

WPŁYW LITOGENEZY NA FIZYCZNO-MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI LESSÓW OKREŚLANE METODAMI POŁOWYMI

UKD 624.131.23:624.131.3/.7(438-13)

Utwory lessowe w Polsce stanowią jeden z ważniejszych problemów geologiczno-inżynierskich, ze względu na występowanie ich na znacznych obszarach (ok. 19,5 tys. km²). Występują one wyłącznie w południowej części Polski (ryc. 1), gdzie są rozmieszczone dysjunktywnie, w formie płatów różnej wielkości. Lessy jako podłoże budowlane wymagają szczegółowych badań, ze względu na swoje specyficzne właściwości, z których najważniejsza jest zdolność do osiadania zapadowego. Proces ten, polegający na szybkiej zmianie objętości pod wpływem działania określonego stanu naprężeń, przy jednoczesnym nasycaniu porów wodą, stanowi przedmiot dociekań wielu autorów (5, 7, 6, 1). Również w Polsce prowadzono szerokie badania w tym kierunku. Monograficzne ujęcie geologiczno-inżynierskie tych prac podał J. Malinowski (9). Dotychczas właściwości fizyczno-mechaniczne lessów charakteryzowano na podstawie badań laboratoryjnych, ze szczególnym wykorzystaniem edometrów, a ostatnio także aparatu trójosiowego ściskania (1).

Ze względu na metastabilną strukturę oraz wysoką pylastość utworów lessowych badanie ich w laboratorium nastręcza dużo trudności. W związku z tym podjęto próby oceny właściwości fizyczno-mechanicznych lessów w warunkach *in situ*, za pomocą różnych metod polowych (4). Prace badawcze ukierunkowano na uściślenie zasad wydzielania lessów charakteryzujących się strukturą nietrwałą. W artykule przedstawiono — na wybranych przykładach — wyniki badań utworów lessowych metodami polowymi.

Badaniami objęto lessy południowej i południowo-wschodniej Polski. Szczegółową lokalizację rejonów badań przedstawiono na ryc. 1. Dla poszczególnych regionów występowania lessów opracowano podziały stratygraficzne, które można między sobą skorelować, gdyż jako podstawowe wskaźniki stratygraficzne są ogólnie przyjmowane poziomy gład kopalnych. Dla niniejszego opracowania przyjęto podział stratygraficzny zaproponowany przez H. Maruszczaka (10) dla Polski południowo-wschodniej, z którym paralelizowano profile z innych regionów, opracowane przez różnych autorów. Ogólnie wydzielono lessy młodsze, które należy wiązać ze zlodowaceniem północnopolskim i lessy starsze, związane ze zlodowaceniem środkowopolskim.

Litogenetyczny podział lessów pozwala na wyróżnienie 3 podstawowych typów, z uwzględnieniem przede wszystkim następujących cech: uziarnienie, porowatość ogólna, tekstura, wapnistość i barwa. Podział na typy jest następujący:

typ I — utwory lessowe o teksturze beładnej, nie zwiertzałe, o zawartości węglanów powyżej 6,5% CaCO₃, a dochodzącej do 16–18%, zawartości tlenków żelaza około 1,8%, zawartości frakcji iłowej (< 0,002 mm) poniżej 10%, o porowatości naturalnej > 39%, barwie jasnożółtej do szarożółtej;

typ II — utwory lessowe o teksturze smugowo-beładnej, o zawartości węglanów poniżej 6% CaCO₃, zawartości frakcji iłowej powyżej 10%, barwie jasno-brunatnej, o porowatości naturalnej 35–40%;

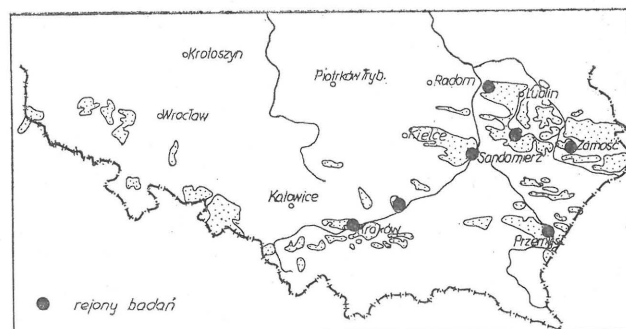
typ III — utwory lessowe o teksturze smugowej, porowatości naturalnej poniżej 36%, barwie brunatnej, o zwiększonej zawartości tlenków żelaza, wapnistości poniżej 6% CaCO₃ lub bezwapniowych.

Znaczne zróżnicowanie lessów w badanych rejonach umożliwiło przeprowadzenie dokładniejszych wydzielen, które miałyby znaczenie dla geologii inżynierskiej. Utwory lessowe typu I pod względem stratygraficznym najczęściej można było zaliczyć do lessów młodszych górnych (10), które mają duże rozprzestrzenienie i znaczną miąższość.

