

Charakterystyka zmian deformacyjnych gruntów antropogenicznych z osadników cukrowni

Krystyna Choma-Moryl¹



Characterization of deformation changes in anthropogenic soil from the wet dumps of sugar factories.
Prz. Geol., 58: 892–897.

Abstract. Sewer sludge that fills four wet dumps of the closed Małoszyn Sugar Factory in Malczyce near Środa Śląska, Lower Silesia constitutes a very specific anthropogenic soil. It is composed of grains and mineral particles transported in suspension after sugar beets pre-processing treatment. Presently the wet dumps are to be recultivated to meet the requirements of environmental protection. According to the recultivation project the wet dumps will be backfilled with suitable waste material and covered with sand and soil to stimulate soil forming processes. Finally grass, clover and shrubs will be introduced. The recultivation layer thickness will reach 3–6 m.

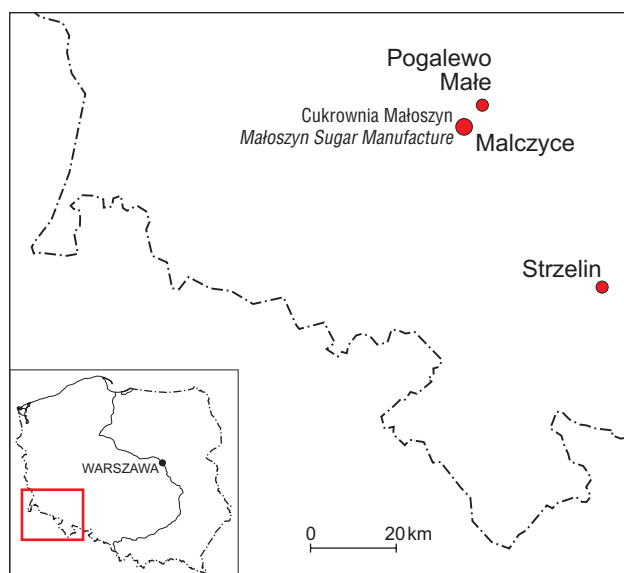
Anthropogenic soil that fills the wet dumps is up to 2–3 m thick. The grain-size distribution is generally consistent with silty loam, silty clay loam and silty clay. Quartz, illite and chlorite dominate the mineral composition. The wet dump's bottom is formed by clays of the Poznań Formation, practically impermeable. Silt-dominated soils deposited in a water environment are highly susceptible to deformations caused by water and overload. Deformation behaviour was studied for the soil in a semi-solid state as well as in a soft-plastic state. Varying influence of water results, among others, in shrinkage (L_s) and swelling of the soils, characterized in the present study by swelling strain (ϵ_p). Load-induced deformation of the soils is described basing on the modulus of primary compressibility. Basing on the results obtained it may be stated that the investigated anthropogenic soil undergoes moderate deformations under the influence of water. The swelling strain does not exceed 0.5–1.2% for the soil in a soft-plastic state and amount to 3.1–4.3% in a semi-solid state. The soil shrinkage limit varies between 3 and 5%. On the other hand load-induced deformations will be of remarkably higher importance. The soil in a soft-plastic state shows high shrinkage that is comparable with the one for organic soils. The modulus of primary compressibility is 282.3–925.9 kPa. The compressibility is markedly lower for a semi-solid state ($M_0 = 1\,190.5\text{--}2\,000$ kPa). Characteristically, in both soft-plastic and semi-solid states the soil shows higher compressibility for lower load values 0–50 kPa than for the higher range 0–200 kPa. These compressibility values should be taken into account during backfilling of the wet dumps with various safe waste materials at recultivation. The load-induced pressure, initially low, will increase with adding consecutive layers. Thus highest soil deformations should be expected during the initial backfilling stages and their intensity may be estimated using the modulus of primary compressibility.

Keywords: anthropogenic soils, wet dumps, modulus of primary compressibility, swelling strain, shrinkage limit

Zmiany deformacyjne w gruntach mogą zachodzić pod wpływem zmiennego oddziaływania wody lub w efekcie obciążenia. Oddziaływanie wody odgrywa zasadniczą rolę w przypadku gruntów zawierających minerały ilaste. Ze względu na hydrofilny charakter tych gruntów zachodzą w nich następujące zmiany deformacyjne: pęcznienie, skurcz, ekspansywność i podniesienie. Intensywność tych procesów uzależniona jest głównie od rodzaju minerałów ilastych występujących w danym gruncie oraz od zawartości frakcji iłowej, składu kationów wymiennych, składu chemicznego roztworów nasycających i zawartości substancji organicznej.

