

BARBARA GRABOWSKA-OLSZEWSKA  
Uniwersytet Warszawski

## OCENA WRAŻLIWOŚCI TEKSTURALNEJ UTWORÓW LESSOWYCH DLA POTRZEB BUDOWNICTWA

UKD 552.524:552.122:624.131.23:624(438.13)

Wymieniony temat opracowano na podstawie badań laboratoryjnych wykonanych dla próbek utworów lessowych z północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej (okolice Bodzentyna, Cmielowa, Opatowa i Sandomierza) oraz z terenów Polski południowo-wschodniej (okolice Rzeszowa, Jarosławia, Przemysła). Edometryczne badania współczynnika dosiadanania przeprowadzono metodą jednej krzywej, w zasadzie zgodnie z obowiązującą Polską Normą Budowlaną (PN-58/B-04495) oraz metodą również jednej krzywej, lecz przy obciążeniach 0,5 kG/cm<sup>2</sup> i 2,0 kG/cm<sup>2</sup>.

Doświadczenia wykonywano dla różnych typów litologicznych, pobranych z różnych poziomów stratygraficznych, przy czym oznaczenia dla każdego typu litologicznego wykonywano na trzech równoległych próbkach, nasyconych wodą pod wyżej wymienionymi obciążeniami. Pobrane do badań próbki reprezentowały duże zróżnicowanie litologiczne, dzięki czemu udało się wśród nich wydzielić trzy typy oraz osiem podtypów (5).

Uzyskane wyniki współczynnika dosiadanania dla równoległych trzech próbek obciążonych 0,5, 2,0, 3,0 kG/cm<sup>2</sup> pozwoliły uzyskać interesującą zależność między wielkością obciążenia „σ” a wielkością „i<sub>d</sub>” (tab.). Jak wynika z tabeli wartości współczynnika dosiadanania przy 2,0 kG/cm<sup>2</sup> są wyższe, niż przy 3,0 kG/cm<sup>2</sup> i 0,5 kG/cm<sup>2</sup>.

Wyniki te mają szczególnie duże znaczenie praktyczne, jeśli się uwzględni fakt, że w przypadku budownictwa na gruntach lessowych proponowane przez normy wyznaczenie współczynnika dosiadanania (makroporowatości) pod obciążeniem 3,0 kG/cm<sup>2</sup>, nie jest chyba najszcześliwiej dobrane, gdyż przy standardowych typach budownictwa mieszkaniowego lub lżejszego przemysłowego, najczęściej stosuje się dopuszczalne obciążenie na grunt w wysokości 2,0 kG/cm<sup>2</sup>, co w przypadku gruntów lessowych można uznać za wystarczające.

Tak więc jeżeli się przeniesie wartość „i<sub>d</sub>” wyznaczoną pod obciążeniem 3,0 kG/cm<sup>2</sup> do konkretnych warunków, w których budowla będzie przekazywać obciążenie na grunty w wysokości 2,0 kG/cm<sup>2</sup>, w pewnych przypadkach może się okazać, że grunt, który w badaniach laboratoryjnych pod obciążeniem 3,0 kG/cm<sup>2</sup> ma teksturę mało wrażliwą na działanie wody tu pod rzeczywistym obciążeniem 2,0 kG/cm<sup>2</sup> będzie energicznie współdziałał z wodą wykazując teksturę nietrwałą.

W tej więc sytuacji skutki budowlane będą oczywiste, nie mówiąc już o zwiększonej odpowiedzialności projektanta w przypadku stosowania wartości „i<sub>m</sub>”