Do oceny właściwości fizycznych i mechanicznych lessów zastosowano metody radiometryczne, presjometr, sondę obrotową i sondę wciskaną. Za pomocą metod radiometrycznych wyznaczono wartości gęstości objętościowej (metoda gamma-gamma) i wilgotności objętościowej (metoda neutron-neutron) stosując sondę uniwersalną (2). Układ trójelektrodowy zastosowany w tej sondzie umożliwił pomiar elektrycznego oporu właściwego. Wymienione parametry określano co 0,2 m do głęb. ok. 10–12 m. Obliczono również wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, wilgotności naturalnej, stopnia wilgotności i wskaźnika porowatości. W badaniach presjometrycznych zastosowano presjometr L. Menarda. Pomiar przeprowadzano w otworach wiertniczych o średnicy 60–62 mm zgodnie z zasadami L. Menarda (11). Wyniki pomiarów zinterpretowano metodą tzw. objętości względnych (12), określając moduł presjometryczny, presjometryczne naprężenie graniczne i naprężenie pełzania.

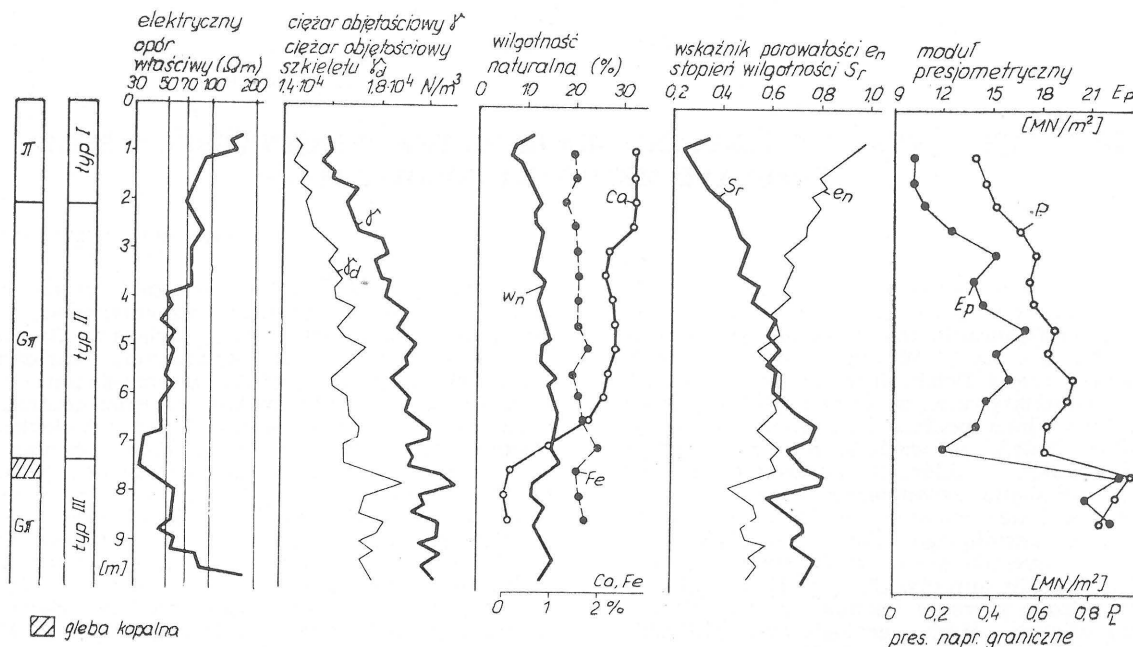
Statyczne sondowania w lessach wykonano ręczną sondą wciskaną firmy Borros (udźwig 4 t) z końcówką stożkową o średnicy 35,6 mm. W badaniach polowych rejestrowano jedynie w sposób ciągły (na samopisie) zmianę wartości oporu na stożku sondy wciskanej z głębokością. Badania wartości wytrzymałości na ściskanie lessów określono sondą obrotową. Zastosowana prototypowa aparatura umożliwiła przeprowadzenie pomiarów z prędkością 5°/min oraz na całkowitą eliminację tarcia gruntu o żerdzie. Pomiar wykonywano końcówką krzyżakową o średnicy 40 mm, wysokości 80 mm i grubości skrzydełek 1,2 mm. Próbkę lessów do badań laboratoryjnych pobierano z wykopów i otworów wiertniczych o naruszonej i nienaruszonej strukturze. Stosowano cylindry cienkościennie o grubości ścianek 1,0 mm, gdyż tylko takie umożliwiają pobieranie próbek o nienaruszonej strukturze.

Badania lessów przeprowadzone za pomocą omówionych metod polowych, jak i laboratoryjnych wykazały, że utwory te charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem właściwości zarówno w poziomie, jak i w pionie. Różnice występują nie tylko w układzie regionalnym, ale również w profilach położonych w niewielkich odległościach. Analiza profili w połączeniu z opisem geologicznym pomaga wyjaśnić niektóre różnice, jednak nie w pełni. Tak więc zakresy



Ryc. 1. Występowanie lessu w Polsce wg mapy geologicznej 1:2 mln E. Rühlego i J. Mojskiego.

