

Marian BOROWCZYK, Zbigniew FRANKOWSKI

Zmienność właściwości geotechnicznych lessów w świetle współczesnych metod badań

Przedstawiono przydatność różnych metod polowych do badań właściwości geologiczno-inżynierskich lessów. Stosowano pomiary presjometryczne oraz sondowania sondami: obrotową, wciskaną i wkręcaną. Wskazano również na potencjalne możliwości wykorzystania techniki jądrowej do określenia zawartości żelaza i wapnia. Podano nowe kryteria oceny struktury nietrwałej lessów, opracowane na podstawie wyników badań presjometrycznych i radiometrycznych.

WSTĘP

Specyficzne właściwości fizyczno-mechaniczne lessów są od wielu lat przedmiotem licznych badań litologicznych i stratygraficznych oraz geologiczno-inżynierskich. Systematyczne studia i badania lessów datują się w kraju od początku lat pięćdziesiątych. Realizowano je w ujęciu regionalnym i objęto nimi niemal wszystkie obszary występowania tych utworów w Polsce. Monograficzne ujęcie prac z punktu widzenia geologiczno-inżynierskiego podał J. Malinowski (1971). Uaktualnieniem stanu wiedzy w tym zakresie jest publikacja pod redakcją B. Grabowskiej-Olszewskiej i J.M. Siergiejewa (1977). Sprawy związane z litologią i stratygrafią lessów w Polsce były tematem sympozjów: w Lublinie w 1972 r. (Z badań czwartorzędu w Polsce, t. 18, 1976) i w Łodzi (Przewodnik Konferencji Terenowej, 1975).

Obecnie na całym świecie duży nacisk kładzie się na określanie właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów w warunkach ich naturalnego występowania — *in situ*. Znalazło to potwierdzenie w obowiązujących nowych normach polskich, między innymi w normie *Grunty budowlane, badania polowe* (PN-74/B-04452).

W niniejszym artykule przedstawiono przydatność różnych metod polowych do badań właściwości geologiczno-inżynierskich lessów. Stosowano pomiary presjometryczne oraz sondowania sondami: obrotową, wciskaną i wkręcaną. Prace te uzupełniono badaniami laboratoryjnymi próbek lessu o naruszonej i nie-naruszonej strukturze. Wskazano również na potencjalne możliwości wykorzy-

stania techniki jądrowej do określania właściwości fizycznych lessów oraz do ustalania w nich zawartości wapnia i żelaza.

Całokształt zrealizowanych prac pozwolił na stwierdzenie przydatności szybkich metod polowych do badań właściwości geotechnicznych lessów oraz ich zmienności. Wyniki badań umożliwiły uzyskanie nowych kryteriów oceny struktury nietrwałej lessów.

MIEJSCE BADAŃ

Badaniami objęto lessy południowo-wschodniej Polski – okolice Kazimierza Dolnego, Kraśnika, Izbicy, Szczepieszyna i Jarosławia (fig. 1). Dla tych rejonów H. Maruszczak (1976) opracował podział stratygraficzny lessów, przyjmując jako wskaźniki podstawowe poziomy gleb kopalnych. Ogólna miąższość lessów w miejscach badań wynosi 10–20 m. Badania metodami polowymi prowadzono średnio do głębokości 10 m poniżej powierzchni terenu. Do tej głębokości według podziału stratygraficznego H. Maruszczaka występuje: a) less młodszy górny często o znacz-

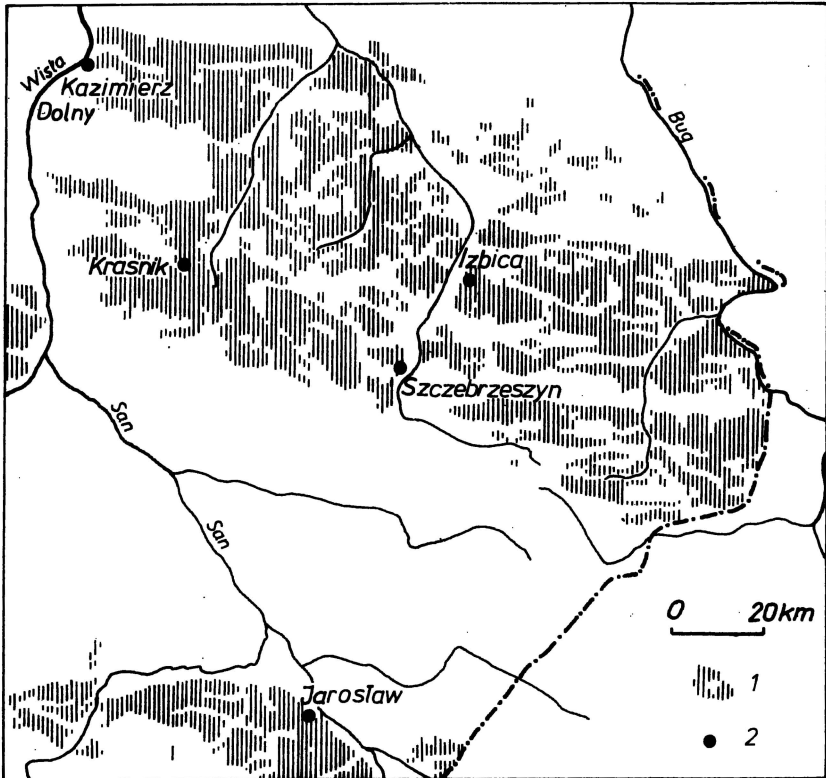


Fig. 1. Występowanie lessów w Polsce południowo-wschodniej (według E. Rühlego i M. Sokołowskiej, 1955)

Distribution of loesses in south-eastern Poland (after E. Rühle and M. Sokołowska, 1955)