Wpływ obciążenia na zmiany deformacyjne obserwujemy zarówno w gruntach sypkich, pozbawionych frakcji iłowej, jak również w gruntach spoistych. Pod wpływem wzrastającego obciążenia grunty zawsze będą ulegały odkształceniom, które można charakteryzować m.in. krzywą konsolidacji lub krzywą ściśliwości oraz edometrycznym modułem ściśliwości.

W niniejszym artykule posłużono się przykładem gruntów antropogenicznych z osadników pocukrowych Cukrowni Małoszyn w Malczycach w województwie dolnośląskim (ryc. 1), w przypadku których charakterystyka zmian deformacyjnych będzie istotna w aspekcie ich rekultywacji. Zgodnie z przyjętym projektem (Kaźmierczak i in., 2010) ma ona polegać na wypełnieniu osadników różnymi odpadami do poziomu korony obwałowań, a następnie przeprowadzeniu nasadzeń roślinności.



Ryc. 1. Lokalizacja Cukrowni Małoszyn
Fig. 1. Location of Małoszyn Sugar Factory

Malczyce położone są na Nizinie Śląskiej w obrębie mezoregionu Wysoczyzny Średzkiej oraz Doliny Odry. Teren jest płaski lub lekko pagórkowaty, wyniesiony 108–123 m n.p.m. W podłożu występują neogeńskie iły formacji poznańskiej, osiągające miąższość ponad 100 m. Na

¹Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław; krystyna.choma-moryl@ing.uni.wroc.pl

skutek procesów glacictonicznych i erozyjnych miejscami występują bezpośrednio pod powierzchnią terenu. Utwory plejstocenu reprezentowane są przez gliny lodowcowe i osady fluwioglacjalne zlodowacenia środkowopolskiego. Najmłodszym ogniwem są piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych rzeki (Moryl, 1977; Szałajdewicz, 1980).

Cukrownię Małoszyn zamknięto w 2005 r. Jej osadniki położone są w odległości ok. 1 km od głównego budynku cukrowni. Znajdują się prawie 180 m na zachód od najbliższych zabudowań w Malczycach.

Utwory wypełniające osadniki pocukrowe należą do bardzo specyficznych gruntów antropogenicznych. Ich zasadnicze składniki mineralne i organiczne zostały utworzone w efekcie naturalnych procesów geologicznych. Jednak ich struktura (pierwotne wiązania) została całkowicie zniszczona w procesie produkcyjnym. W trakcie przygotowywania buraków do produkcji cukru oblepiające je resztki gleby i często wyoranego podglebia zostały wypłukane łącznie z oderwanymi fragmentami roślin i ich korzeni. Powstała zawiesina składająca się z frakcji pyłowej i ilowej ze znaczną zawartością substancji organicznej, która została przetransportowana hydraulicznie do osadników. Ze względu na sposób depozycji i związaną z tym znaczną wilgotność należy te grunty zaliczyć do osadów.

Cztery osadniki o powierzchni w zarysie korony 4,5 ha były połączone wbudowanymi w wały zastawkami betonowymi. Do nich stalowymi rurami doprowadzano zawieszinę powstającą w trakcie przygotowywania buraków cukrowych do produkcji cukru. Zdekantowany odciek z błota spławiakowego był odprowadzany grawitacyjnym rurociągiem do Odry. Miąższość osadu obecnie wypełniającego osadniki wynosi maksymalnie 2–3 m i zmniejsza się w kierunku obwałowań, gdzie nie przekracza średnio 1,6–1,9 m.

Techniczna rekultywacja terenu będzie, zgodnie z projektem (Kaźmierczak i in., 2010), polegać na wypełnieniu osadników dopuszczonymi do tego celu odpadami, innymi niż niebezpieczne. Następnie na całej powierzchni objętej rekultywacją przewidziane jest wykonanie wierzchniej warstwy glebotwórczej. Na etapie rekultywacji biologicznej będą wykonywane zabiegi agrotechniczne oraz nasadzenia sadzonek roślin. Głównymi odpadami przewidzianymi do rekultywacji będą odpady betonu, gruzu betonowego i ceglanego, odpady materiałów ceramicznych i tłuczeń. Na ostatnią warstwę wypełnienia planuje się wykorzystać piasek i glebę, aby umożliwić rozwój procesów glebotwórczych. Po wykonaniu prac agrotechnicznych z użyciem ciężkiego sprzętu i przygotowaniu gleby przewiduje się wysiew kilku gatunków traw i koniczyny. Następnie zostaną nasadzone gatunki krzewiaste, jak liguster, dzika róża, leszczyna i dziki bez. Oddziałują one korzystnie na podłoże, pełnią funkcję przeciwoerozyjną i próchnicotwórczą, a ze względu na swoje właściwości fitomelioryacyjne wpływają pozytywnie na odtwarzającą się glebę (*op.cit.*). Projektowana miąższość warstwy wypełniającej osadniki w części zachodniej będzie wynosić ok. 5–6 m, a w części wschodniej – 3–4 m.