Fig. 1. Distribution of loess in Poland (according to geological map of E. Rühle nad J. Mojski in the scale 1:2 000 000).



Ryc. 2. Kompleksowe badania lessów za pomocą sondy uniwersalnej i presjometru.

Fig. 2. Complex studies of loesses with the use of universal sound and pressurometer.

zmienności wartości cech fizyczno-mechanicznych lessów występują w szerokich granicach. Zmiany cech lessów z głębokością przedstawiono na przykładzie jednego z punktów badawczych (ryc. 2). Uściśnienie przedziałów zmienności wartości cech geotechnicznych umożliwiając w pewnym zakresie wydzielone typy. W tabeli przedstawiono wartości podstawowych cech litogenetycznych i fizyczno-mechanicznych dla wydzielonych trzech typów.

Z przedstawionych w tabeli danych wynika, że zmienność wartości różnych cech w obrębie poszczególnych warstw występuje często w szerokich granicach. Należy jednak podkreślić, że cechy fizyczno-mechaniczne dość dobrze opisują wydzielone typy, wskazując na istotne różnice między nimi. Również przedstawione na ryc. 3 zakresy zmienności uziarnienia lessów dla wydzielonych typów potwierdzają ich odmienną. Rozkład wartości modułów presjometrycznych E_p , z podziałem na typy, przedstawiono w formie histogramu na ryc. 4. Dla typu I 66,3% wartości E_p znajdują się w przedziale 8,0–14,0 MN/m², dla typu II 83,8% wartości E_p w granicach 12,0–28,0 MN/m². Szczególnie typ I wyróżnia się odmiennymi właściwościami od pozostałych dwóch typów. Analizowane wyniki otrzymano z badań presjometrycznych wykonanych w lessach o stopniu wilgotności $< 0,7$.

Stosunek modułu presjometrycznego E_p do presjometrycznego naprężenia granicznego P_L jest uznawany przez L. Menarda (11) jako parametr charakteryzujący badany grunt. Można na jego podstawie wnioskować o genezie, wytrzymałości i historii obciążeń gruntów. W badanych lessach wartości stosunku E_p/P_L zmieniają się w granicach od ok. 10 do 33 (ryc. 5) (dla typu I 14–20, dla typu II 10–26, dla typu III 10–30). Jedynie typ I ma charakterystyczny przedział wartości stosunku E_p/P_L . Szerokie zakresy zmienności wartości stosunku E_p/P_L dla typu II i III uniemożliwiają wykorzystanie tej zależności do charakterystyki utworów lessowych.

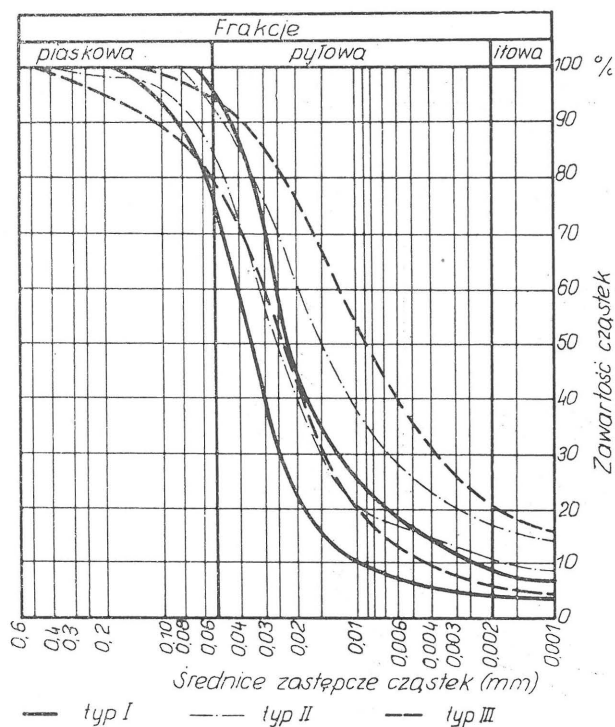
Najważniejsze cechy geologiczno-inżynierskie lessów to: metastabilna struktura, niska wilgotność, wysokie wartości wytrzymałości w warunkach wilgotności naturalnej oraz kilkakrotne obniżenie parametrów mechanicznych pod wpływem nasycenia ich wodą. Na podstawie analizy wyników badań presjometrycznych można wnosić, że parametry wytrzymałościowe lessów zależą w znacznie większym stopniu od wilgotności naturalnej niż od porowatości. Na ryc. 6 przedstawiono zależność między modułem