1 – lessy, 2 – regiony badań

1 – loesses, 2 – studied regions

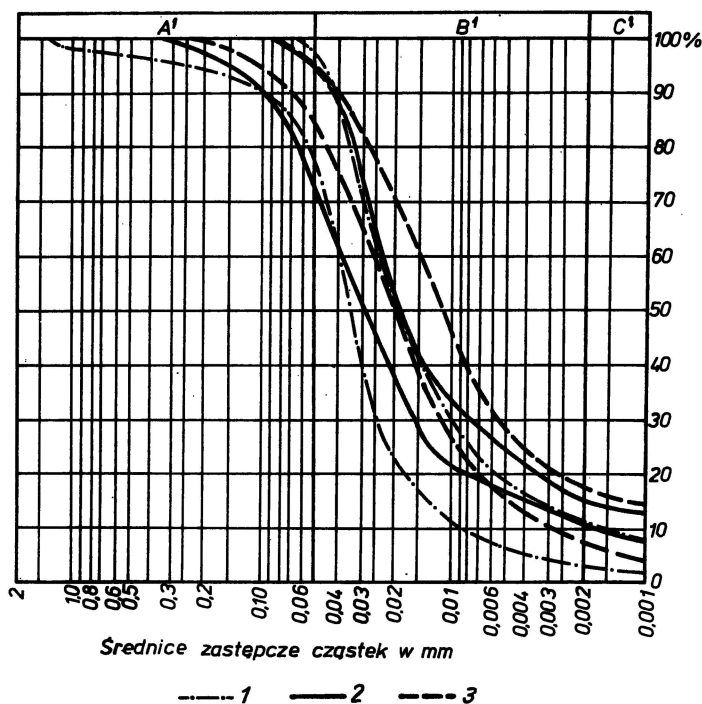


Fig. 2. Zakres zmienności uziarnienia lessów

Range of variability in grain-size distribution of loesses

1 - typ I; 2 - typ II; 3 - typ III; frakcje: A¹ - piaskowa, B¹ - pyłowa, C¹ - ilowa

1 - I type; 2 - II type; 3 - III type; fractions: A¹ - sand, B¹ - silt, C¹ - clay

nej miąższości i b) less młodszy środkowy, dolny i najniższy. Jedynie w rejonie Jarosławia na głębokości poniżej 10 m stwierdzono lessy starsze, które nie były przedmiotem szczegółowych badań.

Z punktu widzenia litogenezy badane lessy podzielono na trzy podstawowe typy, dla charakterystyki których przyjęto następujące parametry: uziarnienie, porowatość ogólną, teksturę, wapnistość i barwę (Z. Frankowski, 1978).

Typ I stanowią utwory lessowe o teksturze bezładnej, niezwiertzałe, o zawartości: węglanów $\text{CaCO}_3 > 6\%$, tlenków żelaza ok. $1,8\%$, frakcji ilowej ($< 0,002$ mm) $< 10\%$, porowatości naturalnej $> 39\%$ i barwie jasnożółtej lub szarozółtej.

Typ II to utwory lessowe o teksturze smugowo-bezładnej, zawartości: węglanów $\text{CaCO}_3 < 6\%$, frakcji ilowej $> 10\%$, porowatości naturalnej $35-40\%$ i barwie jasnobrunatnej.

Typ III stanowią utwory lessowe o teksturze smugowej i drobnowarstwowej, zawartości węglanów $\text{CaCO}_3 < 6\%$ lub bezwapniste, zwiększonej zawartości tlenków żelaza, porowatości naturalnej $< 36\%$ i barwie brunatnej.

Zakres zmienności uziarnienia w wymienionych trzech typach przedstawia fig. 2.

METODY BADAŃ

Do oceny właściwości fizyczno-mechanicznych lessów zastosowano różnorodny sprzęt polowy.

Badania presjometryczne wykonano za pomocą presjometru L. Menarda – typ G, średnica sondy 60 mm. Pomiary przeprowadzono w otworach wiertniczych o średnicy ok. 62 mm według zasad podanych przez L. Menarda (1967). Interpretację wyników pomiarów wykonano metodą tzw. objętości względnych (L. Menard, 1971), określając moduł presjometryczny (E_p), presjometryczne naprężenia graniczne (P_L) i naprężenie pełzania (P_f).

Sondowania statyczne przeprowadzono ręcznym penetrometrem firmy BORROS (udźwąg 4T) z końcówką stożkową o średnicy 35,6 mm. Rejestrowano w sposób ciągły na samopisie zmianę oporu na stożku penetrometru z głębokością.

Wytrzymałość na ścinanie lessów określano za pomocą prototypowej sondy obrotowej, zapewniającej prędkość ścinania 5°/min oraz eliminację tarcia gruntu o żerdzie. Stosowano krzyżak o średnicy 40 mm, wysokości 80 mm i grubości skrzydełek 1,2 mm. Pomiary wykonywano w odstępach 0,5 m w pionie w otworach wiertniczych o średnicy 62 mm.

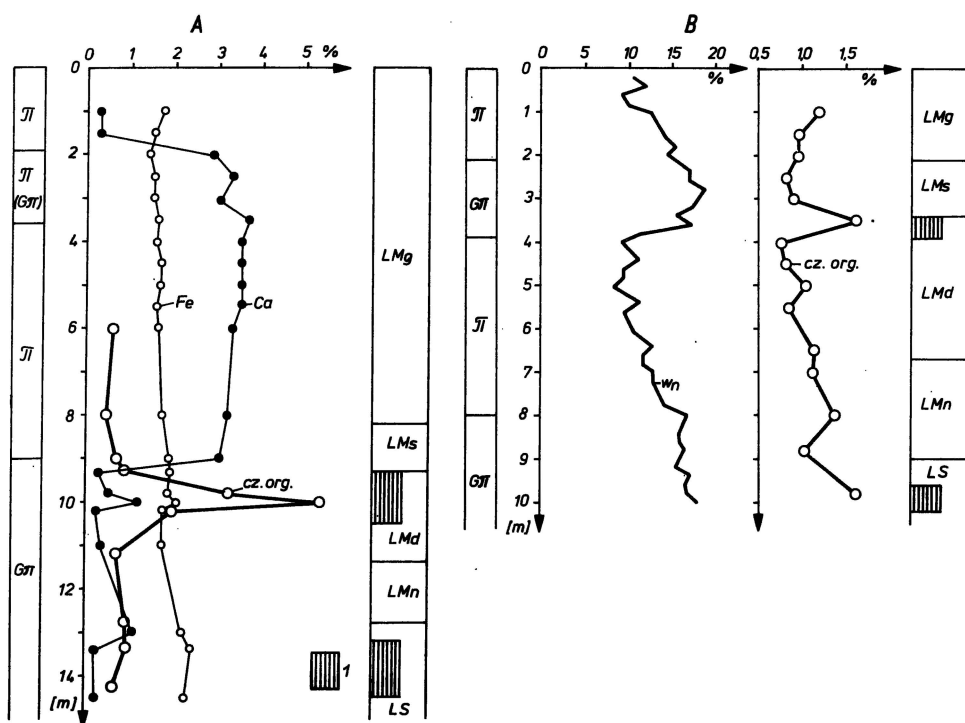


Fig. 3. Wyniki badań lessów: A – z Jarosława, B – z Kazimierza Dolnego (stratygrafia według H. Maruszczaka, 1976)