Podłoże osadników stanowią neogeńskie ility formacji poznańskiej wykształcone jako ility i ility pylaste. Przewiercono je do głębokości 6–7 m. Ily są twaroplastyczne, na granicy półzwarłych. Ich stopień plastyczności I_L wynosi od 0,05 do 0,1. Z tych utworów zostały zbudowane obwałowania osadników. Ily formacji poznańskiej charakteryzują się dobrymi właściwościami izolacyjnymi ze względu na zdolności sorpcyjne i niską wodoprzepuszczalność. Jak

wykazały badania (Choma-Moryl, 2004) ility formacji poznańskiej z Pogalewa Małego i Strzelina (leżących odpowiednio ok. 15 km na wschód i ok. 50 km na południowy wschód od Malczyc) uzyskują wartości współczynnika filtracji k rzędu $8,3 \times 10^{-11}$ – $6,7 \times 10^{-10}$ m/s. Można więc z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że na omawianym obszarze te wartości będą podobne.

Osadniki od początku ich wypełniania miały naturalną barierę izolacyjną, uniemożliwiającą migrację wód do środowiska. Jest to bardzo ważne zagadnienie, gdyż dla wielu składowisk mokrych, odbierających ścieki z przemysłu spożywczego prowadzone są badania nad tempem ich samouszczelniania, które zachodzi najczęściej na drodze kolmatacji mechanicznej i chemicznej (Drağowski i in., 2002). Powstanie warstwy uszczelniającej prowadzi do zminimalizowania infiltracji wód do podłoża. Niekorzystnym skutkiem niskiej przepuszczalności podłoża i skarp osadników jest trudność szybkiego odsączania wody z błota pospławiakowego powstającego przy płukaniu buraków, powodująca, że osady te długo ją utrzymują i są w stanie miękkoplastycznym lub płynnym. Zmiany deformacyjne mogące występować w takich warunkach nie są uwzględniane przy projektach rekultywacji ani przy obliczaniu objętości materiału niezbędnego do wypełnienia osadników. Ich ilość może się zwiększyć, jeżeli osady będą wykazywać znaczną ściśliwość i duży skurcz.

Z niską przepuszczalnością podłoża i skarp wiąże się również fakt, że przez dłuższy czas po intensywnych deszczach prace ziemne nie będą mogły być rozpoczęte, ponieważ wjazd ciężkiego sprzętu na miękkoplastyczne podłoże o niskiej wytrzymałości będzie niemożliwy.

Metodyka badań

Próbki do badań laboratoryjnych zostały pobrane z 14 otworów badawczych wywierconych w czasie realizacji projektu prac rekultywacyjnych osadników oraz wykopów wykonanych po przemarznieniu powierzchni osadów, co umożliwiło pobranie próbek w środkowej części osadników. Przed przemarznieniem osadników, pomimo spuszczenia wody, wejście na nie było bardzo ograniczone.

Skład mineralny oznaczono metodą rentgenostrukturalną na podstawie dyfraktometrii rentgenowskiej. Wykorzystano dyfraktometr firmy Siemens typu D-5005 z lampą kobaltową. Zakres katowy pomiaru w stopniach 2θ wynosił od 4 do 75° , przy kroku 0,04 i czasie 2,0 s, w temperaturze 27°C .

Dyfraktogramy wykonywano dla całych próbek oraz dla wyseparowanej frakcji ilowej w stanie naturalnym i po nasyceniu glikolem – w celu jednoznacznego oznaczenia minerałów z grupy smektytu.

Skład granulometryczny określono metodą pipetową (Myślińska, 2002), z modyfikacją polegającą na wykorzystaniu mieszań magnetycznych zamiast gotowania zawiesiny. Mieszanie przebiegało w temperaturze pokojowej przez 60 minut. Jako stabilizatora używano pirofosforanu sodu.

Granice płynności i plastyczności oraz moduły ściśliwości wyznaczono wg PN-88/B-04481. Przy użyciu stożka penetracyjnego według tej normy wyznaczono wytrzymałość gruntów. Zawartość części organicznych oznaczono metodą Tiurina (Myślińska, 2002), wykonując trzy oznaczenia dla każdej próbki.

Zmiany deformacyjne pod wpływem wody określono na podstawie odkształcenia pęcznienia i skurczu liniowego. Badania wielkości pęcznienia wykonano w edometrach, używając wody destylowanej i wodociągowej w stosunku 1 : 1. Wartość odkształcenia pęcznienia (w polskiej literaturze oznaczanego symbolem ε_p – Dragowski, 1981; Kaczyński, 1992) obliczono według wzoru zaproponowanego przez Madsena i Müller-Vonmoosa (1989):

$$\varepsilon_s = \Delta h/h_0 \cdot 100,$$

gdzie:

ε_s – odkształcenie pęcznienia,

Δh – przyrost wysokości badanej próbki,

h_0 – wysokość początkowa próbki.

