sp}), powierzchnia właściwa (S_v), a także pojemność sorpcyjna (MBC) i wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym (w_s). Badania przeprowadzono dla prób trzeciorzędowych ilów, pobranych z terenu Dolnego Śląska, reprezentujących formację poznańską. Próby gruntów charakteryzowały się znacznym udziałem frakcji ilowej (powyżej 30%) i dużym skonsolidowaniem oraz zagęszczeniem szkieletu gruntowego.

Metody badań

Wybrane parametry ekspansywności oznaczono na podstawie badań laboratoryjnych 31 prób ilów.

Ciśnienie pęcznienia

Ciśnienie pęcznienia wyznaczano laboratoryjnie, w edometrach, metodą stałej objętości [3, 6]. Z prób kategorii A i 1 klasy jakości wycinano próbki gruntu do pierścienia edometrycznego o średnicy 50 lub 65 mm i wysokości 20 mm. Następnie próbki umieszczano w komorach edometrycznych i zalewano wodą destylowaną. Po zalaniu kontrolowano wysokość próby i zwiększano obciążenia w taki sposób, aby uniemożliwić zmianę objętości próbki. Obciążenie kontynuowano aż do całkowitego zrównoważenia ciśnienia pęcznienia, co zwykle następowało w przeciągu 12–24 godzin. Po tym czasie próbę pozostawiano jeszcze na kolejne 24 godziny i kończono badanie. Wartość ciśnienia pęcznienia obliczano z obciążenia potrzebnego do zrównoważenia ciśnienie pęcznienia σ_{sp} .

Pęcznienie swobodne

Pęcznienie swobodne (FS) oznaczono według metody H.J. Gibbsa i W.G. Holtza [7], uwzględniając uwagi o metodzie badań, zawarte w literaturze [5, 11, 14].

Próby gruntów o masie 50 g wysuszone w temperaturze $105\text{--}110^\circ\text{C}$ do stałej masy, roztarto i przesiano przez sito o wymiarze oczek 0,425 mm. Odmierzoną w cylindrze miarowym objętość gruntu równą 10 cm^3 ostrożnie przesypano do cylindra z wodą destylowaną. Czekano na zakończenie procesu sedymentacji cząstek gruntu w wodzie i ustalenie objętości końcowej gruntu w cylindrze. Proces ten trwał od pół godziny do 24 godzin, w zależności od rodzaju próby. Najczęściej kończył się po 4 godzinach. Następnie, na skali cylindra odczytywano końcową objętość spęczniałego gruntu. Swobodne pęcznienie oznaczono według wzoru [7]:

gdzie:

$$FS = \frac{V - 10}{10} \times 100$$

FS - swobodne pęcznienie (%)

10 - początkowa objętość próbki (cm^3)

V - objętość końcowa próbki (cm^3)

Powierzchnia właściwa i pojemność sorpcyjna

Oznaczenie powierzchni właściwej wykonano metodą sorpcji błękitu metylenowego i przeprowadzono zgodnie z normą PN-88/B-04481. Wykorzystano również opis metody i uwagi zawarte w literaturze [11, 15].

Na początku oznaczono miano roztworu błękitu metylenowego użytego do badań, które wyniosło $0,01 \text{ g/cm}^3$. Badanie oznaczania powierzchni właściwej przeprowadzono dla prób gruntów, wysuszonych w warunkach powietrzno-suchych, roztartych ostrożnie w moździerzu, przetartych przez sito o wy-