Results of studies of loesses from: A – Jarosław, B – Kazimierz Dolny (stratigraphy after H. Maruszczak, 1976)

1 – poziom gleby kopalnej; LMg – less młodszy górny; LMs – less młodszy środkowy; LMd – less młodszy dolny; LMn – less młodszy najniższy; LS – less starszy; π – pył; Gπ – glina pylasta; Fe – żelazo; Ca – wapń; cz. org. – części organiczne; w_n – wilgotność naturalna

1 – fossil soil horizon; LMg – Upper Younger Loess; LMs – Middle Younger Loess; LMd – Lower Younger Loess; LMn – lowermost Younger Loess; LS – Older Loess; π – silt; Gπ – silty till; Fe – iron; Ca – calcium; cz. org. – organic matter; w_n – moisture content

Sondowania sondą wkręcaną przeprowadzono sprzętem zmechanizowanym (*power unit*) firmy BORROS, rejestrując liczbę pólóbrotów na 20 cm zagłębienia sondy. Badania wykonywano z powierzchni terenu.

Z otworów wiertniczych pobrano próbki lessów o strukturze naruszonej i nie-naruszonej (cylindry cienkościenne o grubości ścianek 1 mm). Próbki te poddano badaniom laboratoryjnym, ustalając ich cechy fizyczne i mechaniczne.

Za pomocą metod radiometrycznych określono ciężar objętościowy γ (metoda gamma-gamma) i wilgotność objętościową w_o (metoda neutron-neutron) lessów, stosując układ sondy uniwersalnej (M. Borowczyk, C. Królikowski, 1966). Ponadto w układzie trój elektrodowym zmierzono elektryczny opór właściwy lessów (ρ). Wymienione parametry określono w pionie co 20 cm. Znajomość ciężaru objętościowego i wilgotności objętościowej lessów pozwoliła wyliczyć ciężar objętościowy szkieletu (γ_d), wilgotność naturalną (w_n), stopień wilgotności (S), i wskaźnik porowatości naturalnej (e_n).

Stosując rentgenowską radioizotopową analizę fluorescencyjną (B. Dziunikowski, 1976) określono w próbkach lessu zawartość żelaza i wapnia. Wyniki tej metody porównano z klasycznymi chemicznymi oznaczeniami zawartości tych pierwiastków w gruntach.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Ocena właściwości fizyczno-mechanicznych lessów metodami polowymi oraz śledzenie ich zmienności wymaga w pierwszej kolejności właściwej klasyfikacji samych lessów pod względem stratygraficznym i litologicznym.

Badania z zastosowaniem rentgenowskiej radioizotopowej analizy fluorescencyjnej dla określenia zawartości wapnia i żelaza w lessach wykazały, że technika jądrowa może z powodzeniem znaleźć w tej dziedzinie zastosowanie. Wprawdzie zawartość Ca i Fe określano tą metodą dotychczas na próbkach lessu w warunkach laboratoryjnych, to jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby skonstruować odpowiednią sondę pomiarową i badania te wykonywać bezpośrednio w otworze badawczym. Porównanie otrzymanych wyników z wynikami dotychczas stosowanych analiz chemicznych wskazuje na dostateczną dokładność tej metody. Należy jeszcze dodać, że za jej pomocą określana jest w badanym lessie całkowita zawartość żelaza (żelazo dwu- i trójwartościowe). Szczegółowe badania chemiczne wykazały, że udział żelaza dwuwartościowego w postaci FeO jest nieistotny i wynosi 5–15% w odniesieniu do żelaza trójwartościowego w postaci Fe₂O₃. Podstawową zaletą radioizotopowej analizy fluorescencyjnej jest krótki czas oznaczeń (ok. 1 min).

Znajomość zawartości Fe i Ca w profilu ułatwia właściwą klasyfikację stratygraficzną lessów, co pokazano na fig. 3A. Na figurze tej oznaczono ponadto zawartość części organicznych.

Z punktu widzenia geologii inżynierskiej dla wszelkiego typu budownictwa najważniejsze znaczenie ma na omawianym obszarze less młodszy górny o znacznym rozprzestrzenieniu i znacznej miąższości, zwany również lessiem typowym. W przeprowadzonych badaniach najczęściej odpowiadał on cechom lessu zaliczanego do typu I. Jest to przede wszystkim pył (fig. 3).

Klasyfikację stratygraficzną lessów ułatwiają także równoległe pomiary wilgotności naturalnej w_n (za pomocą sondy uniwersalnej) oraz zawartości części organicznych (fig. 3B). Charakterystyczny wzrost wilgotności naturalnej od powierzchni terenu do pewnej głębokości, a następnie raptowny jej spadek, wskazywać może