Wielkość skurczu określono na podstawie skurczu liniowego według metodyki podanej przez Heada (1992) dla past gruntowych o wilgotności granicy płynności.

Badania ściśliwości, pęcznienia i wytrzymałości na ścinanie wykonano przy wilgotności naturalnej na pastach gruntu w stanie miękkoplastycznym oraz drugą serię przy wilgotnościach niższych od granicy plastyczności na gruntach w stanie półwartym.

Wyniki badań

Na podstawie analizy rentgenostrukturalnej w badanym osadzie stwierdzono głównie kwarc, illit i chloryt. Oprócz tych minerałów występuje kalcyt i albit lub mikrokiln, a we frakcji iłowej – illit i chloryt, rzadziej kaolinit.

Pod względem granulometrycznym grunty antropogeniczne z osadników odpowiadają głównie glinom pylastym

i glinom pylastym zwięzłym (tab. 1). Utwory te są przemieszane, nie stwierdzono żadnego uporządkowania – ani w zależności od odległości od miejsca zrzutu zawiesiny, ani od odległości od brzegów osadników. Prawdopodobnie zawiesina była podawana w zróżnicowanych ilościach, przy zmiennych ciśnieniach. Występujące na głębokościach 1,7–2,7 m ility i ility pylaste (nr 10–14 w tab. 1) są prawdopodobnie utworami powstałymi przez częściowe wymieszanie gruntów antropogenicznych z gruntami podłoża. Substancja organiczna występuje w nich w śladowych ilościach. Charakteryzują się jaśniejszą barwą. Ze względu na niejednoznaczną genezę nie badano na nich zmian deformacyjnych.

Udział substancji organicznej w badanych gruntach antropogenicznych nie przekracza 4%, dla większości badanych próbek wynosi 1,8–2,5% (tab. 1). Występowanie substancji organicznej nie wykazuje żadnego uporządkowania. Grunty te można zaliczyć do niskoorganicznych. Występująca w nich substancja organiczna pochodzi z gleby oblepiającej buraki cukrowe oraz z rozkładu fragmentów roślin usuwanych podczas ich mycia. Dlatego substancja organiczna jest nierównomiernie rozmieszczona i w różnym stopniu rozłożona. W większości stanowi bezpostaciową substancję próchniczą.

Mimo że próbki do badań były pobierane po długotrwałym osuszeniu osadników przez odprowadzanie wody, występują w stanie miękkoplastycznym, rzadziej plastycznym, na granicy miękkoplastycznego. Ich wilgotność waha się od 30,5 do 60,2% (tab. 1). Utrzymywanie tak znacznych ilości wody spowodowane jest przede wszystkim uniemożliwieniem ich grawitacyjnego odsączenia, gdyż w podłożu i obwałowaniach występują słabo przepuszczalne ility. Dominujący udział frakcji pyłowej, przy znacznej za-

Tab. 1. Właściwości fizyczne gruntów antropogenicznych (w_n – wilgotność naturalna, w_p – granica plastyczności, w_L – granica płynności, I_L – stopień plastyczności, I_{om} – zawartość substancji organicznej)

Table 1. Physical properties of anthropogenic soils (w_n – natural water content, w_p – plastic limit, w_L – liquid limit, I_L – liquidity index, I_{om} – content of organic matter)

Nr próbki Sample No.	Głębokość Depth [m]	Procentowa zawartość frakcji Percentage of fraction [μm]				Nazwa gruntu Name of soil	w_n [%]	w_p [%]	w_L [%]	I_L	I_{om} [%]
		>2000	2000–50	50–2	<2						
1	0,4		3,5	83,4	13,1	G π	45,4	20,1	61,8	0,60	3,6–4,0
2	0,3	1,0	19,0	63,9	16,1	G π	45,2	18,3	63,2	0,59	2,7–3,0
3	1,2		6,2	81,1	12,7	G π	30,5	18,3	47,7	0,41	1,8–2,0
4	1,0		3,5	69,8	26,7	G π z	42,5	20,6	58,1	0,58	2,4–2,5
5	0,8		1,7	75,6	22,7	G π z	60,2	21,9	73,9	0,74	3,2–3,9
6	1,6	2,3	13,4	66,5	17,8	G π	34,8	19,2	46,4	0,57	2,7–2,9
7	0,6	0,5	25,5	59,6	14,4	G π	50,6	17,3	67,0	0,67	
8	1,1		0,9	82,9	16,2	G π	40,8	25,3	57,3	0,48	2,4–2,9
9	1,4		1,0	76,4	22,6	G π z	48,7	21,8	63,4	0,64	1,4–2,7
10	2,7		4,3	60,3	35,4	I π	43,7	28,1	61,3	0,47	
11	1,7		0,7	65,8	33,5	I π	35,6	25,1	56,7	0,33	
12	1,8	0,5	38,1	21,3	40,1	I	25,2	15,8	48,5	0,28	
13	2,5		37,5	29,4	33,1	I	51,0	21,2	63,6	0,71	0,1–0,2
14	2,3		25,3	29,4	45,3	I	48,3	20,7	65,8	0,61	

