

Jan MALINOWSKI

## Wyniki badań geotechnicznych lessu między Kazimierzem Dolnym a Nałęczowem

### WSTĘP

Badania geotechnicznych własności lessu między Kazimierzem Dolnym a Nałęczowem wykonywano w ramach zdjęcia geologiczno-inżynierskiego doliny Wisły sporządzonego przez Instytut Geologiczny w latach 1954—1956 dla potrzeb regulacji tej rzeki i projektowanej budowy zapory w Kazimierzu Dolnym.

Wśród wielu zagadnień geotechnicznych związanych z występującymi tu utworami geologicznymi na szczególną uwagę zasługuje less, ze względu na swoje specyficzne własności. Jak wiadomo, specyficzną własnością lessu jest skłonność do zmian strukturalnych pod wpływem wody. Less obciążony budowlą ulega przy dostępie wody osiadaniu zapadowemu<sup>1</sup>, które powoduje powstawanie szkód budowlanych. Ponadto stałe działanie wód opadowych oraz wpływ wód lądowych (jezier, rzek i kanałów) powoduje szybką erozję powierzchniową lessu, w wyniku czego następują duże i ciągłe zmiany ukształtowania powierzchni terenu.

Zmiany strukturalne lessu pod wpływem wody ułatwiają więc erozję gleb lessowych, niszczenie dróg, zaburzenie stateczności zboczy dolinnych. W wyniku działania wody spotykamy się także ze zjawiskami typu krasowego, powstałymi przez ługowanie łatwo rozpuszczalnych składników lessu lub sufozję drobnych frakcji. Te ujemne własności lessu stały się przyczyną wielu szkód i strat gospodarczych. Przez długi okres czasu w budownictwie na te specyficzne własności nie zwracano uwagi, przeciwnie, less uważano za dobre podłoże budowlane przyjmujące dopuszczalne obciążenie do 3,5 kG/cm<sup>2</sup>, a nawet więcej (Empenger, 1926 wg J. M. Abielewa, 1948).

J. W. Popow podaje, że w 1929 r. Reszetkin i Zamarin wykazali, że zjawiska zapadowego osiadania lessów związane są z ich makroporowatą strukturą. Pogląd ten później podtrzymali i rozwinęli J. M. Abielew (1948) i N. Ł. Dienisow (1953).

<sup>1</sup> Termin wprowadzony przez B. Żakiewiczza; A. Falkiewicz i W. C. Kowalski wprowadzili pojęcie „osiadania dodatkowego”.

Częste szkody budowlane na terenach lessowych stały się przyczyną, że zaczęto coraz dokładniej badać less jako podłoże budowlane, zwracając szczególną uwagę na własności lessu i jego zachowanie się w warunkach wykonania i eksploatacji budowli. Pierwsze publikacje z tej dziedziny ukazały się w okresie międzywojennym.

Wśród nich zasługuje na uwagę praca A. Scheidiga (1934) mająca charakter monografii oraz prace J. M. Abielewa, które ukazywały się w piśmie „Stroitielnaja Promyszlenost“, gdzie autor ten omówił obserwacje dotyczące zachowywania się budowli posadowionych na lessach. W tym też okresie dużo uwagi geotechnice lessów poświęca odpowiednia literatura podręcznikowa. W okresie powojennym geotechniczne badania lessów znacznie się rozwinęły. Ukazało się wiele publikacji, niektóre typu monograficznego J. M. Abielew (1948), B. Dobrzański (1950) i N. L. Dienisow (1953) oraz wiele artykułów w czasopismach fachowych, omawiających własności geotechniczne lessów w zależności od cech fizyczno-mechanicznych, składu mineralnego budowy oraz geologicznych warunków występowania. Z ważnych prac geologicznych nad lessom omawianego obszaru należy wymienić prace: T. Mieczynskiego (1925), A. Jahna (1950—1956), W. Pożaryskiego (1953) oraz prace kartograficzne W. Pożaryskiego, E. Rühle, M. Franczyk i J. Pawlak (1948—1957). O własnościach geotechnicznych lessów w Polsce wiemy dotąd niewiele, pomimo że lessy stanowią podłoże wielu obiektów budowlanych, w których obrębie można zanotować wiele szkód.

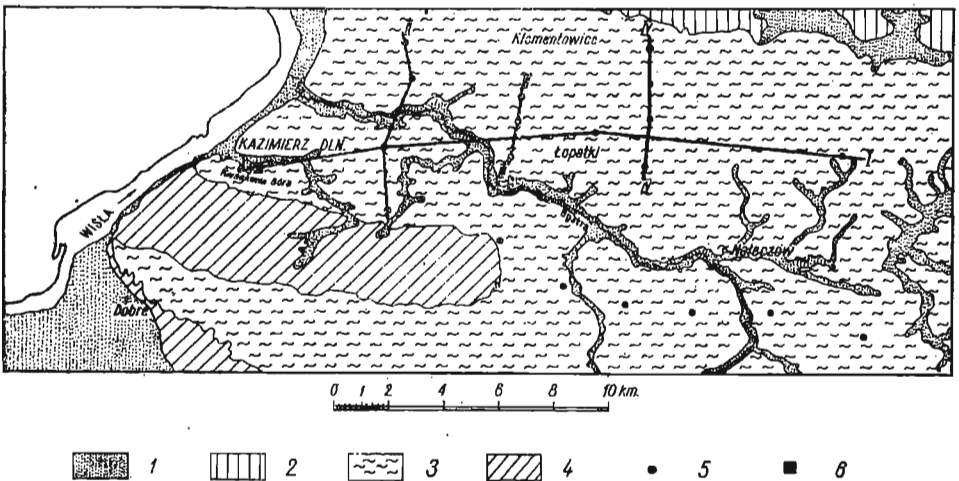


Fig. 1. Mapa występowania utworów lessowych między Kazimierzem Dolnym a Nałęczowem wg E. Rühle i rozmieszczenie punktów badawczych

Sketch map showing occurrence of loess deposits between Kazimierz Dolny and Nałęczów, according to E. Rühle, and location of investigated localities

1 — mady i utwory aluwialne, 2 — less piaszczysty, 3 — less, 4 — starsze utwory czwartorzędowe, 5 — wiercenia kartujące, 6 — odsłonięcia naturalne

1 — quicksand and alluvial deposits, 2 — sandy loess, 3 — loess, 4 — older Quaternary deposits, 5 — exploratory bore-holes, 6 — natural outcrops

Szkody takie wystąpiły przy budowie obiektów przemysłowych Nowej Huty. Zagrażają śródmieściom Jarosławia i Lublina, wskutek zmian struk-

turalnych warstwach, które stanowią podłoże tych miast. Poza tym aktualne jest zagadnienie erozji gleb lessowych, stateczności zboczy, szczególnie w budownictwie drogowym, co można zauważyć na wielu drogach bitych, biegnących przez tereny lessowe.

Praca niniejsza ma na celu przedstawienie zebranego materiału analitycznego i wskazanie najbardziej charakterystycznych cech geotechnicznych lessu na wymienionym obszarze. Oznaczenie fizycznych i mechanicznych własności lessów wykonano na około 300 próbkach, w tym około 60 o strukturze nienaruszonej. Próbkę te zostały w większości pobrane z otworów wiertniczych i częściowo z naturalnych odsłoneń. Oznaczenie składu mineralnego i budowy petrograficznej przeprowadzono na 45 próbkach. Opracowanie petrograficzne wykonał mgr J. Ansilewski adiunkt Zakładu Petrografii Uniwersytetu Warszawskiego. Występowanie lessu oraz rozmieszczenie punktów badawczych przedstawia figura 1.