miarze oczek 2 mm. Z przesianego gruntu pobierano dwie próbki i oznaczano wilgotność gruntu. Przygotowane do badań próbki rozcierano z wodą destylowaną w proporcji 2 g gruntu / 100 cm³ wody destylowanej. Zawiesinę gruntową pozostawiano na 24 h. Po tym czasie do zlewki z zawiesiną gruntową dodawano 0,5 cm³ roztworu błękitu metylenowego i mieszane przez 3 minuty. Następnie przenoszono pipetą 1-2 krople zawiesiny gruntowej na bibułę filtracyjną i sprawdzano zabarwienie otoczki wody wokół gruntu na bibule. Jeżeli otoczka była czysta, dodawano kolejne 0,5 cm³ roztworu błękitu metylenowego do zlewki z zawiesiną gruntową. Czynność tę powtarzano do momentu, aż otoczka wokół gruntu na bibule zaczęła się zabarwiać. Oznaczało to, że zdolność sorpcyjna gruntu została przekroczona i badanie należy zakończyć. Dla jednej próbki wykonywano trzy oznaczenia powierzchni właściwej, następnie jako wynik podawano średnią z trzech oznaczeń.

Pojemność sorpcyjną gruntu (MBC) stosunku do błękitu metylenowego obliczono ze wzoru:

$$MBC = \frac{100m}{m_s} \times \frac{V_i + V_{i-1}}{2}$$

gdzie:

MBC - pojemność sorpcyjna gruntu oznaczająca ilość gramów błękitu metylenowego zaadsorbowanego przez 100 g suchego gruntu

m - masa błękitu metylenowego w gramach zawarta w 1 cm³ roztworu w przeliczeniu na substancję 3-wodną (g/cm³)

m_s - masa gruntu użytego do badania w przeliczeniu na próbkę wysuszoną w temperaturze 105-110°C(g)

V_i - objętość roztworu błękitu metylenowego, przy którym zdolność sorpcyjna została przekroczona (cm³)

V_{i-1} - objętość roztworu błękitu metylenowego przy przedostatniej porcji roztworu przed przekroczeniem zdolności sorpcyjnej gruntu (cm³)

Powierzchnię właściwą gruntu obliczono ze wzoru:

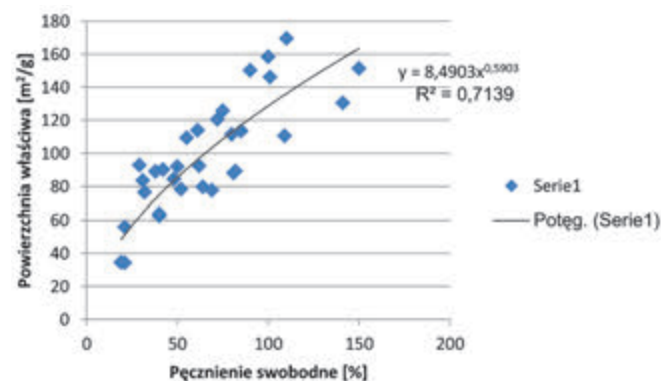
gdzie:

$$S_i = K_i \cdot MBC$$

S_i - Powierzchnia właściwa gruntu (m²/g)

K_i - Współczynnik, którego wartość wynosi 20,94 m²/g, określający sumę rzutów powierzchni 1g cząsteczek błękitu metylenowego.

Wyniki badań i ich interpretacja



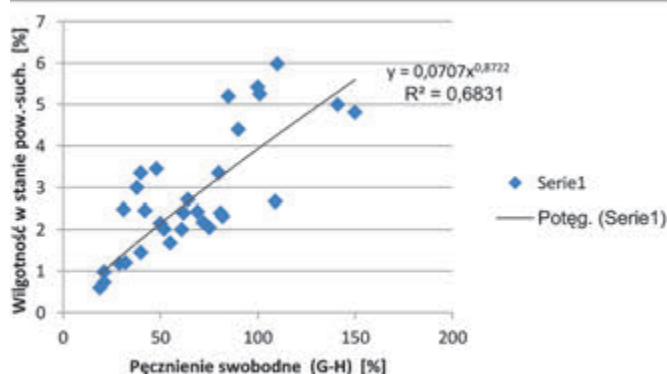
Rys. 1. Zależność pomiędzy powierzchnią właściwą a pęcznieniem swobodnym prób ilów

Ryc. 1. The relation between surface area and swelling pressure of clay samples

Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych zestawiono w tabeli 1.