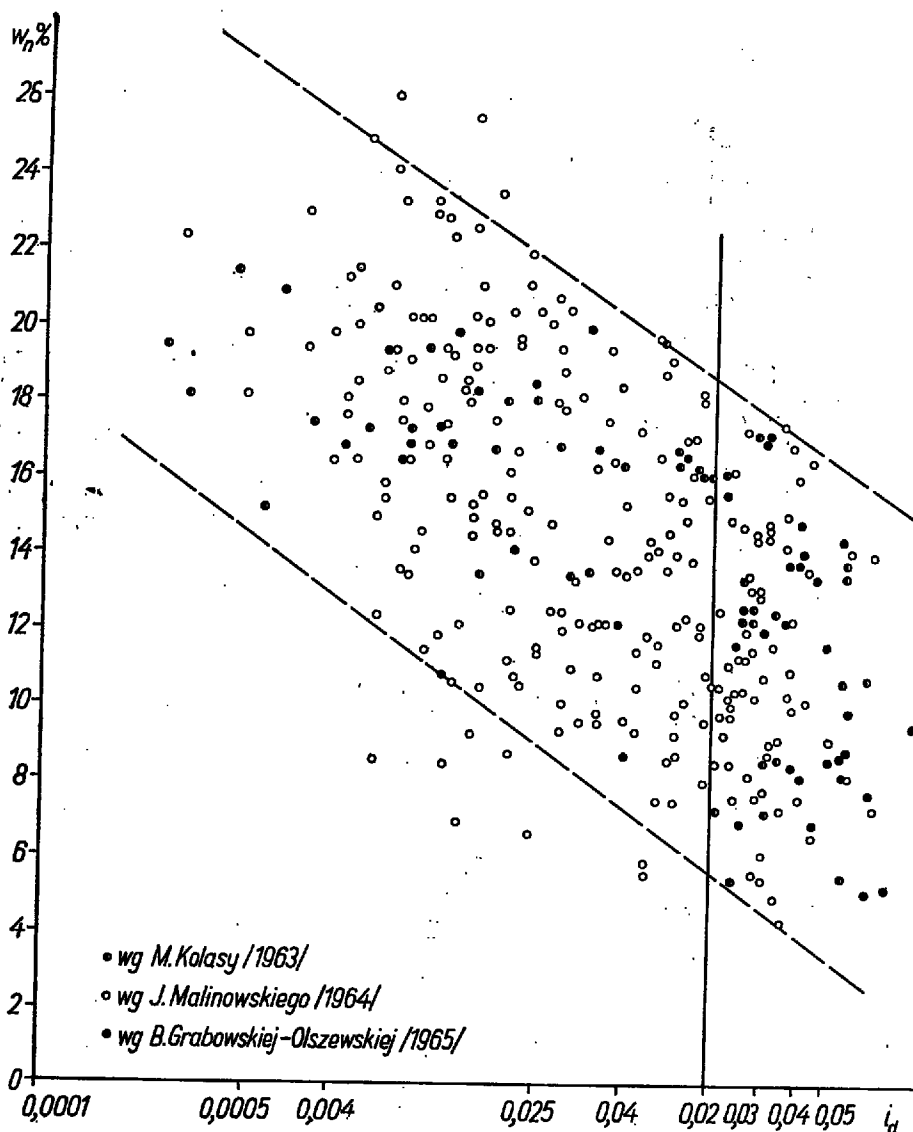
wyznaczonej pod obciążeniem proponowanym przez wyżej wymienione normy.

Tak więc wydaje się, że przy badaniach wielkości dosiadanania gruntów właściwiej byłoby stosować obciążenie 2,0 kG/cm<sup>2</sup>, przy którym próbka byłaby nasycona wodą, a nie jak dotychczas 3,0 kG/cm<sup>2</sup> zachowując graniczną wartość „i<sub>d</sub>” 0,02, określającą trwałość strukturalno-teksturalną badanych gruntów, co zarazem gwarantuje wyższe od dotychczasowego bezpieczeństwo ze względu na zachowanie stateczności danej budowli.

Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że powyższą zależność „i<sub>d</sub>” od „σ” zaobserwowano w utworach lessowych występujących w poziomach stratygraficznych od lessu górnego do lessu dolnego wyższego włącznie. Nie zaobserwowano jej natomiast dla lessu dolnego niższego, a więc na badanym terenie najstarszego lessu, wiążanego ze zlodowaczeniem bałtyckim (5). Utwory lessowe (podtypu IVc) wiążane z tym