### GEOLOGICZNE WARUNKI WYSTĘPOWANIA LESSU

Pod względem geologicznym omawiany obszar należy do Płaskowyżu Kazimierskiego i obejmuje jego środkową część, o wysokości 200—220 m n.p.m.

Less stanowi tu dość grubą warstwę leżącą na starszych utworach czwartorzędowych, którymi są gliny zwałowe, miejscami zaś piaski. Pod tymi starszymi osadami czwartorzędowymi występują utwory kredowe, do których należą margle, opoki i gezy. Miąższość warstw lessu wynosi maksymalnie 28 m, co stwierdzono w profilu wiercenia nr 24 wykonanym w pobliżu doliny Wisły. W kierunku wschodnim miąższość ta maleje i waha się w granicach od 10 do 20 m. Powierzchnia pokrywy lessowej jest nierówna. W ogólnym zarysie jest ona odbiciem powierzchni podłoża starszego, co częściowo można wywnioskować z wyników wierceń.

Zachodnia część obszaru lessowego jest objęta intensywną erozją, która decyduje o dzisiejszym charakterze rzeźby powierzchni pokrywy lessowej. Erozja zaznacza się najintensywniej w pobliżu doliny Wisły oraz w sąsiedztwie doliny Bystrej i jej dopływów. Są to strefy o dużym nachyleniu, które ułatwia szybki spływ wód opadowych do tych dolin. Dynamika spływu tych wód powoduje stale szybko postępującą erozję. Rozcięcia erozyjne dochodzą do 20 m. Tworzące się w tych warunkach parowy ulegają dalszym bocznym rozcięciom. W ten sposób erozja obejmuje wciąż nowe tereny.

Zbocza parowów są przeważnie strome. Spotyka się także zbocza o różnym kącie nachylenia, z których większość posiada wyrównane profile, nie wykazujące skłonności do osuwania się. Niektóre zbocza porośnięte są lasem lub krzewami, które wzmacniają ich stateczność.

Zaburzenia zboczy są powodowane przeważnie ulewnymi deszczami lub wodami wiosennymi pochodzącymi z roztopów. Zaburzenia te mają charakter obrywów spowodowanych podmyciem zboczy stromych. Zbocza łagodniejsze ulegają przeważnie równoległym rozcięciom. Początkowo mają one kształt rynien, a w miarę swego rozwoju łączą się ze sobą, tworząc duże wyrwy.

A. Jahn (1956) podaje, iż największe formy erozyjne o cechach parowów powstały na liniach starych zagrzebanych dolin, w których przepły-

wały duże ilości wód opadowych. Pogląd ten potwierdzają przeprowadzone przez J. Pawlak (1957) badania hydrogeologiczne, z których można wnioskować, że wszelki spływ wód gruntowych odbywa się w kierunku takich zagrzebanych dolin. Wydaje się, że erozja jest najbardziej rozwinięta w tych obszarach, które rozciągają się na odcinkach zboczowych tych starych dolin.

## STRATYGRAFIA

Less na omawianym obszarze nie jest utworem jednolitym. Wyniki dotychczasowych badań wskazują na istnienie co najmniej dwóch poziomów lessowych. Stratygraficzny podział lessu opiera się na profilu Kwaskowej Góry opisanym i zinterpretowanym przez W. Pożaryskiego (1953). Profil ten w górnej (południowej) części wąwozu przedstawia się następująco:

3. Less typowy, młodszy górny, o słupowej oddzielności ku spągowi jest początkowo słabo, a następnie wyraźnie warstwowany; miąższość od 10 do 13 m.

2. Less młodszy dolny, szarozółty, wapnisty; miąższość około 6 m ze śladami zjawisk kryogenicznych w stropie.

1. Less starszy, piaszczysty, szarozółty, miejscami czerwonawy, zgliniony, poniżej przechodzi w less typowy. W części spągowej staje się bardziej piaszczysty i miejscami przechodzi w piasek z pyłem lessowym; miąższość do 5 m. W stropie tego lessu zaznacza się warstwa mająca zabarwienie rdzawoczerwone; ma ona cechy iluwialnej warstwy glebowej; miąższość 1,6 m.

Z powyższego opisu wynika, że nie ma wyraźnej granicy między lessiem starszym a młodszym. W przekroju Kwaskowej Góry granicę tę stanowi warstewka piasku deluwialnego, który jak wynika z profilu opisanego przez W. Pożaryskiego ma charakter utworu zboczowego i nie może być przyjmowany jako granica ciągła między oboma lessami.

Według W. Pożaryskiego w okolicy Kazimierza profil Kwaskowej Góry wielokrotnie się powtarza, przy czym na powierzchni występuje wszędzie less młodszy górny. Wyniki badań, szczególnie wierceń w okolicy Kazimierza Dolnego, potwierdzają na ogół dwudzielność lessu, który jest rozdzielony wyraźnymi poziomami wietrzeniowymi. Poziomy te są silnie gliniaste barwy brunatnej lub czerwonawobrunatnej, odwapnione<sup>2</sup>.

W części wschodniej rozpoznanie lessu opiera się na przekroju odsłoniętym w cegielni Łopatki, który opisał A. Jahn (1956). W przekroju tym występują dwa lessy: starszy i młodszy, oddzielone od siebie glebą kopalną. Less młodszy dzieli się na dwie części — dolną, osadzoną w klimacie mrozowym, z licznymi klinami lodowcowymi i górną osadzoną w klimacie łagodniejszym, w której występuje soliflukcja lessowa.

W 1955 r. wskutek rozszerzonej eksploatacji w omawianej cegielni, odsłonięty został przekrój na większej długości w kierunku wschodnim, (fig. 2); jest on prostopadły do przekroju opisanego przez A. Jahna. W przekroju tym występuje:

<sup>2</sup> Ze względu na geotechniczny charakter tej pracy — zagadnienia korelacji profilów lessowych rozpoznanych w wierceniach nie mogą być tutaj omówione i będą tematem oddzielnej pracy.

7. Warstwa glebowa brunatna rdzawa w stropie, z cienką warstewką humusową<sup>3</sup>.

6. Deluwia lessowe barwy żółtoszarej warstwowane piaskiem drobnym, miejscami występują gniazda piasku o średnicy do 15 cm miąższości od 0,5 do 1,3 m.

5—4. Less żółtoszary przewarstwiony piaskiem rdzawym, żółtobrunatnym, lub jasnoszarym. Grubość warstewek piasku wynosi od 1 do 15 cm, przy czym warstewki piasku rdzawego mają przeważnie grubość 1 cm. Warstwa ta odpowiada lessowi soliflukcyjnemu. Miąższość jej wynosi od 1,5 do 2 m.