Uzyskane wyniki pęcznienia swobodnego (FS) kształtują się od 19% do 150 %, średnio wynoszą 66,13 %. Maksymalne wartości FS (150%) uzyskano dla gruntu (P11) o dużej wartości powierzchni właściwej (S_i=151,4 m²/g) i dużej pojemności sorpcyjnej (MBC= 7,23 g/100g). Ciśnienie pęcznienia dla tej próby wykazało średnie wartości i wyniosło 62,9 kPa. Minimalna wartość pęcznienia swobodnego wyniosła 19 % (próba P27). Dla tej próby otrzymano również jedną z najniższych wartości powierzchni właściwej, kształtującą się na poziomie 34,55 m²/g, a także niską wartość pojemności sorpcyjnej, wynoszącą 1,65 g/100g. Analizując otrzymane wyniki pęcznienia swobodnego (FS) i inne zbadane parametry (tab.1), widać wyraźną zależność pomiędzy wartościami FS, a powierzchnią właściwą i pojemnością sorpcyjną. Zależność tę najlepiej opisuje funkcja potęgowa, a współczynnik determinacji R² wynosi 0,71 (rys.1). Zauważono także wyraźny wpływ wilgotności gruntu w stanie powietrzno-suchym (w_s) na wysokość FS (tab. 1, rys. 2). Zależność tę również opisuje funkcja potęgowa. Współczynnik R² kształtuje się na poziomie 0,68.

Wykazana wyraźna zależność wartości pęcznienia swobodnego od parametrów, takich jak powierzchnia właściwa i pojemność sorpcyjna oraz wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym wskazuje, że głównym czynnikiem powodującym pęcznienie badanych gruntów jest zawartość minerałów ilastych w frakcji ilowej. Uzyskane wyniki wskazują, że badane grunty mogą zawierać dużą zawartość minerałów z grupy smektytu, przeważające nad minerałami z grupy kaolinitu. Wysokie wartości powierzchni właściwej, pojemności sorpcyjnej, a także wilgotności początkowe są charakterystyczne dla gruntów zawierających dużą ilość minerałów ilastych, a zwłaszcza minerałów z grupy smektytu [2, 11, 4]. Grunty zawierające minerały z grupy smektytu o budowie typu 2:1, charakteryzujące się ruchomą siecią krystaliczną, wykazują znacznie większe pęcznienie, niż grunty zawierające minerały grupy kaolinitu o nieruchomej sieci typu 1:1 [2,11]. Pęcznienie smektytów zależy liniowo od wielkości wymiarów komórki elementarnej i od wielkości przestrzeni między-pakietowych sieci krystalicznej, w pełni rozszerzonych przy kontakcie z wodą [12]. O tym, że głównym czynnikiem pęcznienia badanych prób jest skład mineralogiczny, świadczą również uzyskane wartości wilgotności (w_s), które wyraźnie korelują się nie tylko ze wzrostem pęcznienia swobodnego, ale także z powierzchnią właściwą (rys.3). Grunty ilaste w stanie powietrzno-suchym, charakteryzują się wyższą wilgotnością dla ilu, w którego składzie mineralnym



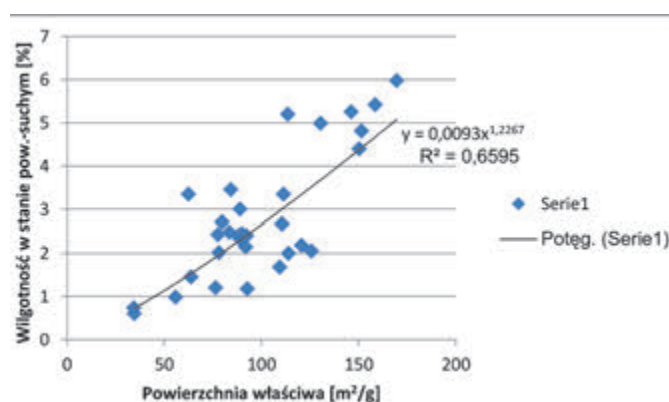
Rys. 2. Zależność pomiędzy wilgotnością gruntu w stanie powietrzno-suchym a pęcznieniem swobodnym