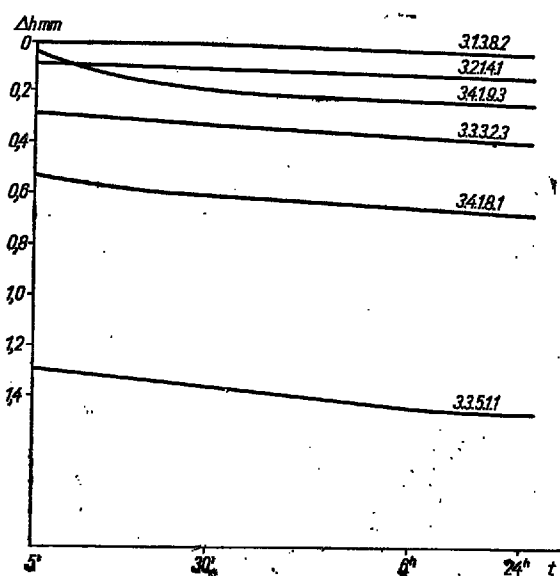
WIELKOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA DOSIADANIA (i<sub>d</sub>)  
W ZALEŻNOŚCI OD ZASTOSOWANEGO OBCIĄŻENIA

Lokalizacja próbki	Typ lub podtyp	Obciążenie, przy którym nasycono próbkę wodą kG/cm <sup>2</sup>		
		0,5	2,0	3,0
współczynnik dosiadanania „i <sub>d</sub> ”				
3.1.3.1.1.	I a	0,011	0,033	0,028
3.3.3.1.2.	I b	0,034	0,054	0,026
3.3.5.1.1.	I b	0,027	0,053	0,025
3.3.6.1.1.	I b	0,026	0,069	0,057
3.3.7.1.2.	I b	0,018	0,028	0,026
3.5.3.1.1.	II a	0,0018	0,002	0,00026
3.1.2.1.2.	IV a	0,0063	0,036	0,031
3.4.1.2.1.	IV a	0,0044	0,017	0,015
3.5.5.2.3.	IV a	0,0052	0,0099	0,0084
3.1.3.3.1.	I a	0,015	0,020	0,018
3.1.4.3.1.	I b	0,00065	0,0060	0,0046
3.3.3.2.3.	IV b	—	0,031	0,021
3.2.2.2.1.	II c	0,0013	0,0095	0,0048
3.2.2.3.1.	II c	0,0006	0,0046	0,00031
3.4.2.3.1.	II c	0,0027	0,023	0,0054
3.5.4.4.1.	II c	0,0013	0,0018	0,0013
3.3.3.4.1.	II b	0,035	0,059	0,040
3.4.2.5.1.	II b	0,0083	0,029	0,011
3.1.3.8.2.	I a	0,0001	0,0066	0,0031
3.4.1.8.1.	I a	0,0011	0,015	0,0035
3.2.1.4.1.	IV c	0,0001	0,0046	0,0074
3.4.1.9.2.	IV c	0,0001	0,0025	0,0059
3.4.1.9.3.	IV c	—	0,0032	0,014



Ryc. 1. Zależność współczynnika dosiadańia ( $i_d$ ) utworów lessowych od ich wilgotności naturalnej.

Fig. 1. Interrelation between the macroporosity coefficient ( $i_d$ ) of less deposits and their natural humidity



Ryc. 2. Charakterystyczne krzywe dosiadańia utworów lessowych w czasie.

Lokalizacja próbki 3.3.5.1.1.

Fig. 2. Characteristic curves of secondary settlement of loess deposits, in time.

Location of the sample 3.3.5.1.1

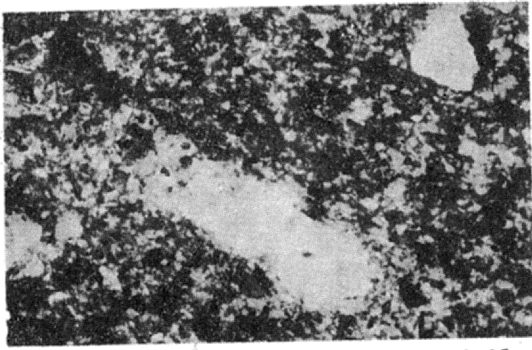
poziłom i reprezentowane przez gliny pylaste, bezwapienne o teksturze smugowo-bezładnej o zawartości frakcji ilowej do 18,75% są utworami, w których dość daleko postąpił proces diagenety, a zatem są one odmiennie wykształcone, niż utwory lessowe o teksturach bezładnych reprezentowanych przez podtyp Ia, a które dość często określane bywają jako tzw. lessy „typowe”.