WARTOŚCI PODSTAWOWYCH CECH LITOGENETYCZNYCH I FIZYCZNO-MECHANICZNYCH

Cechy	Typ I	Typ II	Typ III
frakcja piaskowa %	3–27 13 (112)	5–29 12 (88)	6–18 12 (41)
frakcja pyłowa %	69–88 78 (112)	58–84 77 (88)	63–87 75 (41)
frakcja ilowa %	4–10 8 (112)	5–19 12 (88)	5–21 13 (41)
wskaźnik porowatości	0,32–1,12 0,69 (415)	0,39–0,94 0,60 (331)	0,37–0,64 0,54 (127)
węglany %	3,0–20,1 8,2 (91)	2,5–12,2 5,2 (53)	0,0–7,7 2,3 (42)
gęstość objętościowa $\times 10^4$ N/m³	1,2–2,0 1,71 (428)	1,68–2,17 1,91 (279)	1,80–2,11 1,97 (81)
gęstość objętościowa szkieletu $\times 10^4$ N/m³	1,14–1,70 1,52 (428)	1,50–1,91 1,67 (279)	1,53–1,81 1,71 (81)
wilgotność %	4,6–21,1 12,2 (428)	5,4–26,3 14,1 (279)	8,6–26,3 14,8 (81)
moduł presjometryczny MN/m²	5,3–27,0 11,6 (178)	11,0–26,5 15,9 (103)	12,4–27,5 21,0 (62)
presjometryczne naprężenie graniczne MN/m²	0,21–1,16 0,62 (178)	0,41–1,31 0,83 (103)	0,61–2,14 1,02 (62)

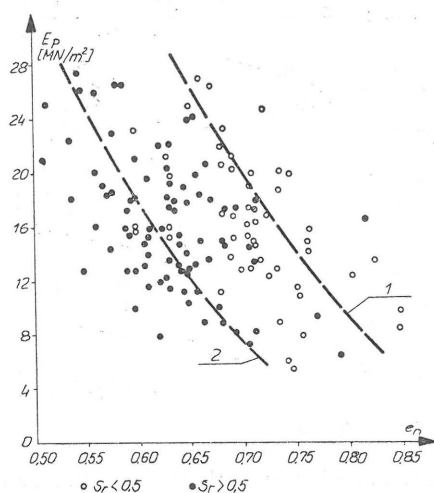
3–18 minimalna i maksymalna wartość
13 średnia wartość

(178) liczba danych



Ryc. 3. Zróżnicowanie uziarnienia lessów w poszczególnych typach.

Fig. 3. Variability in grain size distribution of various types of loesses.

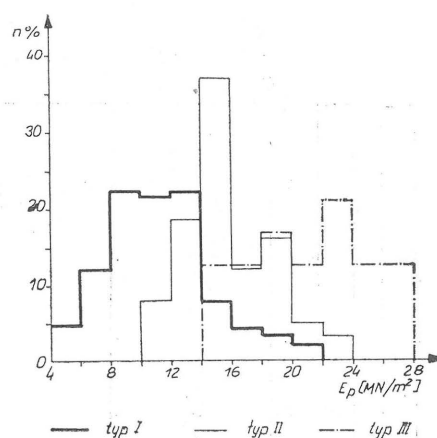


Ryc. 6. Zależność modułu presjometycznego E_p od wskaźnika porowatości e_n z uwzględnieniem stopnia wilgotności S_r .

Fig. 6. Dependence of pressiometric modulus, E_p , on porosity index, e_n , with reference to natural moisture, S_r .

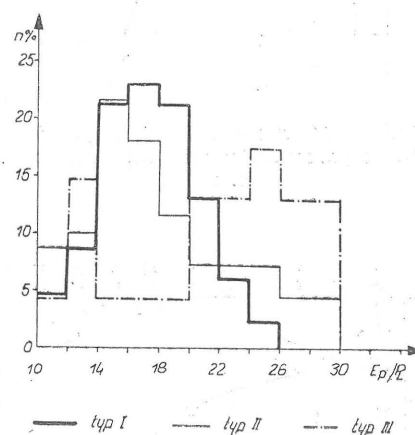
presjometycznym a wskaźnikiem porowatości, z uwzględnieniem stopnia wilgotności. Z analizy materiału wynika, że brak wyraźnego związku między modułem presjometycznym a wskaźnikiem porowatości. Można jedynie wykreślić orientacyjne krzywe przedziałem wartości modułu presjometycznego (5,0—27,0 MN/m²) jak lessy o stopniu wilgotności $S_r > 0,5$ (krzywa nr 2) i wskaźniku porowatości $e_n < 0,670$.

Tak więc w odniesieniu do lessów znajomość ogólnej porowatości jest niewystarczająca dla oceny



Ryc. 4. Histogramy wartości modułu presjometycznego E_p dla poszczególnych typów lessów.

Fig. 4. Histograms of values of pressiometric modulus, E_p , for various types of loesses.