Ryc. 2. The relation between water content of air-dry soil and free swelling

Tab.1. Wybrane parametry pęcznienia prób ilów: pojemność sorpcyjna (MBC), powierzchnia właściwa (S_t) pęcznienie swobodne (FS), ciśnienie pęcznienia (σ_{sp}), wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym (w_s)

Tab.1. Selected swell parameters of clay samples: methylene blue value (MBC), specific surface area (S_t), free swelling (FS), swelling pressure (σ_{sp}), water content of air-dry soil (w_s)

Nr próby	MBC [g/100g]	S_t [m ² /g]	FS [%]	σ_{sp} [kPa]	w_s [%]
P1	4,41	92,35	62	123,4	2,4
P2	8,1	169,61	110	212,2	5,98
P3	5,23	109,52	55	52,8	1,68
P4	4,26	89,2	82	113,15	2,32
P5	3,81	79,78	64	124,8	2,71
P6	2,99	62,61	40	21,5	3,35
P7	6,23	130,46	141	61,5	4,99
P8	3,71	77,69	69	130,9	2,43
P9	4,39	91,93	50	7	2,15
P10	4,21	88,16	81	116,5	2,4
P11	7,23	151,4	150	62,9	4,81
P12	6,98	146,16	101	0	5,25
P13	5,28	110,56	109	102,6	2,67
P14	4,03	84,39	48	61,6	3,45
P15	3,99	83,55	31	55	2,48
P16	4,25	88,99	38	22	3
P17	3,05	63,87	40	76,5	1,45
P18	6,01	125,85	75	112,5	2,05
P19	5,44	113,91	61	49,1	2
P20	7,18	150,35	90	79,1	4,4
P21	7,57	158,52	100	21	5,42
P22	5,42	113,49	85	210,5	5,2
P23	4,43	92,76	29	11,2	1,18
P24	5,32	111,4	80	6,5	3,35
P25	2,67	55,91	21	18,8	0,98
P26	4,3	90,04	42	48,5	2,45
P27	1,65	34,55	19	14,1	0,6
P28	3,74	78,32	52	112,8	2,01
P29	3,65	76,43	32	211,02	1,2
P30	1,64	34,34	21	0	0,73
P31	5,76	120,61	72	52	2,18



Rys. 3. Zależność pomiędzy wilgotnością gruntu w stanie powietrzno-suchym a powierzchnią właściwą

Ryc. 3. The relation between water content of air-dry soil and specific surface area

przeważa montmorylonit (minerał z grupy smektytu), a niższą, w którym dominuje kaolinit [3].

Otrzymane wyniki ciśnienia pęcznienia (σ_{sp}) wykazują duży rozrzut wartości. Minimalne wartości σ_{sp} wynosiły 0 kPa (próby P30, P12). Dla jednej z prób (P30) o σ_{sp} równym 0 kPa, pęcznienie swobodne było niskie i wynosiło FS=21 %, przy niskiej powierzchni właściwej (S_t =34,55 m²/g) i niskiej pojemności sorpcyjnej (MBC=1,64 g/100g). Dla drugiej próby (P12) o σ_{sp} równym 0 kPa, FS było wysokie (FS=101%), jak również S_t była wysoka (S_t =146,16 m²/g) oraz MBC miało stosunkowo wysoką wartość 6,98 g/100g. Maksymalne ciśnienie pęcznienia wynosiło 212,2 kPa (próba P2). Dla tej próby gruntu pęcznienie swobodne (FS=110%), powierzchnia właściwa (S_t =169,61 m²/g) i pojemność sorpcyjna (MBC=8,1g/100g) uzyskały wartości wysokie. Dla innej próby natomiast, o równie wysokim ciśnieniu pęcznienia, wynoszącym 211,02 kPa (próba P29) wartości pęcznienia swobodnego, powierzchni właściwej