W utworach tych obserwuje się ich wysokie skompresowanie i aby zniszczyć wiązania między cząstkami niezbędne jest wywarcie większego obciążenia, a im jest większe obciążenie, tym silniej może zaznaczyć się wpływ wody na teksturę. W tej sytuacji, wykazują one tekstury trwałe z jednej strony, z drugiej natomiast wzrost współczynnika dosiadańia ze wzrostem obciążenia.

Jak więc z powyższego wynika przy badaniach oraz prognozie zachowania danego utworu lessowego pod wpływem nasycenia wodą należy uwzględnić każdorazowo poza innymi czynnikami, również typ litologiczny oraz poziom stratygraficzny.

Nawiązując do danych z literatury, co do zależności między „i” oraz „o” należy stwierdzić, że J. M. Ablelew (1) w swojej pracy (ryc. 42) przedstawia wykres zależności współczynnika makroporowatości w jego nomenklaturze od nacisku. Z wykresu tego wynika, że maksimum wartości osiąga współczynnik makroporowatości w przedziale obciążeń od 3–4 kG/cm<sup>2</sup>, a powyżej i poniżej obciążenia maleje.

M. N. Troicka (14) twierdzi również, że wielkość dosiadańia zależy od nacisku, przy czym zmniejsza



Ryc. 3. Tekstura naturalna utworu lessowego (widoczne duże makropory). Pow. 100 ×.

Fig. 3. Natural structure of a loess deposit (large macropores are visible). Enl. × 100

się zarówno przy jego zmniejszaniu, jak i przy zwiększaniu.

Bezpośrednio z wielkością dosiadań wiąże się zagadnienie wilgotności badanych gruntów. Tak więc na podstawie analizy zależności między wilgotnością naturalną a wielkością współczynnika dosiadań, przeprowadzoną na podstawie własnych badań autora oraz wyników cytowanych przez M. Kolasę (7) i J. Malinowskiego (12) (ryc. 1), stwierdzono generalnie, że główny obszar występowania próbek da się opisać dwoma równoległymi prostymi, przecinającymi linię graniczną obu typów tekstur w punktach odpowiadających 6% wilgotności naturalnej oraz 19% wilgotności naturalnej. Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że próbki o wilgotnościach naturalnych do 6% występują tylko w przedziale tekstur nietrwałych, w przedziale 6%–19% występują zarówno tekstury trwałe, jak i nietrwałe, natomiast powyżej 19% stwierdzono istnienie tylko tekstur trwałych.

Tak więc przy wstępnej ocenie wrażliwości strukturalno-teksturalnej utworów lessów, występujących na danym terenie, można by w pewnych przypadkach na podstawie tylko znajomości wilgotności naturalnej, dojść do wniosku z jakim typem tekstury mamy do czynienia, ewentualnie podkreślić konieczność badań laboratoryjnych w przypadku stwierdzenia, że ich wilgotność naturalna zawarta jest w przedziale 6%–19%.

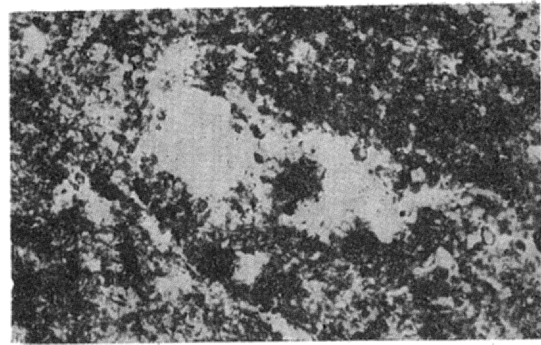
Interesujące są również rezultaty badań, dotyczące przebiegu procesu dosiadań w czasie. Analizowane wyniki oparte są o metodę badania dosiadań do momentu pełnej konsolidacji próbek nasyconych wodą pod obciążeniem 2,0 oraz 3,0 kG/cm<sup>2</sup> i to zarówno o teksturze trwałej, jak i nietrwałej, reprezentowanych przez różne typy litologiczne, pochodzące z różnych poziomów stratygraficznych. Dokonane obserwacje uwzględniły badania szybkości dosiadań po upływie 1', 2', 5', 15', 30', 1h, 2h, 4h, 6h i 24h od momentu doprowadzenia wody do próbki. W wyniku badań próbek obciążonych 3,0 kG/cm<sup>2</sup> stwierdzono:

1) próbki o teksturze nietrwałej w czasie do 5 min. osiągają 60–88,4% wartości całkowitego dosiadań, natomiast próbki o teksturze trwałej 6,25–77%;

2) próbki o teksturze nietrwałej w czasie do 30 min. osiągają 67,8–89,5% wartości całkowitego dosiadań, natomiast o teksturze trwałej 30–87,5%;

3) próbki o teksturze nietrwałej w czasie 6 godz. osiągają 90–98,6% wartości całkowitego dosiadań, natomiast o teksturze trwałej 89,4–96%.