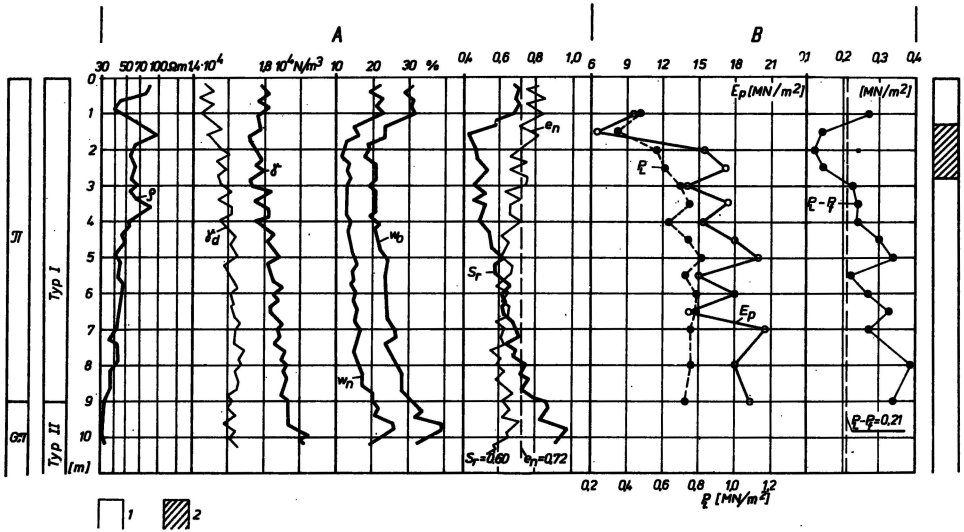


Fig. 4. Wyniki kompleksowych badań lessów w rejonie Kazimierza Dolnego metodami polowymi
 Results of complex studies of loesses from the area of Kazimierz Dolny, with the use of field methods
 1 – lessy o strukturze trwałej; 2 – lessy o strukturze nietrwałej; A – badania sondą uniwersalną; B – badania presjometryczne; ρ – elektryczny opór właściwy; γ – ciężar objętościowy; γ_d – ciężar objętościowy szkieletu; w_v – wilgotność objętościowa; w_n – wilgotność naturalna; S_r – stopień wilgotności; e_n – wskaźnik porowatości naturalnej; P_L – presjometryczne naprężenie graniczne; E_p – presjometryczny moduł ściśliwości; P_f – presjometryczne naprężenie pełzania; pozostałe objaśnienia jak na fig. 3

1 – loesses with stable structure; 2 – loesses with collapsing structure; A – studies with use of universal probe; B – pressuremeter studies; ρ – specific resistance; γ – bulk density; γ_d – dry density; w_v – moisture by volume; w_n – moisture content; S_r – degree of saturation; e_n – natural void ratio; P_L – pressuremeter limit pressure; E_p – pressuremeter compressibility modulus; P_f – pressuremeter creeping stress; other explanations as given in Fig. 3

na występowanie poziomu iluwialnego lub glebowego. W danym przypadku (fig. 4) był to poziom inicjalny gleby (H. Maruszczak, 1976).

Zebrane dotychczas doświadczenia w zakresie badania lessów pozwalają na dalsze uściślenie oceny struktury nietrwałej lessów i ich przydatności jako podłoża budowlanego. Zastosowanie metod polowych pozwala na szybkie wydzielenie i określenie cech fizyczno-mechanicznych lessów typowych, najistotniejszych ze względu na posadowienie obiektów inżynierskich.

Kompleksowe badania lessów różnymi metodami polowymi wykazały, że strukturę nietrwałą lessów najlepiej charakteryzują pomiary presjometryczne. Na ich podstawie ustalono nowe kryterium oceny tej struktury, spełniające warunek $P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$ (M. Borowczyk, Z. Frankowski, 1977). Należy podkreślić, że kryterium to stwierdza jedynie nietrwałość struktury lessu, a nie podaje wartości wskaźnika osiadania zapadowego (i_{mp}) zgodnie z PN-74/B-02480.

Istotne znaczenie w badaniach zmienności właściwości fizycznych lessów mają metody radiometryczne, stosowane w rozwiązywaniu sondy uniwersalnej. Przy tej technice nie ma potrzeby wiercenia otworów badawczych i pobierania próbek. Pomiary wykonywane są w warunkach *in situ*, a jako wynik otrzymuje się profil zmian z głębokością: a) elektrycznego oporu właściwego, b) ciężaru objętościowego, c) wilgotności objętościowej. Na podstawie tych danych można wyliczyć

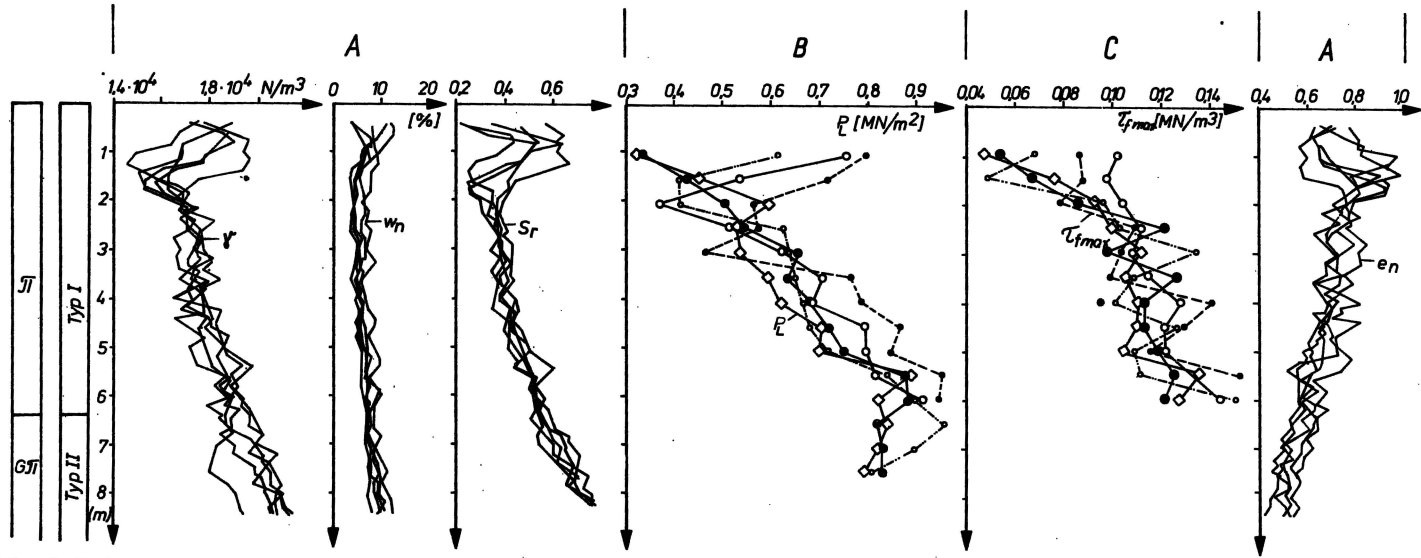


Fig. 5. Zmienność cech fizyczno-mechanicznych lessów w 5 punktach badawczych w rejonie Kraśnika.

Variability in physico-mechanical properties of loesses from 5 localities in the area of Kraśnik

A – badania sondą uniwersalną; B – badania presjometryczne; C – badania sondą obrotową; τ_{fmax} – maksymalna wytrzymałość na ścinanie; pozostałe objaśnienia jak na fig. 3 i 4

A – studies with use of universal probe; B – pressuremeter studies; C – studies with use of vane test; τ_{fmax} – maximum undrained shear strength; other explanations as in Figs. 3 and 4

pozostałe parametry, tj.: wilgotność naturalną, ciężar objętościowy szkieletu gruntowego, porowatość naturalną i stopień wilgotności.