i pojemności sorpcyjnej były niskie ($FS=19\%$, $S_t=34,55\text{ m}^2/\text{g}$, $MBC=1,65\text{ g}/100\text{ g}$). Analizując uzyskane wyniki dla badanych prób (tab.1), nie stwierdzono korelacji pomiędzy wartościami ciśnienia pęcznienia, a wartościami pęcznienia swobodnego (rys. 4), jak również pozostałymi parametrami, takimi jak powierzchnia właściwa (rys. 5), pojemność sorpcyjna ($R^2=0,05$), wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym ($R^2=0,05$).

Rozważając wyniki prac innych badaczy [1,9,12,13], można było się spodziewać, że otrzymane wyniki ciśnień pęcznienia będą wykazywały większą korelację z innymi badanymi parametrami, a zwłaszcza powierzchnią właściwą, pojemnością sorpcyjną, które to parametry ściśle zależą od frakcji ilowej i zawartości minerałów ilastych. Push wskazuje, że najniższe wartości ciśnienia pęcznienia uzyskują grunty, w których składzie przeważają minerały z grupy kaolinitu, o mniejszych powierzchniach właściwych, a najwyższe wartości grunty z przewagą minerałów z grupy smektytu, o większych powierzchniach właściwych [13]. Gawriuczenkow wykazał wykładniczy charakter takiej zależności [1]. Uzyskany brak zależności wartości między ciśnieniem pęcznienia, a pozostałymi badanymi parametrami w prezentowanej pracy, można tłumaczyć dominującym wpływem mocno zagęszczonej struktury gruntów, z których większość była w stanie silnie skonsolidowanym. W przypadku skonsolidowanych (prekonsolidowanych), zwartych i bardzo zwartych ilów korelacja pomiędzy ciśnieniem pęcznienia, a pozostałymi parametrami jest trudna do stwierdzenia. Znaczne zagęszczenie silnie skonsolidowanego gruntu powoduje, że woda ma ograniczony dostęp do powierzchni cząstek ilastych. Można przypuszczać, że na oznaczaną w laboratorium wartość ciśnienia pęcznienia bardzo zwartych i zwartych ilów, duży wpływ miało również naruszenie struktury gruntu, powstałe w czasie pobierania prób do badań. Mogą wtedy powstawać spekania, grunt może nieściśle przylegać do pierścienia edometrycznego, co zwiększa dostęp wody i w konsekwencji może powodować wzrost ciśnienia pęcznienia. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym korelację pomiędzy uzyskanymi wynikami ciśnienia pęcznienia, a pęcznieniem swobodnym, czy pojemnością sorpcyjną i powierzchnią właściwą jest sposób preparowania gruntów do badań. Tutaj miało znaczenie porównywanie parametrów ciśnienia pęcznienia silnie skonsolidowanych gruntów, badanych w stanie naturalnym, przy nienaruszonej strukturze, z gruntami przesuszonymi i przetartymi. Z jednej strony, przy utrudnionym dostępie wody do bardzo silnie upakowanych cząstek ilowych prekonsolidowanego gruntu (badania ciśnienia

pęcznienia), a z drugiej strony przy swobodnym dostępie wody do roztartych i przesuszonych cząstek i minerałów ilastych (badania powierzchni właściwej i pęcznienia swobodnego), może dochodzić do obniżenia korelacji lub jej braku przy porównywaniu omawianych parametrów.