Jak wynika z przedstawionych danych próbki o teksturze nietrwałej dosiadają ogólnie biorąc w tym samym przedziale czasu szybciej niż próbki o teksturach trwałych. Na podstawie przedstawionych wyników należy również podkreślić, że proces dosiadań w przypadku badania utworów lessowych praktycznie zachodzi do końca w okresie do 6 godz., osiągając wartości powyżej 90% całkowitego dosiadań próbki (ryc. 2).



Ryc. 4. Tekstura utworu lessowego obciążonego do 3,0 kG/cm<sup>2</sup> i całkowicie nasyconego wodą (widoczne makropory). Pow. 100 ×.

Fig. 4. Structure of a loess deposit loaded to 3,0 kg/cm<sup>2</sup> and completely water-saturated (macrospores are visible). Enl. × 100

W tej więc sytuacji wydaje się, że można by z góry przyjąć w badaniach dosiadań dla celów praktycznych metodę przyspieszoną, przyjmując czas 6 godzin jako czas wystarczający na uzyskanie praktycznie całkowitej wielkości dosiadań, zamiast dokonywać odczyty do całkowitej wartości teoretycznego dosiadań, co najczęściej osiągane bywa dla utworów lessowych po upływie 24 godzin.

Warto tu jeszcze podkreślić, że podobnie układają się procentowe wielkości dosiadań dla poszczególnych odstępów czasu w stosunku do całkowicie skonsolidowanych próbek po upływie 24 godzin, w przypadku próbek nasyconych wodą pod obciążeniem 2,0 kG/cm<sup>2</sup>.

W zakończeniu autor pragnie podzielić się wynikami bezpośrednich obserwacji, dotyczących zmian teksturalnych zachodzących w próbkach utworów lessowych (subaeralnych) Polski SE, pod wpływem całkowitego nasycenia ich wodą. Obserwacje te zostały przeprowadzone na podstawie metody płytek cienkich wykonanych dla trzech wariantów próbek:

1) dla próbek utworów lessowych o nienaruszonej strukturze,

2) dla odpowiadających im próbek, ale obciążonych stopniami do 3,0 kG/cm<sup>2</sup>, a następnie nasyconych wodą,

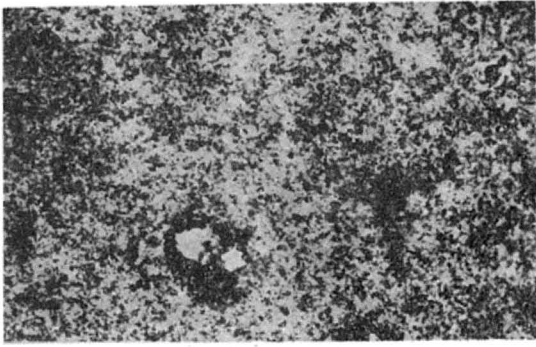
3) dla próbek obciążonych stopniami do 3,0 kG/cm<sup>2</sup>, nasyconych wodą, a następnie obciążonych do 4,0 kG/cm<sup>2</sup>, odciążonych do 0,125 kG/cm<sup>2</sup>, obciążonych do 6,0 kG/cm<sup>2</sup>, znów odciążonych do 0,125 kG/cm<sup>2</sup> i ponownie obciążonych do 6,0 kG/cm<sup>2</sup>, tzn. do momentu całkowitego skompresowania próbek. Próbki te we wszystkich trzech przypadkach zostały pod pompą próżniową nasycone roztworem celulozoidu rozpuszczonego w acetonie, następnie gotowane w roztworze balsamu kanadyjskiego rozpuszczonego w ksylenie, a wreszcie po wystudzeniu wykonano z nich płytki cienkie. Analiza płytek cienkich oraz ich fotografii pozwalała na dokonanie następujących obserwacji:

1.1. We wszystkich płytkach cienkich o nienaruszonej strukturze obserwuje się istnienie makropor o przekrojach zbliżonych do okrągłych, elipsoidalnych oraz nieregularnie szczelinowatych, bezładnie rozmieszczonych w polu widzenia (ryc. 3).