3—2. Less żółtoszary warstwowany piaskiem żółtym. Grubość warstewek lessu i piasku wynosi od 10 do 20 cm<sup>4</sup>. W kierunku zachodnim

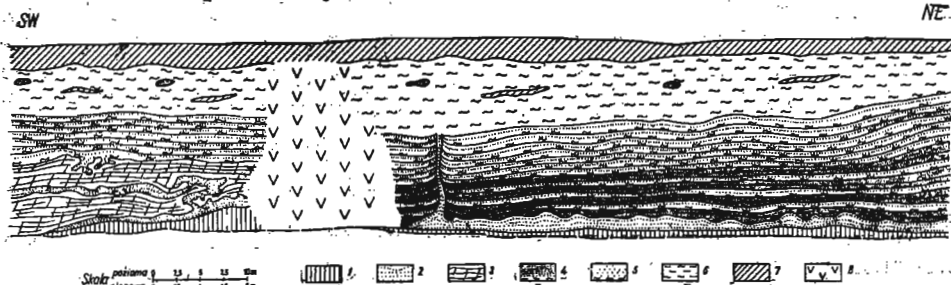


Fig. 2. Odślonięcie lessu w cegielni Łopatkki

Loess outcrops in Łopatkki brick yard

1 — less starszy, 2 — piaski soliflukcyjne, 3 — less młodszy, 4 — piasek żółto-brunatny z warstewkami lessu, 5 — piasek żółty z warstewkami lessu, 6 — glina lessowa z poziomem glebowym, 8 — nasyp

1 — older loess, 2 — solifluction sands, 3 — younger loess, 4 — yellowish-brown sand with thin beds of loess, 5 — yellow sand with thin beds of loess, 6 — loess deluvia, 7 — loess loam with a soil layer, 8 — embankment

less ten zaburzony jest silnie formami inwolucyjnymi, przy czym stopniowo, warstwowanie lessu staje się bardziej drobne, barwa zaś lessu zmienia się na płową, miąższość tej warstwy wynosi od 1,5 do 3 m. Jest to dolny poziom lessu górnego według A. Jahna.

1. Less żółtobrunatny o strukturze łupkowej; porównując go z opisem A. Jahna jest to less starszy. Miąższość tego lessu wynosi 5 m, co wykazało wiercenie nr 51 wykonane w dniu glinianki. W stropie tej warstwy (środkowa część rysunku) występują zaburzenia typu krioturbacyjnego, które wyznaczają strop tej warstwy. Gleba kopalna tutaj nie występuje.

Profil lessu opisany w Łopatkach ma nieduże rozprzestrzenienie w kierunku północnym od Łopatek; został on stwierdzony w cegielni Klemen-towice. W kierunku zachodnim zasięg jego jest raczej niewielki. Wprawdzie W. Pożaryski opisał obecność struktur mrozowych na Kwaskowej Górze i koło Bochofnicy, są one jednak niewielkie i wydaje się, że na taką skalę jak w Łopatkach w części zachodniej omawianego terenu — nie występują.

<sup>3</sup> Przekrój opisany przez A. Jahna znajdował się we wschodniej części glinianki. W 1955 r. został on zasypany ze względu na wstrzymanie eksploatacji tej ślany, która przesunęła się zbyt blisko drogi i toru kolejowego.

<sup>4</sup> Na figurze są one nieco powiększone.

Bardziej na wschód w okolicy Nałęczowa profil lessu jest także wyraźnie dwudzielny. Zaburzeń mrozowych jednak w nim nie stwierdzono. Od góry występuje less typowy żółty lub żółtoszary o różnej miąższości; pod nim leży less gliniasty barwy żółtobrunatnej o miąższości od 1 do 10 m wiercenia 16 — 50 — 41 — 14.

Wśród lessu wyróżniają się deluwia lessowe, głównie jako utwory zboczowe. Stanowią one najmłodszą warstwę lessu występującą na zboczach. Wypełniają też doliny, lub tworzą formy stożkowe u ich wylotu. W profilu Kwaskowej Góry W. Pożaryski (1953) wyróżnia deluwia między dwiema warstwami lessu — młodszym i starszym. W sąsiednich punktach badawczych nie zostały one wyraźnie stwierdzone, jednak obecność ich nie jest wykluczona. Miąższość deluwii jest niekiedy dość znaczna. Na przykład wiercenie nr 19 stwierdziło ich miąższość 17,5 m.

Cechą deluwii lessowych jest regularne przewarstwianie się piaskiem i pyłem. Zmiana warstewek powtarza się co kilka lub kilkanaście centymetrów, przy czym ich grubość jest przeważnie rzędu kilku centymetrów.

Podsumowując uwagi na temat zróżnicowania lessu na omawianym obszarze, należy stwierdzić, że występują tu następujące rodzaje litologiczne lessu:

1. Deluwia i aluwia lessowe — charakteryzujące się miejscami dużym stopniem piaszczystości; przykrywają one zbocza lub doliny denudacyjne, na powierzchni terenu są niekiedy znacznie rozprzestrzenione.

2. Less „typowy“ — ma barwę żółtą lub szarżółtą, łupliwość pionową, pokrywa prawie cały obszar. Miąższość jego wynosi maksymalnie 22 m — wiercenie nr 24, minimalnie 4 m — wiercenie nr 41.

Less ten jest górnym poziomem stratygraficznym lessu młodszego i dolnym poziomem stratygraficznym lessu starszego. Typowy less dolny wykazuje analogiczne cechy makroskopowe jak less górny.

3. Less gliniasty (zgliniony) — występuje w spągu górnego lessu młodszego, gdzie jest mało gliniasty i w stropie lessu starszego. W niektórych wierceniach stwierdzono nawet trzy poziomy zglinienia, jednak ich pozycja stratygraficzna wymaga dokładnego ustalenia. Miąższość poziomów lessu zglinionego wynosi od 1 do 8 m w otworze nr 50 jako maksymalna. Less zgliniony występuje na powierzchni tylko w wierceniach nr 17, gdzie ma 4,4 m grubości. W innych wierceniach warstwy lessu zglinionego podchodzą pod powierzchnię w otworze nr 41 na głębokości 4 m, w otworze nr 50 na głębokości 8,7 m. W pozostałych wierceniach występują one na głębokości poniżej 10 m od powierzchni terenu.

4. Less piaszczysty — jest to less przewarstwiony piaskiem, w którym grubość warstewek lessu i piasku jest różna, przy czym warstwowanie cechuje się pewną rytmicznością. Less ten występuje w okolicy Łopatek—Klementowic. Maksymalna jego miąższość wynosi od 5 do 6 m. Warstwy lessu piaszczystego wykazują silne zaburzenia mrozowe (soliflukcje, kliny).

Zapiaszczenie lessu obserwuje się często w spągu warstw lessu młodszego lub starszego — Kwaskowa Góra, wiercenia nr 24 i 26.

#### SKŁAD MINERALNY

Rozpoznanie składu mineralnego lessu oraz cech petrograficznych przeprowadzono na profilach z wiercenia nr 26 oraz Kwaskowej Góry.

które dla omawianego terenu można przyjąć jako profile wzorcowe, ze względu na podobieństwo z profilami pozostałych wierceń. Cechy tych profili można z dużym prawdopodobieństwem odnosić do pozostałej części obszaru, z wyjątkiem okolicy Łopatek. Głównym składnikiem lessu jest kwarc, którego zawartość wynosi ponad 60% wag. Poza tym bardzo licznie reprezentowane są skalenie — około 45% (maksymalnie) oraz w dużym stopniu kalcyt, dolomit i tlenki żelaza, śladowo zaś — muskowitz, biotyt, glaukonit oraz fosforyt i minerały ciężkie (fig. 3).