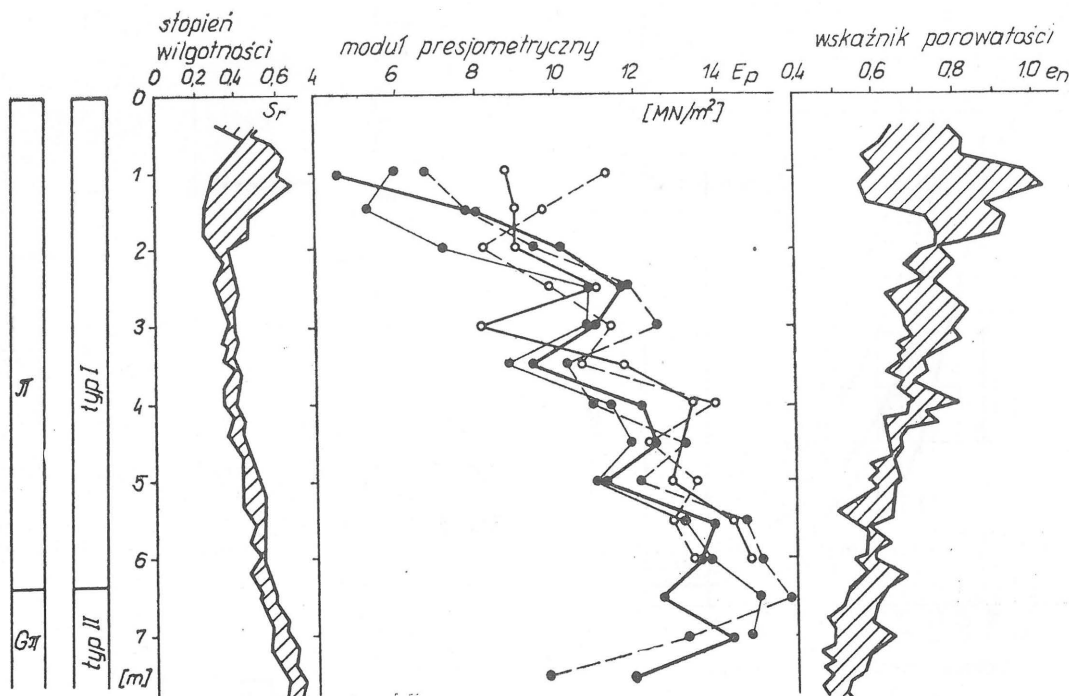


Ryc. 5. Histogramy wartości stosunku E_p/P_L dla poszczególnych typów lessów.

Fig. 5. Histograms of values of the E_p/P_L ratio for various types of loesses.

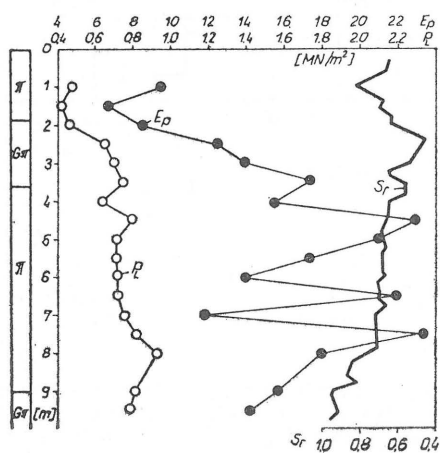
właściwości mechanicznych. Konieczne jest uwzględnienie dodatkowych parametrów, np. przy ocenie trwałości struktury lessów wykorzystano połączenie dwóch cech: wskaźnika porowatości i stopnia wilgotności, co przedstawiono w dalszej części artykułu. Charakterystyczne jest również zjawisko występowania wysokiej porowatości dla badanych lessów przy stopniu wilgotności $S_r < 0,5$. Innym przykładem wpływu wilgotności na wartości modułu presjometycznego są badania wykonane w pięciu otworach oddalonych od siebie o kilkanaście metrów. W badanym profilu występowały pyły.

Na ryc. 7 przedstawiono zmianę wartości modułu presjometycznego E_p , wskaźnika porowatości e_n i stopnia wilgotności S_r . Porowatość maleje równomiernie z głębokością, natomiast wartości modułu presjometycznego wzrastają szybko do głęb. 3,0 m, poniżej zaś do głęb. 6,5 m wzrastają wolniej. Stopień wilgotności do głęb. 6,0 m jest poniżej wartości 0,6. Wzrost wilgotności $S_r > 0,6$ powoduje obniżenie wartości E_p , co w badanych punktach zaznacza się dopiero na głęb. 7,0 i 7,5 m. Znaczny rozrzut wartości E_p występuje na głęb. 1,0 i 1,5 m, na których obserwuje się także znaczną zmienność wartości stopnia wilgotności i wskaźnika porowatości. Badania w innych punktach potwierdziły zmniejszanie się wartości parametrów mechanicznych dopiero przy stopniu wilgotności wyższym od 0,6. Nie stwierdzono wpływu zawartości węglanów i tlenków żelaza na wytrzymałość badanych lessów, mimo występowania