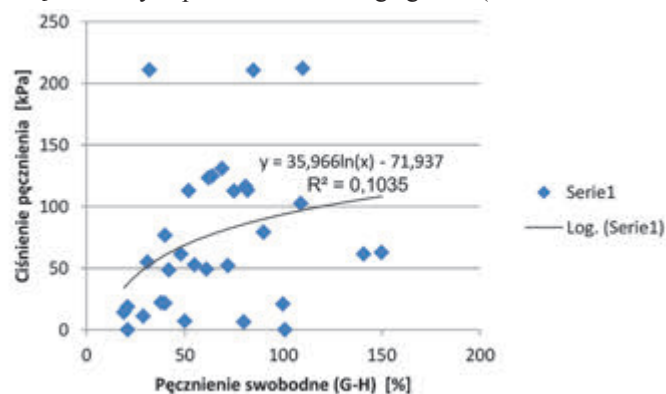
Brak korelacji pomiędzy ciśnieniem pęcznienia, a powierzchnią właściwą w przypadku skonsolidowanych ilów zauważają też inni badacze [9,10]. Uważają oni, że powierzchnia właściwa wpływa na ilość wody w gruncie, potrzebnej do zrównoważenia sił hydratacji, jaką może zaabsorbować grunt, co ma związek z wielkością pęcznienia. Twierdzą oni jednak, że ta zależność nie dotyczy wysoko prekonsolidowanych ilów oraz silnie pęczniących smektytów. W takich gruntach niewielka ilość wody, może zrównoważyć siły hydratacji i wtedy pęcznienie relatywnie będzie małe [10].

Podsumowanie i wnioski

W pracy przeprowadzono ocenę zależności wybranych parametrów opisujących ekspansywność gruntów ilastych. Wyniki opracowano na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych. Zbadano zależności pęcznienia swobodnego, ciśnienia pęcznienia, powierzchni właściwej, a także pojemności sorpcyjnej (MBC) i wilgotności gruntu w stanie powietrzno-suchym.

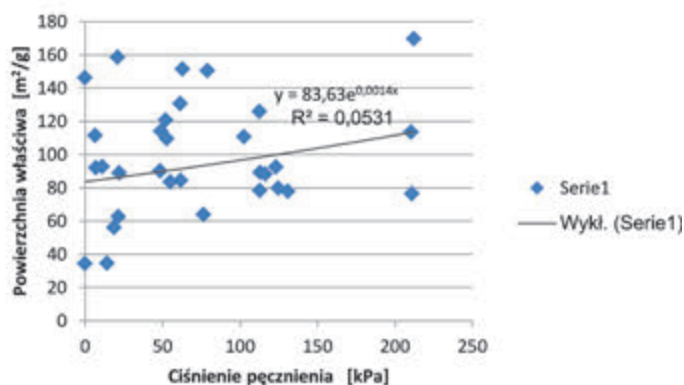
Wykazano wyraźną zależność wartości pęcznienia swobodnego od parametrów, takich jak powierzchnia właściwa i pojemność sorpcyjna ($R^2 = 0,714$), a także wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym ($R^2=0,683$). Stwierdzono również wysoką korelację wartości powierzchni właściwej i wilgotności gruntu w stanie powietrzno-suchym ($R^2=0,659$). Na podstawie otrzymanych wyników i analizy literatury, stwierdzono, że głównym czynnikiem powodującym pęcznienie badanych gruntów jest zawartość pęczniących minerałów ilastych (głównie z grupy smektytu) w frakcji ilowej.

Wyniki badań nie wykazały zależności pomiędzy wartościami ciśnienia pęcznienia, a wartościami pęcznienia swobodnego ($R^2=0,103$), powierzchni właściwej ($R^2=0,053$), a także pozostałymi parametrami, takimi jak wilgotność gruntu w stanie powietrzno-suchym i pojemność sorpcyjna. Stwierdzono, że główną przyczyną braku korelacji tych czynników może być wysokie skonsolidowanie i zagęszczenie prób ilów. Silne upakowanie cząstek ilowych prowadzi do utrudnionego dostępu wody i jonów wymiennych do powierzchni minerałów



Rys. 4. Zależność pomiędzy ciśnieniem pęcznienia a pęcznieniem swobodnym prób ilów

Ryc. 4. The relation between swelling pressure and free swelling of clay samples



Rys. 5. Zależność pomiędzy powierzchnią właściwą a ciśnieniem pęcznienia prób ilów

Ryc. 5. The relation between swelling pressure and specific surface area of clay samples

ilastych, a zwłaszcza do ich przestrzeni między-pakietowych warstw sieci krystalicznej.