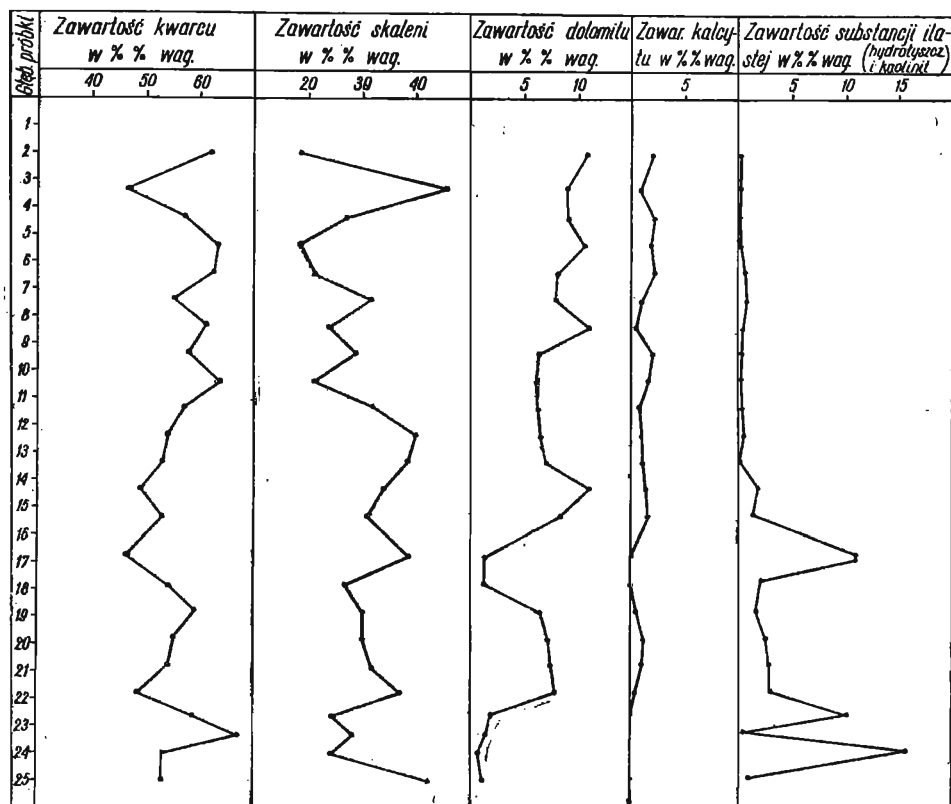


Fig. 3. Wykres ilustrujący udział najważniejszych składników lessu w profilu wiercenia nr 26

Diagram illustrating proportion of most important loess components in section of bore hole No. 26

Z minerałów ilastych występują hydrolyzszyki i kaolinit. Ilość tych składników jest zmienna. Obecność substancji ilastej jest charakterystyczna dla poszczególnych poziomów lessowych. W górnej części lessu młodszego zawartość jej jest minimalna i wynosi od 1 do 3%. Rośnie natomiast w poziomach niższych, gdzie dochodzi do 15%, co jak to niżej zobaczymy, wyraźnie zaznacza się w klasyfikacji granulometrycznej lessu.

Z krzywych uziarnienia wynika, iż zawartość frakcji  $< 0,002$  mm zwanej frakcją ilową jest nieco wyższa, niż to wskazały wyniki oznaczeń

mineralogicznych. Różnica ta pochodzi stąd, że we frakcji  $< 0,002$  mm występują obok minerałów ilastych pewne ilości najdrobniejszego pelitu węglanowego i potasowo-skaleninowego. Frakcja  $< 0,002$  mm nie jest więc czystą frakcją złożoną wyłącznie z minerałów ilastych. Poziomy ubogie w substancję ilastą mają większą zawartość węglanów (wiercenie nr 26) składnika ważnego z punktu widzenia geologii technicznej. Z oznaczeń mineralogicznych wynika, że występuje tutaj kalcyt i dolomit, których zawartość sumaryczna w wierceniu nr 26 w niektórych poziomach dochodzi prawie do 15%. W profilu Kwaskowej Góry skład mineralny określono tylko jakościowo i dlatego nie można przeprowadzić dokładnego porównania obu profili. Stwierdza się tylko, że głównym składnikiem lessu z Kwaskowej Góry jest kwarc i skalenie, przy czym ilość tych ostatnich w stosunku do wiercenia 26 można przyjąć za prawie jedną. Zawartość węglanów, w porównaniu z wynikami wiercenia nr 26, jest stosunkowo mniejsza i wynosi od 0,3 do 4,5%. Ponieważ obecność dolomitu nie została stwierdzona w profilu Kwaskowej Góry, dlatego należy przypuszczać, że jest tutaj reprezentowany tylko kalcyt. Zawartość minerałów ciężkich, wśród których występują te same rodzaje co w wierceniu nr 26, jest nieco wyższa, jak to wskazują wyniki pomiarów planimetrycznych.

Zawartość substancji ilastej jest stosunkowo mała, zwiększa się nieznacznie dopiero w poziomach dolnych, a więc w lessie starszym. Są to tylko hydrolyzszyki, natomiast kaolinit nie został tu stwierdzony.

Kształt ziarn lessu, ich wielkość oraz sposób ułożenia i rozmieszczenia są zmienne. Ziarenka drobne mają kształt nieregularny i są w większości ostrokrawędziste. Natomiast ziarna grubsze, piaszczyste mają kształty bardziej izometryczne, przeważnie zaokrąglone. Ziarenka są zlepione substancją ilastą lub węglanową. Niekiedy tworzą większe agregaty.

## ZAWODNIENIE

Less na omawianym obszarze gromadzi pewne ilości wody, jednak brak tu stałego i ciągłego poziomu wodonośnego o szerszym rozprzestrzenieniu. Obecność wody w lessie należy przypisać istnieniu bardziej piaszczystych, lokalnych wkładek z których większość ma charakter soczewek.

Woda została stwierdzona w wierceniach nr 24, 26, 13, 4 i 50. Woda w wierceniu nr 24 i 26 ma przy tym duże ciśnienie w granicach od 6 do 8 m według J. Pawlak (1957); po zcierpaniu wody z otworu nie osiągała już ona tak wysokiego ciśnienia. Należy więc przypuszczać, że wody tego typu występują w układach zamkniętych i nie mogą być tak szybko ponownie zasilane. J. Pawlak stwierdziła także pewną ilość studzien gospodarskich czerpiących wodę z lessu. Studnie te jednak wysychały przeważnie w okresie letnim, co również potwierdziłoby przypuszczenie o ograniczonych warunkach zasilania tych warstw wodonośnych. Poziom wodonośny występuje bardzo często w spagowych partiach lessu lub w stropie glin zwałowych. Woda znajduje się tu także pod dużym ciśnieniem. Poziom ten zawiera większe ilości wody i stanowi źródła zaopatrzenia w wodę dla wielu gospodarstw wiejskich. Wpływ tego poziomu na stan zawilgocenia lessu jest bliżej nieokreślony.



Tabela 1

**Uziarnienie, wilgotność i konsystencja gruntów lessowych**  
**Otwór nr 4, 206 m n. p. m.**

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pł	il		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,7	Gπ	18	69	13	15,4	19,0	30,6	11,6	półzwarta
2,0 ÷ 2,2		15	73	12	16,4	18,7	36,9	18,2	półzwarta
2,9		20	69	11	11,5	19,3	29,4	10,1	półzwarta
4,0	π	13	82	5	9,8	20,6	26,9	6,3	zwarta
6,0 ÷ 6,2		15	79	6	15,9	20,61	27,5	6,89	półzwarta
7,0		18	74	8	12,8	18,5	26,0	7,5	półzwarta
10,0	Gπ	20	72	8	23,3	18,5	27,0	8,5	międko
11,7		15	73	12	22,5	18,8	27,0	8,2	plastyczna
12,7		17	73	10	20,0	21,1	26,4	5,3	półzwarta
15,2	π	19	71	10	20,1	20,5	34,3	13,8	półzwarta
16,7		15	71	14	22,5	19,2	37,0	17,8	twardo
18,7		20	72	8	20,7	18,2	30,0	11,8	twardo
20,7	Gπ	19	72	9	24,0	19,1	2,82	9,1	międko
21,8		20	67	13	19,9	18,3	29,4	11,1	plastyczna
23,8		23	64	13	20,9	18,3	30,2	11,9	twardo
26,25	π	30	64	6	17,4	17,4	23,2	5,0	plastyczna
27,25		21	61	18	17,8	17,1	37,7	20,8	twardo
									plastyczna