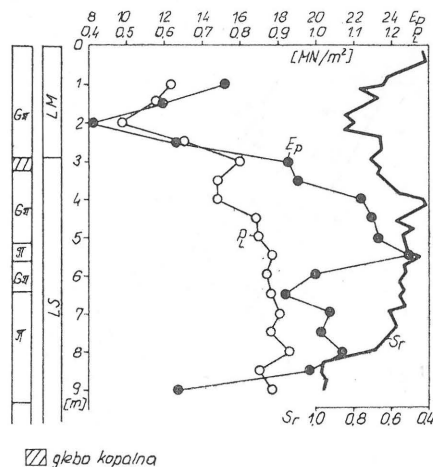
Ryc. 7. Zmienność wartości modułu presjometrycznego, wskaźnika porowatości i stopnia wilgotności z głębokością.

Fig. 7. Variability in value of pressiometric modulus, porosity index and degree of natural moisture along with depth.



Ryc. 8. Zmienność wartości modułu presjometrycznego E_p i presjometrycznego naprężenia granicznego P_L z głębokością.

Fig. 8. Variability in value of pressiometric modulus, E_p , and limit pressiometric stress, P_L , along with depth.



Ryc. 9. Zmienność wartości modułu presjometrycznego E_p i presjometrycznego naprężenia granicznego P_L w lessach młodszych LM i starszych LS.

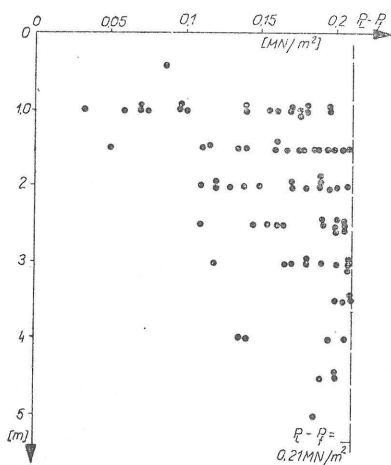
Fig. 9. Variability in value of pressiometric modulus, E_p , and limit pressiometric stress, P_L , in younger (LM) and older (LS) loesses.

w niektórych punktach znacznych ilości tych związków. Brak wpływu węglanów na własności mechaniczne lessów podkreśla również wielu autorów, m. in. G. Egri (6), B. Grabowska-Olszewska (8).

Wpływ struktury i tekstury lessów na cechy mechaniczne wykazały także badania presjometryczne. Stwierdzono duży przedział wartości modułu presjometrycznego E_p (faza pseudosprężysta badania), przy znacznie mniejszym zróżnicowaniu wartości presjometrycznego naprężenia granicznego P_L , które określone jest w fazie odkształceń plastycznych w momencie złamania struktury gruntu (ryc. 8). Z przeprowadzonych badań wynika, że w starszych poziomach stratygraficznych parametry mechaniczne są wyższe niż w lessach młodszych (ryc. 9).

KRYTERIA OCENY OSIADANIA ZAPADOWEGO LESSÓW NA PODSTAWIE BADAŃ TERENOWYCH

Przy większości dotychczasowych kryteriów oceny struktury nietrwałych lessów wykorzystuje się właściwości fizyczne. Uwzględniona jest przede wszystkim plastyczność utworów lessowych (kryterium Denisowa, Prikońskiego, wg SNiP II B 1962, Fedy, vide 7). Analiza wymienionych kryteriów wskazuje na dość istotne różnice przy ustalaniu struktury nietrwałych lessów (4). Główną przyczyną rozbieżności tkwi w określaniu granicy płynności i plastyczności lessów, gdyż utwory te zawierają nieznaczny procent frakcji ilowej, natomiast znaczny udział frakcji pyłowej. Analiza kompleksowych badań utworów lessowych



Ryc. 10. Zmienność wartości P_L-P_f z głębokością.
Fig. 10. Variability in P_L-P_f values along with depth.

zaliczonych do typu I wykazała, że istnieją możliwości charakteryzowania struktury nieatrwałej lessów za pomocą badań presjometycznych i pomiarów radiometrycznych. Przeprowadzone badania wykazały (3), że kryterium oceny struktury nieatrwałej lessu stanowi wartość różnicy między presjometycznym naprężeniem granicznym P_L a naprężeniem pełzania P_f i spełniającą następujący warunek:

$$P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$$

Należy podkreślić, że kryterium to stwierdza jedynie nieatrwałość struktury lessu, nie podaje jednak wartości wskaźnika osiadania zapadowego zgodnie z PN-74/B-O 2480. Słuszność przyjętego kryterium potwierdzono badaniami laboratoryjnymi w edometrach. Kryterium P_L-P_f pozwoliło na ocenę nieatrwałości struktury lessów z głębokością. Zależność P_L-P_f od głębokości w lessach typu I przedstawiono na ryc. 10. Widać na nim, że strukturę nieatrwałą mają lessy występujące do głęb. 3–4 m poniżej powierzchni terenu.