Wyniki badań sondą uniwersalną oraz presjometrem lessów z rejonu Kazimierza Dolnego przedstawiono na fig. 4. Uzyskane profile cech fizycznych dobrze charakteryzują badany grunt, gdyż pomiary sondą uniwersalną wykonuje się w odstępach 20 cm w pionie. Należy zaznaczyć, że dokładność oznaczeń ciężaru objętościowego i wilgotności objętościowej lessu sondą uniwersalną jest wystarczająca dla celów praktycznych (M. Borowczyk, 1970).

Liczne badania pozwoliły również ustalić, że less może mieć strukturę nietrwałą, gdy jego wskaźnik porowatości naturalnej (e_n) jest większy od 0,72, a stopień wilgotności (S_r) mniejszy od 0,60. To kryterium przyjmowane jest jako orientacyjne, a jego uściślenie stanowi kryterium $P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$ określane badaniami presjometrycznymi (fig. 4).

Polowe metody badań pozwalają dość szczegółowo śledzić zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych lessów. Przykładowo na fig. 5 przedstawiono wyniki badań sondą uniwersalną, presjometrem i sondą obrotową lessów z rejonu Kraśnika. Pomiary przeprowadzono w pięciu punktach, rozmieszczonych w odległościach kilkunastu metrów od siebie (lessy tego samego typu I i II). Obserwuje się duże zróżnicowanie wyników, szczególnie do głębokości 2 m poniżej powierzchni terenu. Ponadto zaznacza się wyraźny spadek wytrzymałości lessu, gdy jego stopień wilgotności (S_r) jest większy od 0,60. Na podstawie tego przykładu widać, że metody polowe pozwalają w sposób szybki i dokładny charakteryzować lessy. Dają one również możliwość śledzenia zachodzących w nich zmian w wyniku działalności człowieka przez okresowe pomiary właściwości fizyczno-mechanicznych. Do tego celu w przypadku badań sondą uniwersalną jako repery pozostawia się rury stalowe o średnicy 38/28 mm.

Przy projektowaniu obiektów inżynierskich i przewidywaniu wielkości osiadań tych obiektów konieczna jest znajomość modułów ściśliwości gruntów. Pobrane podczas wierceń próbki lessu o strukturze nienaruszonej zbadano w laboratorium (badania edometryczne) celem określenia parametrów wytrzymałościowych. Oznaczono moduł ściśliwości (M_o) dla zakresu obciążeń 0,1–0,2 MN/m². Otrzymane wyniki zestawiono z wynikami badań presjometrycznych, za pomocą których określono między innymi presjometryczny moduł ściśliwości (E_p). Uzyskane dane zestawiono na fig. 6, gdzie naniesiono również prostą o równaniu $E_p = M_o$. Wyniki wskazują na brak istotnej korelacji między E_p i M_o . Ponadto można stwierdzić, że generalnie wartości modułu presjometrycznego są wyższe, często nawet znacznie. Z uwagi na to, że obserwowane rzeczywiste osiadania obiektów inżynierskich są mniejsze niż przewidywane, fakt otrzymywania wyższych modułów ściśliwości lessów za pomocą metody polowej (presjometrem) stanowić powinien kierunek dalszych badań szczegółowych, które pozwoliłyby na bardziej racjonalne projektowanie obiektów inżynierskich na podłożu lessowym.

Specyficzne właściwości fizyczno-mechaniczne lessów, a w szczególności ich zdolność do osiadania zapadowego pod wpływem określonego stanu naprężeń przy równoczesnym nasyceniu porów wodą, stanowią podstawowy problem przy ocenie lessów jako podłoża budowlanego. Na podstawie badań presjometrycznych można co prawda wydzielić lessy o strukturze nietrwałej, ale w praktyce inżynierskiej konieczna jest jednak znajomość wielkości możliwego osiadania zapadowego lessu, charakteryzowanego wskaźnikiem osiadania zapadowego zgodnie z PN-74/B-02480. Ponieważ w poprzednio obowiązującej normie PN-54/B-02480 stosowano wskaźnik makroporowatości (i_m), przeprowadzono również badania po-

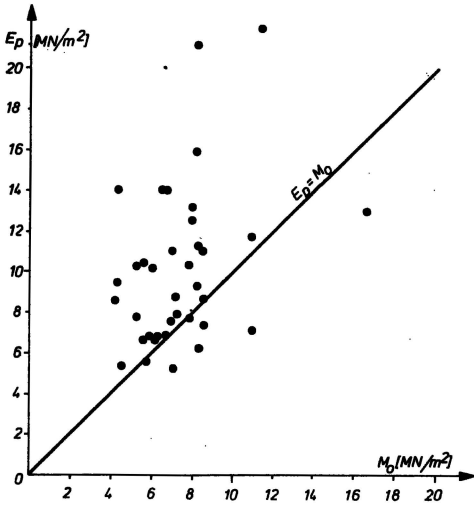


Fig. 6. Zależność presjometrycznego modułu ściśliwości (E_p) od edometrycznego modułu ściśliwości (M_o) na podstawie wyników ze wszystkich rejonów badań

Dependence of pressuremeter compressibility modulus (E_p) on oedometer compressibility modulus (M_o) as shown by the results from all the studied areas

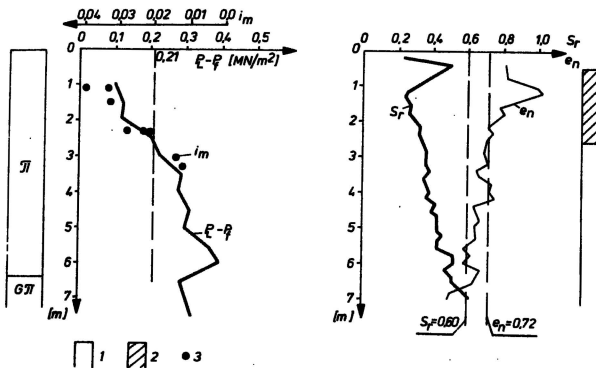


Fig. 7. Ocena struktury nietrwalej lessów z rejonu Kraśnika

Estimation of collapsing structure of loesses from the area of Kraśnik

1 – lessy o strukturze trwałej; 2 – lessy o strukturze nietrwalej; 3 – wartość wskaźnika makroporowatości (i_m) określona badaniami edometrycznymi na próbkach o nienaruszonej strukturze; pozostałe objaśnienia jak na fig. 3 i 4
 1 – structurally stable loesses; 2 – loesses with collapsing structure; 3 – value of macroporosity index (i_m), determined by oedometer studies on samples with undisturbed structure; other explanations as given in Figs. 3 and 4

równawcze jeszcze według tej normy. Stwierdzono, że kryterium $P_L - P_f \leq 0,21$ MN/m² odpowiada określonemu w edometrze wskaźnikowi makroporowatości $i_m \geq 0,02$, przyjmowanemu dotychczas jako kryterium oceny nietrwalej struktury lessów. Na fig. 7 przedstawiono przykładowo wartości wskaźnika makroporowatości (i_m) i porównano je z zaproponowanym kryterium $P_L - P_f \leq 0,21$ MN/m². Ponadto naniesiono orientacyjne kryteria oceny struktury nietrwalej lessów ($S_r < 0,60$; $e_n > 0,72$). Obserwuje się dobrą wzajemną zgodność kryteriów.