2.1. W próbkach obu typów teksturalnych obciążonych do 3,0 kG/cm<sup>2</sup>, a następnie nasyconych wodą obserwuje się również (w płytkach cienkich) istnienie makropor w ilościach oraz kształtach zbliżonych do wyżej omówionych typów próbek (ryc. 4).

3.1. W próbkach nasyconych wodą, a następnie skompresowanych zdecydowana większość makropor zanika, a próbka daje obraz zagęszczonej masy i to zarówno w przypadku próbek o teksturze trwałej, jak i nietrwałej.

3.1.1. Z obserwowanych w płytkach cienkich makropor obecne są tylko niewielkie, nieliczne makropory o przekrojach zbliżonych do okrągłych. Nie obserwuje się natomiast makropor o przekroju elipsoidalnym oraz nieregularnie szczelinowatym. Te ostatnie niewątpliwie ulegają zniszczeniu, bądź rozczłonkowaniu. Fakt ten niewątpliwie wiąże się z trwałością



Ryc. 5. Tekstura utworu lessowego nasyczonego wodą i całkowicie skompresowanego (widoczne niewielkie makropory). Pow. 100 ×.

Fig. 5. Structure of a loess deposit saturated with water and completely compressed (small macropores are visible). Enl. × 100

ścianek makropor, wskazując na zależność między kształtem makropor a ich trwałością. Wydłużone szczelinowate makropory łatwiej ulegają zniszczeniu, niż makropory o kształcie kulistym (ryc. 5).

Cytowane ryciny przykładowo przedstawiają utwór lessowy (podtyp Ia) o teksturze nietrwalej, dla którego przeprowadzono badania według trzech wyżej wymienionych wariantów.

Obserwując ilość oraz kształt makropor zarówno w próbkach o teksturze trwałej, jak i nietrwalej, oraz stopień zanikania ich po nasyceniu wodą pod obciążeniem 3,0 kG/cm<sup>2</sup> w obu typach tekstur, można dojść do wniosku, że sama obecność makropor nie odgrywa większej roli w procesie dosiadczenia, a na wielkość jego w głównej mierze składa się ogólna porowatość, wilgotność oraz strukturalno-teksturalny charakter badanego gruntu. W świetle tych faktów tym bardziej nie powinno się stosować terminu „współczynnik makroporowatości”, wprowadzonego przez normy (PN-58/B-04495).

Podsumowując krótko przedstawione wyniki badań należy stwierdzić:

1. Na podstawie badań współczynnika dosiadczenia ( $i_d$ ) metodą jednej krzywej pod różnymi obciążeniami stwierdzono, że wartość jego przy obciążeniu 2,0 kG/cm<sup>2</sup> jest wyższa, niż przy 3,0 kG/cm<sup>2</sup> i w związku z tym należałoby go obliczać dla próbek obciążonych 2,0 kG/cm<sup>2</sup>, co powinny również uwzględnić normy, zachowując przy tym graniczną wartość „ $i_d$ ” (0,02) jako wartość określającą trwałość strukturalno-teksturalną badanych gruntów lessowych.

2. Przy wstępnej ocenie wrażliwości strukturalno-teksturalnej utworów lessowych, za grunty o teksturach nietrwalej można uznać te, których wilgotności naturalne są mniejsze niż 6%, a za grunty o teksturach trwałych te, których wilgotności naturalne są wyższe od 19%. Grunty o wilgotnościach 6–19% mogą reprezentować oba typy tekstur.

#### SUMMARY

The article presents an analysis of magnitude of macroporosity coefficient, made on the results of laboratory examination. The author comes to a conclusion that for the requirements of land constructions made on the loess deposits, the macroporosity coefficient should be determined under an overburden amounting to 2,0 kG/cm<sup>2</sup>, and not 3,0 kG/cm<sup>2</sup> as previously.