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 27,5 m od powierzchni terenu

Tabela 2

**Otwór nr 13, 185,95 m n. p. m.**

2,0	π	12	80	8	18,98	21,9	31,5	9,6	półzwarta
4,0		14	80	6	18,89	20,6	28,6	8,0	półzwarta
6,2		7	88	5	22,48	20,54	25,3	4,76	plastyczna
8,2		8	87	5	18,52	—	—	—	—
9,2		10	85	5	19,68	—	—	—	—
10,2		5	92	3	19,45	—	—	—	—
11,2		6	91	3	18,31	—	—	—	—
14,2		24	72	4	22,36	19,72	26,88	7,16	plastyczna

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 14,6 m od powierzchni terenu

Tabela 3

## Otwór nr 14, 218,80 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pł	il		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,7	π	19	74	7	14,59	18,0	24,4	6,4	półzwarda
2,0	Gπ	12	78	10	22,1	—	—	—	—
2,7	π	11	85	4	18,89	—	—	—	—
3,7	π	5	91	4	17,41	13,36	25,3	5,9	półzwarda
3,9	Gπ	1	84	15	49,52	19,61	28,44	8,8	płynna
4,0	π	11	81	8	23,7	19,0	26,7	7,7	plastyczna
5,7	π	6	89	5	19,71	17,2	24,5	7,3	plastyczna
6,0	π	13	82	5	20,4	18,0	23,1	5,1	plastyczna
6,7	π	7	86	7	20,1	18,02	26,99	8,97	twardo plastyczna
7,7	π	18	73	9	20,83	—	—	—	—
8,7	π	4	90	6	23,18	19,35	27,3	7,95	plastyczna
9,7	π	13	80	7	22,4	19,7	28,3	8,6	plastyczna
10,7	π	5	93	2	22,69	19,89	26,47	6,58	plastyczna
11,6	Gπ	18	70	12	20,52	18,25	29,73	11,48	twardo plastyczna

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 13,10 m od powierzchni terenu

Tabela 4

## Otwór nr 21, 195,40 m n. p. m.

0,9	π	34	61	5	18,07	—	—	—	plastyczna
1,9	π	28	67	5	16,69	20,09	25,33	5,14	plastyczna zwarda
2,0	π	19	73	8	15,0	—	—	—	—
2,9	π	20	75	5	18,31	19,07	23,92	4,85	plastyczna zwarda
3,9	π	27	70	3	15,68	17,47	23,82	6,35	plastyczna zwarda
4,0	π	20	72	8	12,5	—	—	—	—
4,9	π	28	67	5	14,46	17,96	24,70	6,74	plastyczna zwarda
5,9	π	20	74	6	20,72	18,77	25,37	6,60	twardo plastyczna
6,5	Gπ	9	79	12	19,6	18,02	27,6	9,4	twardo plastyczna
6,8	π	20	70	10	18,21	—	—	—	plastyczna
7,7	π	14	71	5	22,13	17,24	24,21	6,97	miętko plastyczna
9,6	Pg	70	27	3	9,7	—	—	—	—

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 9,6 m od powierzchni terenu

Tabela 5

## Otwór nr 16, 213,23 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pł	ił		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,0	Gπ	25	61	14	6,6	21,42	26,73	5,31	zwarta
2,0		17	73	10	17,58	—	—	—	—
2,3	π	30	61	9	16,50	20,54	25,3	4,76	półzwarta
2,95		16	76	8	9,85	20,76	31,90	11,14	zwarta
3,85		18	76	6	17,1	21,4	26,7	5,3	półzwarta
4,0		17	79	4	10,72	21,43	29,08	7,65	półzwarta
4,83		18	74	8	10,84	19,96	27,5	7,54	półzwarta
5,85		18	75	7	11,7	20,16	26,15	5,99	półzwarta
6,0		9	86	5	14,26	—	—	—	—
6,85		15	78	7	9,48	20,82	27,4	6,58	zwarta
7,85		15	79	6	11,6	12,19	21,86	9,67	półzwarta
8,85		20	72	8	8,84	20,9	28,2	7,3	zwarta
9,85		13	81	6	12,8	17,5	22,5	5,0	półzwarta
10,0		15	82	3	10,5	—	—	—	—
10,85		18	75	7	10,21	20,79	27,5	6,71	półzwarta
11,85		18	75	7	9,37	21,26	28,9	7,64	półzwarta
12,85		17	76	7	13,5	21,0	27,0	6,0	półzwarta
13,85		16	76	8	12,79	20,97	28,4	7,43	półzwarta
14,85	20	74	6	8,7	17,5	23,8	6,3	półzwarta	
16,0	18	75	7	13,69	20,29	25,86	5,57	półzwarta	
16,7	Gπ	13	74	13	16,5	14,4	27,1	13,2	twardo
17,3		12	75	13	13,44	17,28	32,6	15,32	półzwarta
18,3	π	15	77	8	12,8	19,31	29,0	9,69	półzwarta
19,45		15	76	9	19,7	18,4	25,37	7,0	plastyczna
20,1	Gπ	15	73	12	9,84	19,34	30,8	11,46	półzwarta

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 21 m od powierzchni terenu

Tabela 6

## Otwór nr 17, 200,27 m n. p. m.

0,70	π	17	78	5	20,82	20,95	30,80	9,85	półzwarta
1,5		13	72	15	19,95	19,33	27,3	8,0	twardo
1,9	Gπ	16	64	20	22,66	20,53	36,3	15,8	plastyczna
									twardo
2,0	π	22	66	12	—	—	—	—	—
2,5		11	74	15	24,70	13,33	31,0	18,67	międko
3,5		14	65	21	25,15	14,39	35,0	20,61	plastyczna



## Otwór nr 19, 184,48 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja	
		Ps	pł	ił		Lp	Ly	Wp		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4,2	πp	74	24	2	11,20	—	—	—	średnio zagęszczony	
4,8		45	52	3	10,92	—	—	—	twardo	
5,8		44	55	1	12,45	12,3	18,1	5,8	plastyczna	
6,1		52	46	2	8,9	19,6	22,1	2,4	półzwarda	
6,8		47	50	3	11,24	—	—	—	twardo	
7,8		48	51	1	13,48	12,5	21,4	8,9	plastyczna	
8,8		44	52	4	14,53	—	—	—	twardo	
9,8		43	54	3	15,48	14,8	22,3	7,5	plastyczna	
10,8		48	48	4	15,32	—	—	—	twardo	
11,8		π	33	64	3	11,23	11,0	20,4	9,4	plastyczna
12,8	πp	52	45	3	10,35	—	—	—	twardo	
13,8	Ps	42	57	1	15,35	12,8	19,2	6,4	plastyczna	
14,4		97	3	—	1,98	—	—	—	plastyczna	
15,0		π	30	67	3	16,91	20,14	22,8	2,68	zagęszczona
16,1		πp	38	58	4	20,16	17,49	22,5	4,51	półzwarda miękko
									plastyczna	

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 16,4 m od powierzchni terenu

Tabela 8

## Otwór nr 41, 209 m n. p. m.

0,80	π	22	66	12	17,6	19,4	43,3	23,9	półzwarda
2,0		13	81	6	11,5	17,0	22,3	5,3	półzwarda
4,0		13	83	4	18,6	17,5	24,0	6,5	twardo
5,7	Gπ	12	77	11	11,3	17,4	29,6	12,2	plastyczna
7,2		12	76	12	23,8	19,2	29,8	10,6	półzwarda
9,0		20	70	11	18,1	18,4	29,6	11,2	plastyczna
11,0		14	74	12	21,1	18,0	31,8	13,8	półzwarda twardo
									plastyczna