Na podstawie cech fizycznych: stopnia wilgotności S_r i wskaźnika porowatości e_n podano orientacyjne kryterium oceny struktury nieatrwałej lessów typu I (3). Przy ustalaniu tego kryterium punktem wyjścia były prace G. Egri (6), określające związek między S_r , e_n i wskaźnikami makroporowatości i_m . Badania wykazały, że less może mieć strukturę nieatrwałą jeśli:

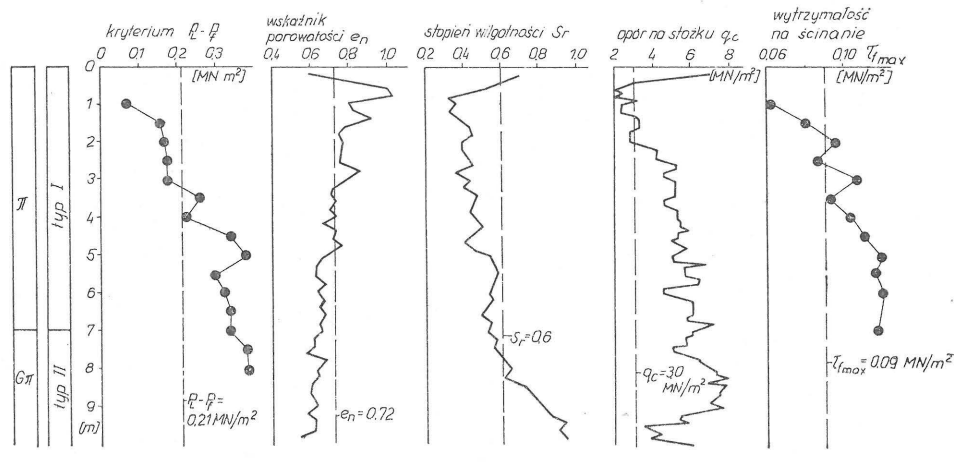
$$S_r < 0,60$$

i

$$e_n > 0,72.$$

Podjęto również próby oceny struktury nieatrwałej lessów za pomocą sondy obrotowej i sondy wciskanej. Przez analogię z określeniem wrażliwości strukturalnej gruntów spoistych nasyconych (stosunek wytrzymałości na ścinanie gruntu o nienaruszonej strukturze do wytrzymałości na ścinanie gruntu o zniszczonej strukturze) określano sondą obrotową stosunek maksymalnej do minimalnej wytrzymałości na ścinanie (po 6 pełnych obrotów końcówki krzyżakowej). Duże zróżnicowanie wartości uniemożliwiło wykorzystanie tego stosunku do oceny struktury nieatrwałej lessów.

Z badań porównawczych maksymalnej wytrzymałości na ścinanie τ_{fmax} lessów z wskaźnikami (P_L-P_f) wynika, że wartość $\tau_{fmax} < 0,09 \text{ MN/m}^2$ może być pewnym wskaźnikiem oceny struktury nieatrwałej lessów. Sondowania sondą wciskaną wykonano w punkcie, gdzie stwierdzono występowanie lessów o strukturze nieatrwałej (kryterium P_L-P_f). Zebrane dane wskazują, że wartości oporu na stożku q_c



Ryc. 11. Związek między kryteriami oceny struktury nieatrwałej lessów.

Fig. 11. Relationship between criteria of evaluation of collapsing loess structure.

mniejsze niż $3,0 \text{ MN/m}^2$ mogą stanowić pewną orientację o możliwości wystąpienia lessów o strukturze nieatrwałej. Związek między omówionymi kryteriami oceny struktury nieatrwałej lessu przedstawiono na ryc. 11.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone prace umożliwiły wydzielenie — na podstawie cech litogenetycznych — w badanych lessach trzech podstawowych typów, które scharakteryzowano parametrami fizyczno-mechanicznymi.
2. Polowe metody badań mogą znaleźć szerokie zastosowanie w badaniach geologiczno-inżynierskich. Największą przydatność mają badania presjometryczne i pomiary radiometryczne.
3. Na podstawie badań presjometrycznych ustalono kryterium oceny struktury nieatrwałej lessów zaliczanych do typu I. Stwierdzono że różnica między presjometycznym naprężeniem granicznym P_L a naprężeniem pełzania P_f , spełniającą warunek $P_L-P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$, wskazuje na występowanie lessów o strukturze nieatrwałej. Orientacyjne kryterium oceny struktury nieatrwałej stanowią wartości stopnia wilgotności $S_r < 0,60$ i wskaźnika porowatości $e_n > 0,72$, które można określić pomiarami radiometrycznymi. Niskie wartości wytrzymałości na ścinanie $\tau_{fmax} < 0,09 \text{ MN/m}^2$ z sondy obrotowej i oporu na stożku $q_c < 3,0 \text{ MN/m}^2$ sondy wciskanej sygnalizują możliwość wystąpienia lessów o strukturze nieatrwałej.
4. Polowe metody badań właściwości fizyczno-mechanicznych lessów wykazały ich duży zakres zmienności w poszczególnych typach.
5. Na wartości cech mechanicznych lessów wpływa stopień wilgotności. Wpływ ten zaznacza się wyraźnie, gdy wartość $S_r > 0,60$.