G π – glina pylasta, G π z – glina pylasta zwięzła, I π – ility pylaste, I – ility
G π – silty loam, G π z – clay loam, I π – silty clay, I – clay

wartości frakcji iłowej i kilkuprocentowej zawartości substancji organicznej, dodatkowo utrudnia oddawanie wody, zarówno przez odparowanie, jak i przez odsączenie.

Badania pęcznienia wykazały, że pod wpływem wody omawiane grunty antropogeniczne w niewielkim stopniu zwiększają swoją objętość. Odształcenie pęcznienia ε_p uzyskuje wartości rzędu 0,5–1,2% dla wilgotności bliskiej

granicy płynności i 3,1–4,3% dla gruntów w stanie półzwałym (tab. 2). Małe wartości pęcznienia były łatwe do przewidzenia ze względu na skład mineralny i granulometryczny oraz dużą wilgotność. Przy małej zawartości frakcji iłowej (kilkanaście do dwadzieścia kilku procent) i niewielkich ilościach illitu w niej występującego, pęcznienie może być spowodowane kilkuprocentową zawartością

Tab. 2. Moduł ściśliwości pierwotnej (M_0), wilgotność naturalna (w_n), gęstość objętościowa (ρ), gęstość objętościowa szkieletu gruntowego (ρ_d), wskaźnik porowatości (e), porowatość (n), wytrzymałość (τ_f), odształcenie pęcznienia (ε_p) i skurcz liniowy (L_s) badanych gruntów antropogenicznych

Table 2. Modulus of primary compressibility (M_0), natural water content (w_n), bulk density (ρ), density of dry soil (ρ_d), void ratio (e), porosity (n), shear strength (τ_f), swelling strain (ε_p) and linear shrinkage (L_s) of anthropogenic soils

Nr próbki Sample No.	Głębokość Depth [m]	w_n [%]	ρ [Mg/m ³]	ρ_d [Mg/m ³]	e	n	M_0 0–50 [kPa]	M_0 0–200 [kPa]	τ_f [kPa]	ε_p [%]	L_s [%]
1	0,4	45,4	1,739	1,196	1,140	0,53	409,8	985,2	15,4	0,8	3,5
		26,5	1,917	1,515	0,689	0,41					
		18,1*	1,706	1,444	0,772	0,43	1 960,7	3 883,4	444,2	3,3	
		12,9	1,719	1,522	0,681	0,40					
2	0,3	45,2	1,732	1,193	1,145	0,53	476,2	1 086,9	16,7	1,1	4,0
		31,5	1,916	1,457	0,757	0,43					
		11,7*	1,488	1,332	0,921	0,48	1 282,1	2 898,6	184,2	2,8	
		6,7	1,526	1,430	0,79	0,44					
3	1,2	30,5	1,904	1,459	0,795	0,44	925,9	1 980,2	33,1	1,0	2,5
		23,1	1,937	1,573	0,627	0,38					
		15,3*	1,720	1,491	0,717	0,42	2 000,0	3 921,6	424,4	3,7	
		11,4	1,727	1,551	0,650	0,39					
4	1,0	42,5	1,730	1,214	1,108	0,52	546,4	1 230,8	25,7	0,9	4,5
		35,6	1,905	1,405	0,822	0,45					
		18,6*	1,766	1,489	0,719	0,42	1 960,7	3 333,3	444,4	3,1	
		8,4	1,732	1,598	0,602	0,37					
5	0,8	60,2	1,677	1,046	1,466	0,59	282,3	756,1	6,2	0,5	3,0
		41,3	1,955	1,383	0,865	0,46					
		16,9*	1,522	1,302	0,981	0,49	1 190,5	2 222,2	489,0	2,8	
		12,5	1,530	1,360	0,897	0,47					
6	1,6	34,8	1,893	1,404	0,851	0,46	895,7	1 873,1	5,1	1,2	5,0
		25,6	1,913	1,523	0,707	0,41					
		15,8*	1,767	1,525	0,704	0,41	1 951,7	3 547,2	226,1	4,1	
		10,6	1,801	1,627	0,598	0,37					
7	0,6	50,6	1,774	1,178	1,181	0,54	534,8	1 230,8	10,3	1,1	4,0
		32,5	1,962	1,481	1,119	0,43					
		11,1*	1,574	1,417	0,835	0,46	1 388,8	2 285,7	173,6	4,3	
		7,1	1,578	1,473	0,765	0,43					
8	1,1	40,8	1,787	1,269	1,048	0,51	415,8	1 023,8	18,3	1,2	3,5
		29,7	1,998	1,540	0,689	0,41					
		21,4*	1,732	1,427	0,822	0,45	1 651,2	3 368,1	212,7	2,9	
		15,6	1,748	1,512	0,719	0,42					
9	1,4	48,7	1,754	1,179	1,205	0,55	493,8	1 134,7	13,2	0,6	4,5
		36,9	1,987	1,451	0,792	0,44					
		17,3*	1,512	1,289	1,017	0,50	1 211,3	2 834,7	198,7	3,1	
		11,2	1,587	1,427	0,822	0,45					