Dodatkową przyczyną nie odnotowania zależności ciśnienia pęcznienia od innych parametrów, mogą być również błędy pomiarowe w badaniach laboratoryjnych, związane z trudnością pobierania prób silnie zagęszczonego gruntu (nie całkowite przyleganie gruntu do pierścienia edometrycznego, pękanie próby). Obniżenie tej korelacji mogło być spowodowane również porównywaniem nienaruszonych prób mocno skonsolidowanego łu (utrudniony dostęp wody do próby) z próbami naruszonymi- przetartymi i wysuszonymi proszkami (pełny dostęp wody).

Mitchel i Soga twierdzą, że w przypadku prekonsolidowanego łu oraz zawartości silnie pęczniących smektytów, niewielka ilość wody w gruncie, może zrównoważyć siły hydratacji i wtedy pęcznienie relatywnie będzie małe [10]. To zjawisko może również tłumaczyć brak lub obniżenie korelacji otrzymanych wyników badań ciśnienia pęcznienia z wartościami pęcznienia swobodnego, czy powierzchni właściwej.

W celu jednoznacznego potwierdzenia przeprowadzonej interpretacji otrzymanych wyników zależności ciśnienia pęcznienia, pęcznienia swobodnego, czy powierzchni właściwej, należałoby w kolejnym etapie badań przeprowadzić badania mineralogiczne oraz ocenę stopnia konsolidacji i analizę prekonsolidacji tych gruntów.

Literatura

- [1] Gawriuczenkow I., *Skład mineralny gruntów spoistych a ich właściwości deformacyjne*. Geologos 11, s.454-462, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2007
- [2] Grabowska-Olszewska B., *Metody badań gruntów spoistych*, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1990
- [3] Grabowska-Olszewska B., *Właściwości gruntów nienasyconych*, PWN, Warszawa 1998
- [4] Grabowska-Olszewska B., *Modelling physical properties of mixtures of clays: example of two-component mixture of kaolinite and montmorillonite*. Applied Clay Science 22: 251–259, 2003
- [5] Head K.H., *Manual of Soil Laboratory Testing*. Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests. 2nd ed. Pentech Press, London, 1992
- [6] Head, K.H., *Manual of Soil Laboratory Testing Vol. 2*, John Wiley & Sons, New York, 1994
- [7] Holtz W.G., Gibbs H.J., *Engineering properties of expansive clays*. Transactions of ASCE 121, 641-667, 1956
- [8] Kayabali K., Demir S., *Measurement of swelling pressure: direct method versus indirect methods*. Can. Geotech. J., No 48, pp. 354-364, 2011
- [9] Low P.F., *The swelling of clay: II. Montmorillonites*. Journal of the Soil Science Society of America, Vol. 44, pp. 667-676, 1980
- [10] Mitchell J.K., Soga K., *Fundamental of soil behavior*, John Willey & Sons, New York, 2005
- [11] Myślińska E., *Laboratoryjne badania gruntów*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2001
- [12] Odom J.W., Low P.F., *Relation between swelling, surface area and b dimension of Na-montmorillonites*. Clays and Clay Minerals, Vol.26, No 5, pp. 345-351, 1978
- [13] Pusch R., *Mechanical properties of clays and clay minerals*. W: Bergaya F. (red.), Handbook of clay science. Elsevier, Amsterdam, s. 247–260, 2006
- [14] Sridharan A., Prakash K., *Classification procedures for expansive soils*. Proc. Instn Civ. Engng, No 143, pp. 235-340, 2000
- [15] Turkoz M., Tosun H., *The use methylene blue test for predicting swell parameters of natural clay soils*. Scientific Research and Essays, Vol.6(8), pp.1780-1792, 2011