W normie PN-74/B-02480 został wprowadzony wskaźnik osiadania zapadowego (i_{mp}), określany badaniami edometrycznymi w innych niż dotychczas go określano warunkach. Niezbędne są więc jeszcze dalsze badania podstawowe, celem ustale-

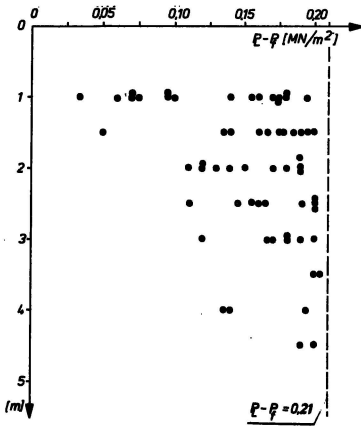


Fig. 8. Zmienność wartości $P_L - P_f$ z głębokością dla wszystkich rejonów badań
 Variability in $P_L - P_f$ values along with depth for all the studies areas

nia zależności między kryterium $P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$ a wskaźnikiem osiadania zapadowego (i_{mp}).

Badania presjometryczne, dzięki którym ustalono nowe kryterium oceny struktury nietrwałej, pozwoliły na dość istotne uściślenie osiadania zapadowego lessów.

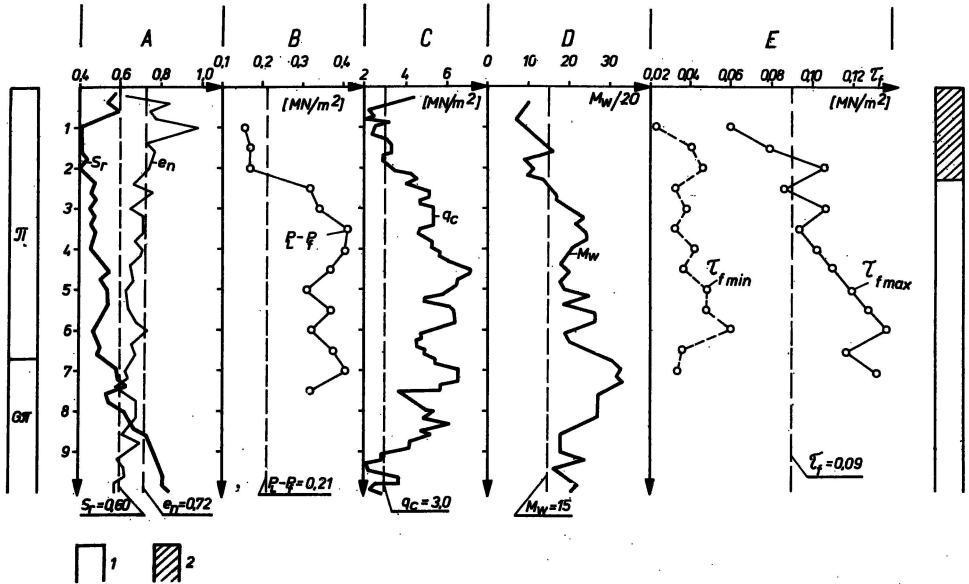


Fig. 9. Ocena struktury nietrwałej lessów z rejonu Izbicy na podstawie różnych metod polowych
 Estimation of collapsing structure of loesses from the area of Izbica, based on results of field studies
 1 - less o strukturze trwałej; 2 - less o strukturze nietrwałej wydzielony na podstawie kryterium $P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$; A - badania sondą uniwersalną; B - badania presjometryczne; C - badania sondą wciskaną; D - badania sondą wkręcaną; E - badania sondą obrotową; q_c - opór na stożku sondy wciskanej; M_w - liczba półobrotów sondy wkręcanej; τ_{fmin} - minimalna wytrzymałość na ścinanie; pozostałe objaśnienia jak na fig. 3, 4 i 5
 1 - structurally stable loess; 2 - loess with collapsing structure, differentiated using the criterion $P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$; A - studies with use of universal probe; B - pressuremeter studies; C - penetrometer studies; D - weight penetrometer studies; E - vane tests; q_c - penetrometer cone resistance; M_w - number of halfturns/0,2 m of weight penetrometer; τ_{fmin} - minimum shear strength; other explanations as given in Figs. 3, 4 and 5

Tabela 1

Parametry fizyczno-mechaniczne lessów Polski południowo-wschodniej

| Parametry | Typ I | Typ II |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Zawartość w % frakcji: | | |
| piaskowej | $\frac{3-27^*}{13^{**}}$ | $\frac{7-29}{12}$ |
| pyłowej | $\frac{69-87}{79}$ | $\frac{59-82}{76}$ |
| iłowej | $\frac{3-11}{8}$ | $\frac{10-16}{12}$ |
| Wskaźnik porowatości | $\frac{0,30-1,06}{0,70}$ | $\frac{0,41-0,93}{0,60}$ |
| Ciężar objętościowy $\cdot 10^4$ N/m ³ | $\frac{1,20-2,00}{1,77}$ | $\frac{1,61-2,11}{1,91}$ |
| Ciężar objętościowy szkieletu $\cdot 10^4$ N/m ³ | $\frac{1,14-1,69}{1,57}$ | $\frac{1,49-1,83}{1,66}$ |
| Wilgotność naturalna % | $\frac{4,4-21,0}{12,7}$ | $\frac{5,4-24,1}{14,4}$ |
| Presjometryczne naprężenie graniczne MN/m ² | $\frac{0,21-1,16}{0,72}$ | $\frac{0,52-1,36}{0,88}$ |
| Presjometryczny moduł ściśliwości MN/m ² | $\frac{3,7-27,0}{12,2}$ | $\frac{5,8-26,5}{14,1}$ |
| Maksymalna wytrzymałość na ścinanie MN/m ² | $\frac{0,02-0,17}{0,09}$ | $\frac{0,06-0,22}{0,11}$ |