LITERATURA

1. Audric T., Bouquier L. — Collapsing behaviour of some loess soils from Normandy. Q. J. Engng Geol. 1976, vol. 9.
2. Borowczyk M., Królikowski C. — A probe for the complex study of the physical properties of soils. Symp. „Radioisotope Instrum. in Industry and Geophysics”. Intern. Atom. Energy Vienna 1966 vol. 2.
3. Borowczyk M., Frankowski Z. — Nowe kryterium oceny osiadania zapadowego lessów na podstawie badań presjometrycznych. Inżynieria i Budownictwo 1977 nr 3.
4. Borowczyk M., Frankowski Z. — Badania geologiczno-inżynierskie lessów metodami polowymi, Arch. Inst. Geol. 1977.

5. Denisow N. Y. — Stroitielnyje swoistwa lessa i lessowidnykh suglinkow. Gosstroizdat Moskwa 1951.
6. Egri G. — Subsidence of loess and phenomena of phase movements in Dunaujvaros. Proc. 4 th Conf. on Soil Mechanics Budapest 1971.
7. Feda J. — Structural stability of subsident loess soil from Praha Dejvice. Engng Geol. 1966, nr 1.
8. Grabowska-Olszewska B. — Mikrostruktury utworów lessowych badane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM).

SUMMARY

The article presents the results of in situ investigations south Poland loesses. The physical and mechanical properties of loesses were determined using radiometric and electric methods, static sounding, vane test and Menard's pressuremeter. The variability of physico-mechanical properties with depth has been shown on the basis of the results obtained. Due consideration has been given to geologic-engineering properties of loesses in profiles showing a distinct lithologic-stratigraphical differentiation. Three horizons most important from the lithogenetic point of view have been distinguished on the basis on the following features: grain size distribution, carbonate content, total porosity texture and colour. These horizons have been characterized by selected physico-mechanical properties. The effect of various physical properties, especially natural moisture, on the strength parameters has been analyzed.

Criteria of evaluating collapsing loess defined by various methods have been discussed. It has been shown that degree of saturation below 0.6 and void ratio over 0.72 are the preliminary criteria in evaluation of collapsing of loesses. In situ investigations carried out with the use of pressuremeter gave a new, more precise criterion. The new criterion of collapsing of loesses, based on the difference between the pressuremeter limit pressure P_L and the creep pressure P_f is given by formula: $P_L - P_f \leq 0.21 \text{ MN/m}^2$ and may be obtained without laboratory tests.

- Z badań czwartorzędu w Polsce t. 18. Biul. Inst. Geol. 1976 nr 297.
9. Malinowski J. — Badania geologiczno-inżynierskie lessów. Wyd. Geol. 1971.
10. Maruszczak H. — Stratygrafia lessów Polski południowo-wschodniej. Z badań czwartorzędu w Polsce t. 18. Biul. Inst. Geol. 1976 nr 297.
11. Menard L. — Interpretation and application of pressuremeter test results D/60 — general notice. 1967.
12. Menard L. — Note theoretique concernant l'étude de la courbe pressiometrique par la méthode dite des volumes relatifs. D(22A). 1971.

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты исследований „in situ” лёссов в южной Польше. Для оценки физико-механических свойств применяются методы: радиометрические, электрические, статического зондирования, вращательного срезания и прессиометра Менарда. На основании полученных данных представлена изменчивость свойств лёссов в функции глубины. Особое внимание обращено на анализ геолого-инженерных свойств лёссов в профилях отличающихся значительной литологически-стратиграфической неоднородностью. В исследованных лёссах выделены три основных типа с точки зрения их литогенеза. Деление проведено на основании следующих свойств: зернистость, содержание карбонатов, общая пористость, текстура и цвет. Описана характеристика выделенных типов на основании избранных физико-механических параметров. Проведен анализ влияния разных физических свойств, особенно естественной влажности, на сопротивительные параметры лёссов. Рассмотрены критерии оценки нестойкой структуры лёссов, определенные разными методами. Автор констатирует, что степень влажности $< 0,6$ и показатель пористости $> 0,72$ являются ориентировочным критерием оценки нестойкой структуры лёссов. Проведенные прессиометрические исследования сделали возможным определение нового, более точного критерия оценки нестойкой структуры лёссов, который является величиной разницы между прессиометрическим предельным напряжением P_L и напряжением ползучести P_f ($P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$).