In addition, the author presents a proposal concerning a quantitative estimation of structural sensitivity of loess deposits and suggests to introduce 6-hour time in laboratory examination, as sufficient for obtaining the total magnitude of macroporosity.

Moreover, the author has demonstrated that the presence of macropores does not play greater part in the proces of contraction because this latter is influenced mainly by general porosity, humidity and textural-structural character of the ground in study.

3. Na podstawie metody badania dosiadczenia do momentu pełnej konsolidacji próbki stwierdzono, że po upływie 6 godzin od chwili doprowadzenia wody próbka praktycznie ulega pełnej konsolidacji. Tak więc proponuje się obliczać wartość współczynnika dosiadczenia metodą przyspieszoną, co pozwala na uzyskanie wyników z wystarczającą dla praktyki dokładnością.

4. Na podstawie metody płytek cienkich wykonanych dla utworów lessowych o teksturach naturalnych oraz obciążonych do 3,0 kG/cm<sup>2</sup> i nasyconych wodą stwierdza się, że obecność makropor nie odgrywa większej roli w procesie dosiadczenia, a więc głównym czynnikiem wpływającym na tę wielkość jest ogólna porowatość, wilgotność oraz strukturalno-teksturalny charakter badanego gruntu. Zanik znacznej większości makropor następuje natomiast w próbkach nasyconych wodą, a następnie obciążonych do momentu uzyskania całkowitej konsolidacji.

#### LITERATURA

1. Abielew J.M. — Osnovy projektirovaniya i stroitelstva na makroporistych gruntach. 1948.
2. Denisov N.J. — Stroitelnyje svojstva lessa i lessowidnych suglinkow. Moskwa 1951.
3. Grabowska B. — Stroitelnyje svojstva sandmirskich lessow. Dokl. Mieżwuz Naucznoy Konferencji. Woroneż 1961.
4. Grabowska B. — Korelacja pozycji stratygraficznej lessów i ich własności inżyniersko-geologicznych w profilu Gołębic. Prz. geol. 1961, nr 5.
5. Grabowska-Olszewska B. — Własności fizyczno-mechaniczne utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej, na tle ich litologii i stratygrafii oraz warunków występowania. Biul. Geol. UW, t. 3, Warszawa 1963.
6. Grabowska-Olszewska B. — Minerale ilowe świętokrzyskich utworów lessowych. Prz. geol. 1964, nr 9.
7. Kolasa M. — Geotechniczne własności lessów okolicy Krakowa. Warszawa 1963.
8. Kowalski W.C. — Osiadanie dodatkowe mad wiślanych. Arch. Hydrot. t. V, z. 4, Warszawa 1958.
9. Litwinow I.M. — Issledowanija gruntow w polewnych usłowijach. Moskwa 1954.
10. Larionow A. K., Priklonński W. A., Ananiew W.P. — Lessoweje porody i ich stroitelnyje svojstva. Moskwa 1959.
11. Malinowski J. — Uwagi o współczynniku makroporowatości lessów w Polsce. IG. Biul. 182 (Z Badań geologiczno-inżynierskich w Polsce) t. II, Warszawa 1963.
12. Malinowski J. — Budowa geologiczna i własności geotechniczne lessów Roztocza i Kotliny Zamojskiej między Szczepczeszynem i Turobinem. IG. Prace, T. XLI, Warszawa 1964.
13. Priklonński W. A. — Gruntowiedienije. Cz. 2, 1952.
14. Troicka M.N. — Posobie k laboratornym rabotam po mechanike gruntow. Moskwa 1961.

#### РЕЗЮМЕ

В статье анализируется величина коэффициента просадки (макропористости) по данным лабораторных работ. Автор приходит к выводу, что для нужд наземного строительства коэффициент просадки следует определять при нагрузке 2,0 кГ/см<sup>2</sup>, а не при 3,0 кГ/см<sup>2</sup>, как это производилось до сих пор.

Кроме того, автор делает заключение, что при лабораторной оценке текстурной восприимчивости лёссовых пород время 6 часов является достаточным для получения практически полной величины просадки.

Доказывается, что макropоры не имеют существенного значения в процессе просадки, величина которой зависит, главным образом, от общей пористости, влажности и структурно-текстурного характера исследуемого грунта.