* Wartość minimalna i maksymalna; ** wartość średnia

Wykazały bowiem, że strukturę nietrwałą mogą mieć przede wszystkim lessy typowe do głębokości 3–4 m poniżej powierzchni terenu, przy czym najczęściej do głębokości 2 m. Uzyskane w tym zakresie wyniki dla wszystkich rejonów badań podano na fig. 8, która przedstawia zmienność $P_L - P_f$ z głębokością. Wartość $P_L - P_f < 0,21$ MN/m² stanowi granicę, charakteryzującą lessy o strukturze nietrwałej. W tab. 1 przytoczono dodatkowo zakresy zmienności właściwości fizycznych i mechanicznych badanych lessów (typ I i II).

Zmiany właściwości geotechnicznych lessów w profilu pionowym badano również za pomocą sond: wciskanej, wkręcanej i obrotowej. Kompleksowe wyniki tych badań dla lessów z rejonu Izbicy przedstawiono na fig. 9. Można zaobserwować dość dużą czułość na zmienność parametrów badanych lessów, co pozwala wnosić o jakości rozpatrywanego podłoża. Trudniejsza jest ilościowa interpretacja samych danych, szczególnie w odniesieniu do oceny struktury nietrwałej lessów. Przyjęcie poprzednio podanego kryterium na podstawie badań presjometrycznych ($P_L - P_f \leq 0,21$ MN/m²) pozwala wnioskować, że lessy mogą mieć strukturę nietrwałą, gdy: a) opór na stożku sondy wciskanej $q_c < 3$ MN/m², b) liczba półobrotów sondy wkręcanej na 20 cm zagłębienia sondy $M_w < 15$, c) opór na ścinanie sondy obrotowej $\tau_{fmax} < 0,09$ MN/m². Przytoczone tutaj granice naniesiono na fig. 9.

WNIOSKI

Badania lessów Polski południowo-wschodniej w rejonie Kazimierza Dolnego, Kraśnika, Izbicy, Szczebrzeszyna i Jarosławia metodami polowymi (presjometr, sondy: uniwersalna, wciskana, obrotowa i wkręcana) wykazały dużą przydatność tych metod zarówno w ocenie właściwości geotechnicznych lessów, jak i przy śledzeniu zmian cech lessu zachodzących w czasie.

Na podstawie cech litogenetycznych wydzielono w badanych lessach dwa podstawowe typy (I i II), które scharakteryzowano parametrami fizyczno-mechanicznymi (tab. 1). Zasadniczą zaletą polowych metod badań jest fakt natychmiastowego uzyskiwania wyników, co przy specyficznych właściwościach wyróżnionych typów lessów ma istotne znaczenie praktyczne.

Badaniami presjometrycznymi można stwierdzić występowanie lessów o strukturze nietrwałej na podstawie kryterium $P_L - P_f \leq 0,21 \text{ MN/m}^2$. Pozwala to na uściślenie dotychczas przyjmowanego stanowiska odnośnie do skłonności lessów do osiadania zapadowego. Cechy te posiadają przede wszystkim lessy typowe — pyły (less młodszy górny według H. Maruszczaka, 1976), występujące najczęściej do 2 m głębokości.

Właściwą klasyfikację stratygraficzną lessów bardzo ułatwiają pomiary zawartości Ca i Fe. Szybką ocenę udziału tych pierwiastków zapewniają radiometryczne metody oznaczania wapnia i żelaza (radioizotopowa analiza fluorescencyjna). Istnieją potencjalne możliwości wykonywania takich badań bezpośrednio w otworze badawczym, co pozwoliłoby na uzyskanie profilu zmian Ca i Fe z głębokością w sposób bardzo szybki.

Inne metody polowych badań — sondy: wciskana, obrotowa i wkręcana — pozwalają również charakteryzować lessy, jednak interpretacja uzyskanych wyników jak dotychczas daje raczej obraz „jakościowy”.

Podkreślenia wymaga konieczność stosowania cienkościennych cylindrów (grubość ścianek do 1 mm) do pobierania próbek o strukturze nienaruszonej. Tylko takie cylindry, wciskane w grunt w sposób statyczny, zapewniają zachowanie naturalnej struktury tych utworów (makrostruktury).

Zakład Hydrogeologii
i Geologii Inżynierskiej
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 28 czerwca 1978 r.

PIŚMIENNICTWO

- BOROWCZYK M. (1970) — Accuracy of measuring density and moisture of soils by radiometric methods in small-diameter tubes driven in by vibration technique. Proc. II Sem. Soil Mech. Found. Eng., p. 439—458. Łódź.
- BOROWCZYK M., FRANKOWSKI Z. (1977) — Nowe kryterium oceny osiadania zapadowego lessów na podstawie badań presjometrycznych. Inż. i Bud., nr 3, p. 91—92. Warszawa.
- BOROWCZYK M., KRÓLIKOWSKI C. (1966) — A probe for the complex study of the physical properties of soils. Symp. Radioisotope Instrum. in Industry and Geophysics, 2, p. 449—452. Intern. Atom. Energy. Vienna.

- DZIUNIKOWSKI B. (1976) – Podstawy rentgenowskiej radioizotopowej analizy fluorescencyjnej. AGH, Kraków.
- FRANKOWSKI Z. (1978) – Effect of lithogenesis on the physico-mechanical properties of loesses determined by field methods. III Intern. Congress of Engineering Geology. Madrid, Sec II, 1, p. 163–172.
- GRUNTOZNAWSTWO (1977) – Praca zbiorowa pod red. B. Grabowskiej-Olszewskiej i J.M. Siergiejewa. Wyd. Geol. Warszawa.
- MALINOWSKI J. (1971) – Badania geologiczno-inżynierskie lessów. Wyd. Geol. Warszawa.
- MARUSZCZAK H. (1976) – Stratygrafia lessów Polski południowo-wschodniej. Biul. Inst. Geol., 297, p. 135–175. Warszawa.
- MENARD L. (1967) – Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results. D/60 – General notice. Paris.
- MENARD L. (1971) – Note theoretique concernant l'étude de la courbe pressiometrique par la méthode dite des volumes relatifs. D(22A). Paris.
- PKN 1954-PN-54/B-02480 – Grunty budowlane. Klasyfikacja.
- PKN 1974-PN-74/B-02480 – Grunty budowlane. Podział, nazwy, symbole i określenia.
- PKN 1974-PN-74/B-04452 – Grunty budowlane. Badania polowe.
- PRZEWODNIK KONFERENCJI TERENOWEJ (1975) – Less i różnicowanie typologiczne gleb kopalnych na Wyżynie Małopolskiej. Wyd. Inst. Geogr. UŁ, p. 10–14. Łódź.
- Z BADAŃ CZWARTORZĘDU W POLSCE, t. 18 (1976) – Praca zbiorowa pod red. J.E. Mojskiego. Biul. Inst. Geol., 297. Warszawa.