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 12,0 m od powierzchni terenu

Otwór nr 24, 211,57 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pł	ił		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,7	π	25	67	8	13,2	20,0	31,2	11,2	półzwarta
2,0		28	65	7	15,1	21,2	26,0	4,0	półzwarta
2,7		25	70	5	11,5	20,3	28,8	8,5	półzwarta
3,7		25	68	7	10,3	22,2	28,2	6,0	półzwarta
4,0		8	89	3	10,1	—	—	—	—
4,7		22	75	3	11,4	21,0	27,5	6,5	półzwarta
5,7		19	77	4	9,4	18,9	24,3	5,4	półzwarta
6,0		20	74	6	9,9	—	—	—	—
6,7		23	74	3	10,4	19,2	24,8	5,6	półzwarta
7,7		15	79	6	10,8	18,9	26,2	7,3	półzwarta
8,7		20	75	5	9,5	17,3	25,9	8,6	półzwarta
9,0		20	75	5	7,7	—	—	—	—
9,7		13	82	5	9,8	18,9	25,8	6,9	półzwarta
10,4		22	74	4	11,6	18,6	26,1	7,5	półzwarta
11,7		23	69	8	14,9	18,8	27,3	8,5	półzwarta
12,7		19	75	6	11,7	19,5	27,7	8,2	półzwarta
14,7		20	76	4	9,3	18,5	25,4	6,9	półzwarta
16,1		20	72	8	19,6	19,3	27,5	7,2	twardo plastyczna
17,2		17	74	9	24,2	21,0	26,5	5,5	miętko plastyczna
18,2		19	73	8	25,8	21,7	27,0	5,3	miętko plastyczna
19,2		25	66	9	24,5	18,4	25,6	7,2	miętko plastyczna
21,0		17	74	9	19,8	18,3	27,7	9,4	twardo plastyczna
22,0	12	80	8	20,6	19,2	29,2	10,0	twardo plastyczna	
23,0	Gπ	13	74	13	—	—	—	—	
23,7	πp	20	67	13	27,4	19,6	33,3	13,7	plastyczna
25,0		43	48	9	31,0	16,8	41,7	24,9	plastyczna
25,7	Pπ	87*)	11	1	—	—	—	—	zagęszczona
26,7		84	11	5	11,6	—	—	—	—
27,6	πp	53	38	9	16,4	12,5	23,6	11,1	plastyczna

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 28,0 m od powierzchni terenu

\*) 1% żwiru

Tabela 10

## Otwór nr 25, 202,67 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja	
		Ps	pł	ił		Lp	Ly	Wp		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,8	Gπ	18	67	15	12,32	21,32	39,50	18,19	półzwarda	
2,0		16	79	5	8,61	11,65	20,44	8,79	półzwarda	
2,5		13	80	7	9,13	18,63	31,75	13,12	zwarda	
3,0		18	74	8	5,30	20,48	25,50	5,02	zwarda	
4,0		23	71	6	6,80	20,21	26,40	6,19	zwarda	
4,5		21	74	5	10,06	19,82	27,20	7,38	zwarda	
5,0		20	73	7	9,62	19,66	25,70	6,04	zwarda	
6,0		14	77	9	10,18	20,45	30,40	9,95	zwarda	
6,5		13	81	6	9,69	21,19	25,70	4,51	zwarda	
7,0		20	74	6	7,66	20,27	25,70	5,43	zwarda	
8,0		π	20	73	7	10,31	10,21	20,6	10,39	twardo plastyczna
9,0			17	77	6	5,13	19,95	25,60	5,65	zwarda
9,5			20	78	2	7,5	—	—	—	—
10,0			18	75	7	7,66	20,10	26,85	6,75	zwarda
11,0			18	75	7	9,54	21,29	27,10	5,81	zwarda
12,0	16		77	7	9,94	20,76	26,30	5,54	zwarda	
13,0	15		78	7	9,36	21,44	27,0	5,56	zwarda	
15,0	15		79	6	12,43	12,19	21,86	9,67	twardo plastyczna	
16,0	12		81	7	8,42	20,08	29,10	9,02	zwarda	
20,0	16		76	8	16,0	17,47	23,82	6,35	półzwarda	
21,0	Gπ	13	74	13	18,60	20,11	30,60	10,49	półzwarda	
22,3		13	75	12	21,92	19,85	28,71	8,86	twardo plastyczna	
23,3	π	18	75	7	20,84	19,87	29,08	9,41	twardo plastyczna	
24,5	Gπ	22	64	14	19,07	18,01	31,67	13,66	twardo plastyczna	
25,4	π	24	69	7	18,40	19,07	23,92	4,85	półzwarda	

U w a g a : Spąg lessu na głębokości 26 m od powierzchni terenu

Tabela 11

## Otwór nr 26, 207,45 m n. p. m.

1,0	Gπ	17	72	11	14,1	20,1	38,4	18,3	półzwarda	
2,0		20	73	7	12,3	18,4	25,6	12,2	półzwarda	
2,5		21	76	3	8,3	19,1	25,9	7,8	półzwarda	
3,3		17	78	5	9,0	18,7	25,9	7,2	półzwarda	
4,3		π	20	74	6	8,3	18,7	26,1	7,4	półzwarda
4,7			13	84	3	10,7	18,5	25,6	7,1	półzwarda
5,3			19	76	5	—	—	—	—	—

## Otwór nr 26, 207,45 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pl	il		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,3		10	83	7	12,4	18,3	26,0	7,5	półzwarta
6,5		17	77	6	12,5	19,3	26,7	7,4	półzwarta
8,3		22	70	8	10,9	18,5	25,6	7,1	półzwarta
9,0		13	80	7	12,3	—	—	—	—
9,3		20	75	5	9,1	19,2	26,5	7,3	półzwarta
10,3	π	20	73	7	11,2	19,3	26,4	7,1	półzwarta
11,3		18	78	4	9,8	20,0	27,5	7,5	półzwarta
12,3		15	80	5	12,5	18,7	26,9	8,2	półzwarta
13,3		15	79	6	13,0	19,8	27,6	7,8	półzwarta
14,4	Gπ	10	76	12	16,3	19,0	28,4	9,4	półzwarta
15,3	π	9	82	9	14,0	19,3	31,0	11,7	półzwarta
16,8	Gπ	13	75	12	19,3	16,5	30,5	13,0	twardo plastyczna
17,8	π	20	75	5	14,6	18,2	27,8	9,6	półzwarta
18,8		14	79	7	17,9	18,7	27,1	8,4	półzwarta
19,8		10	78	12	22,3	17,7	28,5	10,8	plastyczna
20,8	Gπ	18	68	14	22,1	17,6	30,3	12,7	plastyczna
22,6		15	73	12	18,9	17,3	31,0	13,7	twardo plastyczna
23,3	πp	32	60	8	21,7	18,9	22,6	3,7	międko plastyczna
24,0	G	30	56	14	20,2	17,2	33,2	16,0	plastyczna
25,0	π	23	68	9	25,9	18,6	28,3	9,7	międko plastyczna

U w a g a : Spąg lessu na głębokości 26 m od powierzchni terenu

Tabela 12

## Otwór nr 27, 199,22 m n. p. m.

1,0		21	72	7	11,79	21,88	29,2	7,32	zwarta
2,0		17	77	6	8,45	21,40	26,7	5,30	zwarta
2,0 ÷ 2,2		20	76	4	8,65	22,43	28,9	6,47	zwarta
3,0		17	79	4	9,91	20,70	28,3	7,60	zwarta
4,0		18	77	5	10,26	20,13	27,4	7,27	zwarta
4,0 ÷ 4,2	π	13	83	4	10,89	20,75	26,75	6,0	zwarta
4,8		17	78	5	11,83	19,54	27,94	8,40	półzwarta
5,8		16	79	5	11,08	20,37	27,65	7,28	półzwarta
6,4 ÷ 6,6		20	78	2	10,93	22,27	29,30	7,30	zwarta
6,9		16	80	4	10,74	21,41	28,30	6,89	zwarta
7,9	Gπ	4	82	14	12,14	20,67	31,80	11,13	półzwarta
8,9		16	77	7	12,44	20,78	28,95	8,17	półzwarta
9,8	π	12	80	8	13,74	19,41	28,30	9,39	półzwarta