*grunty w stanie półzwałym

*semi-solid state of soils

substancji organicznej. Ze względu na tak małe wartości odkształcenia pęcznienia nie wyznaczano w tych gruntach ciśnienia pęcznienia.

Skurcz liniowy L_s wynosi 3–5%. Jest spowodowany przede wszystkim obecnością substancji organicznej, chociaż występuje w tak niewielkiej ilości – grunty pylaste przeważnie wykazują jeszcze mniejsze wartości skurczu. Niewielki skurcz badanych gruntów, mimo ich znacznej wilgotności, może wynikać również z dość jednorodnego uziarnienia. Dominuje w tych gruntach frakcja pyłowa i ilowa. Jak wykazały badania Sridharana i Prakasha (1998) wielkość skurczu będzie wzrastać w gruntach o znacznym wskaźniku różnoziarnistości.

Odkształcalność gruntów antropogenicznych scharakteryzowano dla gruntów w stanie miękkoplastycznym i półzwardym na podstawie modułów ścisłości pierwotnej w zakresach obciążeń 0–50 kPa i 0–200 kPa. Przyjęto je ze względu na fakt, że odpady przewidziane do wypełnienia osadników o miąższości 3–6 m będą przekazywały obciążenia podobnej wartości.

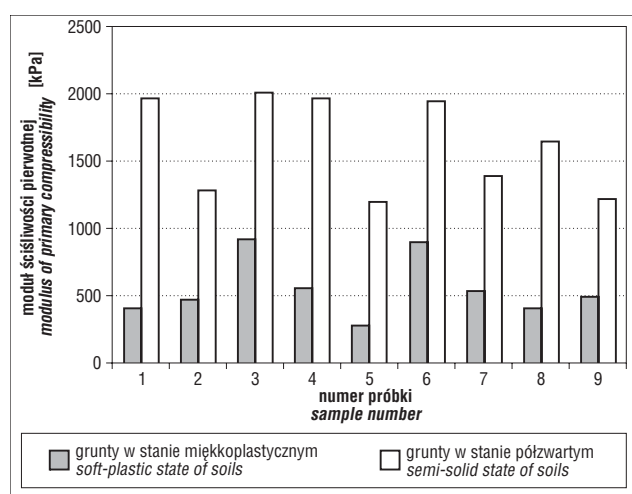
Uzyskane wyniki, zgodnie z przewidywaniem, wykazują znaczną ścisłość omawianych gruntów antropogenicznych, zwłaszcza w stanie miękkoplastycznym. W tym stanie szczególnie wysoką ścisłość stwierdzono dla niewielkich obciążeń (0–50 kPa). Moduły ścisłości pierwotnej dla tego zakresu wynoszą 282,3–925,9 kPa (tab. 2). Największą ścisłością ($M_o = 282,3$ kPa) charakteryzują się grunty odpowiadające pod względem składu granulometrycznego glinom pylastym (próbka nr 5), o wilgotności $W_n = 60,2\%$. Oprócz tego, że są nasycone wodą, wykazują również znaczną porowatość ($n = 0,59$), świadczącą o bardzo luźnej strukturze. Relatywnie mniejszą przy tym obciążeniu ścisłością ($M_o = 409,8$ kPa) charakteryzuje się grunt z próbki nr 1, o składzie granulometrycznym odpowiadającym glinom pylastym, ale o znacznie mniejszej wilgotności i porowatości, świadczących o większym zagęszczeniu osadu. Najmniejszą ścisłość stwierdzono w gruntach o najniższych wartościach wilgotności 30,5 i 34,8% (próbki nr 3 i 6). Uzyskane dla tych próbek moduły ścisłości pierwotnej wynoszą odpowiednio 925,9 kPa i

895,7 kPa (ryc. 2). Charakteryzują się one największym upakowaniem ziaren i cząstek, gdyż ich porowatość jest najmniejsza z omawianych gruntów i wynosi 0,44 i 0,46. Porowatość większości badanych gruntów antropogenicznych waha się od 0,51 do 0,55.