Марьян БОРОВЧИК, Збигнев ФРАНКОВСКИ

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕССОВ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ МЕТОДОВ

Резюме

Специфика физико-механических свойств лёссов уже много лет является предметом разнообразных исследований польских учёных. В настоящее время большое внимание всех исследователей в мире направлено на изучение параметров грунтов *in situ*.

В статье дан анализ пригодности различных полевых методов для изучения геолого-инженерных свойств лёссов. Изучались лёссы юго-востока Польши. Использовались: прессиометры, радиометрические методы, статические зонды: вдавливаемый, ввёртываемый и вращательный. Изучение полевыми методами велось в среднем до глубины 10 м от поверхности.

Для оценки физико-механических свойств лёссов, в первую очередь необходимо было соответствующим образом классифицировать лёссы по стратиграфическим и литологическим признакам. Было принято стратиграфическое расчленение лёссов по Г. Марущаку (1976). Согласно ему, до глубины 10 м от поверхности залегает младший верхний лёсс значительной мощности, а также младший средний, нижний и самый нижний лёссы. С точки зрения литогенеза, лёссы были разбиты на 3 основных типа, отличительными чертами которых были: зернистость, общая пористость, текстура, известковистость и цвет.

Для прессиометрических исследований был использован прессиометр Л. Менарда — тип G с зондом диаметром 60 мм. Был определён прессиометрический модуль E_p , прессиометрическое граничное напряжение P_L и напряжение оползания P_f . Радиометрическими методами была установлена величина объёмного веса и объёмной влажности путём использования системы универсального зонда. Кроме того для определения содержания в лёссах кальция и железа, был применён рентгеновский радиоизотопный флюоресцентный анализ. Использование вращательного зонда позволило установить сопротивление сдвигу. Статичное зондирование зондами:

вдавливаемым и ввёртываемым (оборудование фирмы Боррос) доставило данные о сопротивлении лёсса этим зондам во время их погружения. По отобранным образцам с нарушенной и ненарушенной структурой (тонкостенные цилиндры) в лаборатории были определены основные характерные черты лёссов.

Комплексными работами доказана большая пригодность полевых методов для оценки геотехнических свойств лёссов. Прессиометрами, по критерию $P_L - P_f < 0,21 \text{ MN/m}^2$ можно однозначно установить наличие лёссов с неустойчивой структурой. Ориентировочным критерием можно считать коэффициент пористости $e_n > 0,72$ и степень влажности $S_r < 0,60$ (параметры, определяемые радиометрическими методами). Установлено, что этими чертами обладают в первую очередь типичные лёссы — пыль (младший верхний лёсс по стратиграфии Г. Марущака).

Установлено, что в изучавшихся районах лёссы с неустойчивой структурой залегают до глубины 3—4 м от поверхности, а чаще всего до глубины 2 м.

Другие полевые методы — вдавливаемый зонд, вращательный зонд, вёстрываемый зонд — позволяют получать результаты, которые могут использоваться для качественной интерпретации параметров лёссов, как это делается в настоящее время.

Marian BOROWCZYK, Zbigniew FRANKOWSKI

VARIABILITY IN GEOTECHNIC PROPERTIES OF LOESSES IN THE LIGHT OF MODERN STUDIES

Summary

Specific physico-mechanical properties of loesses have for many years been the subject of various studies in Poland. At present, much attention is being paid over the world to *in situ* investigations of soil parameters.

The applicability of various *in situ* investigation methods to study geological-engineering properties of loesses are analysed. The studies covered loesses of south-eastern Poland. There were used pressuremeter, radiometric techniques and static probes: penetrometer, weight penetrometer and vane test. The *in situ* investigations covered loess profile to the depth of 10 m below terrain surface at the average.

In estimations of physico-mechanical loess properties the most important are appropriate stratigraphic and lithological classifications of these soils. The stratigraphic subdivision was accepted after H. Maruszczak (1976). According to that subdivision, the interval down to 10 m below terrain surface comprises the Upper Younger Loess, often very thick, and Middle, Lower and Lowermost Younger Loess. From the point of view of lithogenesis, three basic loess types were differentiated on the basis of differences in grain size distribution, porosity, texture, content of calcium and colour.

Pressuremeter studies were carried out with the use of L. Menard pressuremeter of the type G with probe 60 mm in diameter. There were measured pressuremeter modulus, E_p , pressuremeter limit pressure, P_L , and creep pressure, P_f . The values of bulk density and moisture by volume were obtained by radiometric techniques with the use of universal probe pattern. The content of calcium and iron in loesses was established by X-ray radioisotopic fluorescence analysis. Undrained shear strength was estimated with the use of vane test. Probing with the use of static probes (Borros penetrometer and weight penetrometer) supplied data on cone resistance of loesses to penetrating probe. The basic properties of loesses were also studied in the laboratory on disturbed and undisturbed (thin-walled cylinders) soil samples.

The complex studies showed a marked applicability of *in situ* investigations in estimating geotechnical properties of loesses. The presence of loesses with unstable structure may be unequivocally evidenced by pressuremeter tests on the basis of the criterion $P_L - P_f < 0.21 \text{ MN/m}^2$. Porosity index $e_n > 0.72$ and degree of saturation $S_r < 0.60$ (i.e. parameters measurable using radiometric methods) may be accept-

ed as orientational criterion. These features are mostly found in typical loesses – silts (Upper Younger Loess according to H. Maruszczak stratigraphic subdivision).

In the areas studied, loesses with unstable structure usually occur at the depth to 3–4 m below terrain surface, mostly to 2 m.

Other methods of *in situ* investigations: penetrometer, vane test and weight penetrometer, give data useable for qualitative interpretation of loess parameters.