Otwór nr 27, 199,22 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pł	il		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10,0 ÷ 10,2		9	86	5	15,09	20,89	30,10	9,41	półzwarda
10,9	Gπ	10	80	10	15,51	20,38	31,40	11,02	półzwarda
11,9	π	7	86	7	15,82	19,55	30,90	11,35	półzwarda
12,6	Gπ	9	81	10	23,58	20,2	26,3	6,1	miętko
									plastyczna
13,6		12	73	15	18,35	18,51	29,10	10,59	półzwarda
14,4	Gπ	15	72	13	17,65	17,93	25,80	7,87	półzwarda
15,2		17	74	9	12,54	19,73	31,90	12,17	półzwarda
15,9		13	75	12	19,41	—	—	—	—
16,5	π	17	76	7	17,15	20,28	31,55	11,27	półzwarda
17,2		3	81	16	19,15	20,34	31,60	11,26	półzwarda
18,3	Gπ	12	75	13	23,7	20,1	27,8	7,7	plastyczna
19,1		28	60	12	19,6	14,5	23,0	8,5	miętko
									plastyczna
19,2	πp	60	34	6	12,0	12,3	16,5	4,2	półzwarda

U w a g a : Spąg lessu na głębokości 21,5 m od powierzchni terenu

Tabela 13

Otwór nr 46, 220 m n. p. m.

1,4		17	74	9	6,9	22,0	32,9	10,9	półzwarda
2,0		13	81	6	9,9	18,4	27,3	8,9	półzwarda
2,3		16	77	7	10,1	21,5	29,8	8,3	półzwarda
3,5		15	78	7	10,8	18,2	27,8	9,6	półzwarda
4,0		15	81	4	14,5	23,0	31,8	8,8	półzwarda
6,0	π	13	82	5	20,4	19,7	26,0	6,3	twardo
									plastyczna
7,5		21	72	7	20,4	20,3	27,0	6,7	twardo
									plastyczna
9,5		10	83	7	21,2	21,0	27,5	6,5	twardo
									plastyczna
11,5		10	82	8	21,8	20,1	29,0	8,9	twardo
									plastyczna
12,5	Gπ	8	79	13	20,1	18,2	30,4	12,2	twardo
									plastyczna
14,1		15	73	12	21,2	19,2	30,3	11,1	twardo
									plastyczna
15,2	π	13	81	6	20,6	18,6	29,0	10,4	twardo
									plastyczna
17,2	Gπ	17	70	13	21,8	20,0	30,3	10,3	twardo
									plastyczna

U w a g a : Spąg lessu na głębokości 17,7 m od powierzchni terenu

Tabela 14

## Otwór nr 50, 222 m n. p. m.

Głębokość pobrania próbki w m	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %			Wilgotność naturalna W	Wskaźniki konsystencji			Konsystencja
		Ps	pł	il		Lp	Ly	Wp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,0	Gπ	15	70	15	18,8	21,5	39,6	18,1	półzwarda
2,0	π	15	78	7	14,9	18,4	29,2	10,8	półzwarda
4,0		20	76	4	20,7	19,5	27,8	8,3	twardo
6,0 ÷ 6,2		6	88	6	21,1	21,0	29,8	8,8	plastyczna
8,7	Gπ	8	83	9	22,0	19,5	27,5	7,0	twardo
11,0		17	82	15	21,9	18,0	32,3	14,3	plastyczna
12,35	π	16	75	9	20,7	18,7	27,6	8,9	twardo
14,3	Gπ	14	72	14	20,8	20,6	32,2	11,6	plastyczna
16,5		16	68	16	20,5	18,8	31,6	12,8	twardo
									plastyczna

U w a g a: Spąg lessu na głębokości 18,1 m od powierzchni terenu

Tabela 15

## Kwaskowa Góra, 175 m n. p. m.

1,6	π	15	82	3	7,0	22,4	28,5	6,1	półzwarda	
2,1		15	81	4	5,1	20,9	27,3	6,4	półzwarda	
3,3		12	82	6	6,0	21,6	28,3	6,7	półzwarda	
4,8		13	84	3	9,4	21,1	26,4	5,3	półzwarda	
6,1		13	80	7	10,3	20,9	27,3	6,4	półzwarda	
6,2 ÷ 6,4		12	82	6	10,0	19,0	28,0	9,0	półzwarda	
7,7		9	74	7	13,8	20,8	27,6	6,6	półzwarda	
7,8 ÷ 8,0		8	83	9	7,0	21,5	34,0	12,5	półzwarda	
8,4 ÷ 8,6		15	77	8	16,7	20,2	33,8	13,8	półzwarda	
9,0		16	81	3	10,6	21,3	26,4	5,1	półzwarda	
10,2 ÷ 10,4		12	82	6	12,1	22,2	28,0	5,8	półzwarda	
12,0		Gπ	12	76	12	22,4	19,4	32,4	13,0	twardo
12,6		π	6	85	9	23,3	20,3	32,7	12,4	plastyczna
15 (2,4)*			22	72	6	13,5	19,9	27,3	7,6	półzwarda

\*) przy wylocie z dna wąwozu

Tabela 16

## Łopatki - Cegielnia, 204,29 m n. p. m.

2,5 ÷ 2,7	π	—	—	—	9,5	17,8	23,7	5,9	półzwarda
5,6 ÷ 5,8		20	74	6	19,7	21,3	28,3	7,0	półzwarda

## WŁASNOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE

## UZIARNIENIE LESSÓW I ICH PODZIAŁ (wg PN-54/B 02480)

Pod względem składu ziarnowego i procentowych zawartości poszczególnych frakcji less na omawianym obszarze dzieli się następująco: piasek pylasty, piasek gliniasty, pył piaszczysty, pył, glina pylasta, glina. Jak z tego wynika, uziarnienie lessów jest bardzo zróżnicowane. Podział ten w ogólnym zarysie pokrywa się z wykształceniem litologicznym lessu i jego podziałem stratygraficznym.

Rozmieszczenie poszczególnych rodzajów gruntów lessowych przedstawiają profile na figurze 4 a, b, c, na których zestawiono wiercenia w przekroju wschód—zachód i w kierunkach prostopadłych. Uziarnienie przedstawiono na tabeli 1÷16.

Pyły — są najbardziej rozprzestrzenione i mają największą miąższość. Są to poziomy lessu typowego przede wszystkim górne o znacznej miąższości dochodzącej do 23 m w wierceniu nr 24. Poziomy dolne występujące na różnych głębokościach nie są tak grube i maksymalna ich miąższość wynosi 4 m w wierceniu nr 4.