W zakresie obciążenia 0–200 kPa ścisłość omawianych gruntów maleje, a uzyskane moduły ścisłości pierwotnej wahają się od 756,1 do 1 980,2 kPa (tab. 2). Podobnie jak poprzednio wartości M_o zmieniają się w zależności od wartości wilgotności i porowatości próbki. Największą ścisłością w tym zakresie obciążenia charakteryzuje się znowu próbka nr 5, natomiast najmniejszą ścisłość wykazują, tak jak poprzednio, próbki nr 3 i 6 (ryc. 3). W większości przypadków stwierdzono znaczne zmniejszenie porowatości gruntów w stanie miękkoplastycznym po zakończeniu badań ścisłości (tab. 2).

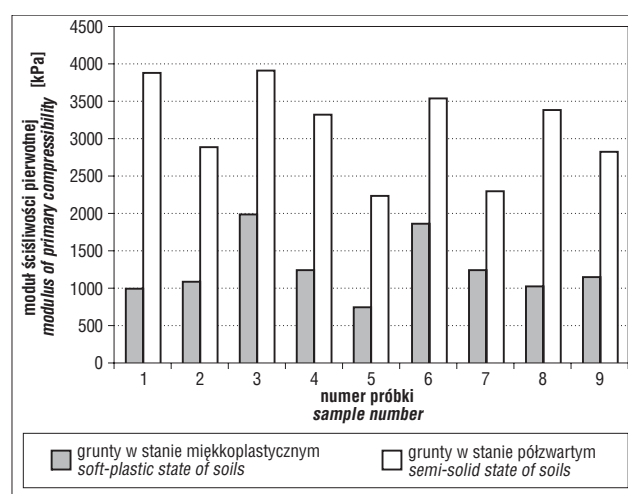
Ścisłość gruntów w stanie półzwardym zmniejsza się kilkakrotnie, w każdym z omawianych zakresów obciążeń. Najmniejszą ścisłość wykazują w tym stanie próbki 1, 3, 4 i 6 (ryc. 2, 3). Nie stwierdzono wyraźnej zależności między wilgotnością początkową a ścisłością. Próbkę o najmniejszej wilgotności rzędu 11% (próbki 2 i 7) wykazują znacznie większą ścisłość niż grunty badane przy wilgotności 15–18%. Zwraca uwagę również niewielkie zmniejszenie porowatości po zakończeniu badania.

Wytrzymałość omawianych gruntów antropogenicznych została oszacowana na podstawie badań w penetrometrze stożkowym. Uzyskane wyniki wykazują również zróżnicowanie wartości dla stanu miękkoplastycznego i półzwardego. Brak jest wyraźnej zależności wytrzymałości od wilgotności. Najniższą wytrzymałość (5,1, 6,2 i 10,3 kPa) wykazują grunty odpowiadające glinom pylastym zwięzłym i glinom pylastym o wilgotności odpowiednio 34,8, 60,2 i 50,6% (tab. 2). Również dla gruntów w stanie półzwardym nie stwierdzono zależności wytrzymałości od wilgotności. Oczywiście należy zdawać sobie sprawę z faktu, że uzyskane wyniki są bardzo szacunkowe. Jedynym jednoznacznym wnioskiem jest co najmniej dziesięciokrotny wzrost wytrzymałości gruntów w stanie półzwardym w porównaniu do stanu miękkoplastycznego.



Ryc. 2. Porównanie modułów ścisłości pierwotnej gruntów w stanie miękkoplastycznym i półzwardym dla zakresu obciążeń 0–50 kPa

Fig. 2. Comparison of modulus of the primary compressibility in the soft-plastic state of the soil and the semi-solid state of the soil for the load spectrum of 0–50 kPa



Ryc. 3. Porównanie modułów ścisłości pierwotnej gruntów w stanie miękkoplastycznym i półzwardym dla zakresu obciążeń 0–200 kPa

Fig. 3. Comparison of modulus of the primary compressibility in the soft-plastic state of the soil and the semi-solid state of the soil for the load spectrum of 0–200 kPa

Podsumowanie

Osadniki wykorzystane do odprowadzania zawieszin z Cukrowni Małoszyn w Malczycach zostały zbudowane w obrębie neogeńskich ilów formacji poznańskiej, co pozwoliło uniknąć szeregu problemów, które musiały być rozwiązane przy budowie tego typu obiektów (Glazer i in., 1971). Szczelne podłoże i skarpy omawianych osadników minimalizowały infiltrację wód do środowiska gruntowo-wodnego, co jednocześnie bardzo spowalniało proces odsączania wody z zawieszin i powodowało, że są one głównie w stanie plastycznym i miękkoplastycznym.

Występowanie w tym stanie gruntów antropogenicznych, stanowiących podłoże obszaru rekultywowanego, może powodować duże utrudnienia w pracach ziemnych.

Zgodnie z przypuszczeniami zmiany deformacyjne zachodzące pod wpływem zmiennego oddziaływania wody będą odgrywały niewielką rolę. Zdecydowanie bardziej istotne będą zmiany spowodowane wzrastającym obciążeniem. Zarówno w stanie miękkoplastycznym, jak i półzwardym badane grunty antropogeniczne wykazują znaczną ścisłość, szczególnie dla mniejszych zakresów obciążeń (0–50 kPa). Jest to ważne dla charakterystyki zachowania się gruntów w pierwszej fazie rekultywacji, w trakcie początkowego wypełniania osadników. Szczególnie w przypadku intensywnych opadów atmosferycznych, po których proces osuszania podłoża będzie długotrwały. Ścisłe podłoże utrudni wypełnianie osadników. Dodatkowo należy liczyć się z koniecznością dostarczenia większej ilości odpadów do wypełnienia niż wynika to z szacunków przeprowadzonych na podstawie geodezyjnie obliczonej pojemności istniejących osadników. Kubatura materiałów wypełniających i kształtujących wierzchowinę oceniana na ok. 85 000 m³ może ulec znacznemu zwiększeniu.

Drugim aspektem wynikającym z dużej ścisłości i małej wytrzymałości omawianych gruntów antropogenicznych jest problem poruszania się po nich ciężkiego sprzętu

(samochodów, spycharek). Prawdopodobnie roboty ziemne nie będą mogły być rozpoczęte przed dokładnym osuszeniem osadników. W miarę ich wypełniania i dalszego osuszania warunki prac ziemnych zdecydowanie się poprawią, ponieważ zmniejszy się ścisłość podłoża i wzrośnie wytrzymałość.

Literatura

- CHOMA-MORYL K. 2004 – Badania wybranych gruntów spoistych z terenu Dolnego Śląska jako uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. Acta Univ. Wratisl. Hydrogeol., 2599.
- DRĄGOWSKI A., CABALSKI K. & RADZIKOWSKI M. 2002 – Badania bezpośrednie procesów samuszczelniania się składowisk mokrych na przykładzie składowiska w Przeworsku. Prz. Geol., 10: 975–979.
- DRĄGOWSKI A. 1981 – Inżyniersko-geologiczna charakterystyka niszczenia skał masywowych Wyżyny Lubelskiej w wyniku pęcznienia i skurczu. Biul. Geol. Uniw. Warsz., 29: 5–104.
- GLAZER Z., DOMAGAŁA M., DRĄGOWSKI A., KACZYŃSKI R. & WYSOKIŃSKI L. 1971 – Problematyka badań inżyniersko-geologicznych przy składowaniu odpadów przemysłowych w stawach osadowych. Prz. Geol., 19: 244–248.
- HEAD K.H. 1992 – Manual of soil laboratory testing. T. 1 – Soil classification and compaction tests. Whittles Publishing, London.
- KACZYŃSKI R. 1992 – Anisotropic swelling and shrinkage of Miocene carpatian Foredeep clays. Proceeding 7th International Conference on Expansive Soils, 1: 251–255, Dallas.
- KAŻMIERCZAK U., MILIAN A. & MORYL J. 2010 – Projekt rekultywacji osadników Cukrowni Małoszyn w Malczycach. Arch. KMM Projekt s.c.
- MADSEN F.T. & MÜLLER-VONMOOS M. 1989 – The swelling behaviour of clays. Applied Clay Science, 4: 143–156.
- MORYL J. (red.) 1977 – Geneza i stratygrafia osadów trzeciorzędowych i czwartorzędowych – arkusz Prochowice. PTPNoZ Oddz. Doln., Arch. PROXIMA, Wrocław.
- MYŚLIŃSKA E. 2002 – Laboratoryjne badania gruntów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- PN-88/B-04481 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- SRIDHARAN A. & PRAKASH K. 1998 – Mechanism controlling the shrinkage limit of soils. Geot. Test. Journ., 21: 240–250.
- SZAŁAJDEWICZ J. 1980 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Prochowice. Objąsnienia. Wyd. Geol., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 31.06.2010 r.

Po recenzji akceptowano do druku 26.07.2010 r.