Różnice zawartości w poszczególnych granicach są bardzo duże i wynoszą od 4 do 30% frakcji piaszczystej, od 66 do 93% frakcji pylastej i od 2 do 9% frakcji ilastej. Jak z tego wynika, nie można mówić o jednolitym uziarnieniu gruntu pylastego w bardziej węższych granicach. Zawartość frakcji ilastej zwiększa się zawsze w poziomach dolnych lessu młodszego, które w opisach są określone jako less słabo zgliniony. Zglinienie to jest niemal charakterystyczne dla spągowych partii lessu typowego, tak młodszego, jak i starszego (wyłączając glebowe poziomy zglinienia). Pyły są przeważnie popielatożółte lub żółtoszare. Gliny pylaste — zawierają od 1 do 28% frakcji piaszczystej, od 59 do 86% pylastej i od 10 do 23% ilastej. Są to bardzo charakterystyczne poziomy oddzielające warstwy lessu typowego. Miąższość ich w niektórych miejscach jest bardzo duża i maksymalnie dochodzi do 10 m, np. w wierceniu nr 50. Są one barwy brunatnej lub rdzawobrunatnej. Na powierzchni terenu występują tylko niewielkie płyty o miąższości około od 1 do 1,5 m.

Gliny — zostały stwierdzone tylko w wierceniu nr 26 i 17. Grubość ich jest niewielka. Ten rodzaj gruntu nie jest typowy dla omawianego obszaru lessowego. Pyły piaszczyste, piaski pylaste i piaski gliniaste — występowanie tych gruntów jest związane z różnym stopniem zapiaszczenia lessu. Odnosi się to w pierwszej kolejności do poziomów spągowych, którymi rozpoczyna się profil sedymentacyjny lessu oraz do poziomów powstałych w warunkach mrozowych opisanych w przekroju cegielni Łopatki. Ponadto zapiaszczenie lessu odnosi się także do poziomów deluwialnych, których profil występuje w wierceniu nr 19. Grunty te na powierzchni terenu występują w dolinach jako współczesne deluwia lessowe o znacznej miąższości (w wierceniu nr 19 miąższość ich wynosi 17 m). Grunty z dużą domieszką frakcji piaszczystej zostały również stwierdzone w wierceniach nr 26 i 24.

Z powyższego wynika, że na omawianym obszarze mamy trzy najważniejsze rodzaje gruntów lessowych tak pod względem swego rozprzestrzenienia, jak i miąższości: pyły, gliny pylaste i grunty piaszczysto-pylasto-deluwialne.

#### WILGOTNOŚĆ

Każdy z wymienionych rodzajów gruntów lessowych wykazuje inną wilgotność naturalną. Analizując poszczególne wartości należy stwierdzić, że poziomy pylaste są na ogół mniej wilgotne, natomiast poziomy glin pylastych są bardziej wilgotne i osiągają wartość do 27%. Takie zróżnicowanie wynika z odmiennych własności tych gruntów, ale zależy też od warunków terenowych i możliwości gromadzenia się pewnych ilości wody w warstwie lessu. Less, w którym stwierdzono obecność wody gruntowej, wykazuje podwyższone zawilgocenie w całym profilu, co jest niewątpliwie wynikiem kapilarnego wzniosu wody. Wilgotność w poszczególnych punktach badawczych przedstawiono graficznie na figurze 4.

#### KONSYSTENCJA

Wymienione wyżej rodzaje gruntów mają zmienną konsystencję. Pyły są przeważnie półzwarne i często twardo plastyczne. Gliny pylaste twardo plastyczne i plastyczne. Pozostałe rodzaje gruntów są plastyczne lub miękkoplastyczne. Zmienność konsystencji zaznaczono na poszczególnych profilach, które przedstawia figura 4. Natomiast zależność konsystencji (w tym wypadku wyraźną przez stopień plastyczności), od zmiany wilgotności kilku odmian gruntów lessowych przedstawiono na figurze 5 dla próbek najbardziej typowych pod względem wrażliwości na zawilgo-

T a b e l a 17

Rodzaj wskaźników	Rodzaj gruntu					Ilość zbadanych próbek
	pył	głina pylasta	pył piaszczysty	piasek pylasty	piasek gliniasty	
Ciężar właściwy	2,65 ÷ 2,71	2,65 — 2,69	2,66 <sup>1</sup> — 2,69	2,66 — 2,67	2,68	141
Ciężar objętościowy	1,53 ÷ 2,68	1,93 — 2,00	—	1,50 — 1,85	193	54
Porowatość	35,8 ÷ 47 <sup>2</sup>	37,7 — 38,5	—	37 — 49	—	50

Uwaga: <sup>1</sup> W jednej próbce o dużej zawartości substancji organicznej uzyskano wartość 2,59  
<sup>2</sup> W dwóch wypadkach uzyskano dla pyłu wartość 31.

cenie. Z wykresów powyższych wynika, że z grupy gruntów makroporowatych najmniej są wrażliwe na zmianę wilgotności gliny pylaste ciężkie, najbardziej zaś pyły i pyły piaszczyste. Należy przy tym wskazać na różny stopień plastyczności dla różnych odmian gruntów przy jednokowej wilgotności. Zestawienie wyników przedstawia tab. 1.

#### CIEŻAR WŁAŚCIWY

Ciężar właściwy oznaczono na 141 próbkach. Otrzymane na tych próbkach wartości są na ogół zbliżone i powtarzają się we wszystkich prawie

poziomach lessu. Wynoszą one od 2,65÷2,71 g/cm<sup>3</sup>. W jednym tylko wypadku uzyskano wartość 2,64 dla gliny pylastej w wierceniu nr 4 na głębokości 15,2 m. Najczęściej powtarzają się wartości 2,66 i 2,67. Różnice ciężarów właściwych dla poszczególnych gruntów nie wskazują wyraźnej zależności od zawartości minerałów ciężkich.

Śladowe domieszki minerałów ciężkich nie mają więc odzwierciedlenia w wartościach ciężaru właściwego. Tak duży rozrzut wartości nie pozwala określić czy ciężar właściwy jest cechą charakterystyczną dla poszczególnych rodzajów gruntów (tab. 2).

#### CIEŻAR OBJĘTOŚCIOWY

Wartość ciężaru objętościowego przedstawiono na tabeli 2. Uzyskane wartości dotyczące trzech odmian gruntów lessowych, pyłu, gliny pylastej i piasku pylastego, są dość zróżnicowane. Największe różnice występują w pyłach, mniejsze w piaskach pylastych i najmniejsze w glinach pylastych.

Najwyższy ciężar objętościowy mają więc gliny pylaste, najniższy — piaski pylaste. Nie stwierdzono, aby wartości ciężaru objętościowego układały się charakterystycznie z głębokością lub poziomami, dla określonych rodzajów gruntów. Zmienność jest tak duża jak i przy porowatości.

#### POROWATOŚĆ

Less na omawianym obszarze posiada porowatość zmienną. Największe różnice wykazują pyły i piaski pylaste, najniższe gliny pylaste. W poszczególnych punktach badawczych można zauważyć pewną charakterystyczną zależność porowatości od głębokości. Mniej więcej do głębokości od 5 do 6 m porowatość jest bardzo zróżnicowana i wykazuje wartości w granicach od 35,8 do 40,7%. Poniżej zaś tej głębokości wartości porowatości stopniowo maleją i nie wykazują już takiej zmienności, jak w warstwie wyżejległej. Wartości są na tej głębokości niższe od 40%, przeważnie wynoszą od 37 do 38%. Największa wartość porowatości wynosi 49, uzyskana dla deluwialnego piasku pylastego.

#### WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE

Tarcie wewnętrzne i kohezja. — Oznaczenie tych własności przeprowadzono na 27 próbkach z pyłów i glin pylastych w aparacie trójosiowym. Pomimo dość znacznej ilości próbek o nienaruszonej strukturze, nie z każdej udało się wyciąć wymaganą próbkę bez naruszenia jej naturalnej struktury. Większość z nich wskutek bardzo małej spoiwości ulegała rozkruszeniu albo podczas wycinania, albo w czasie zakładania do aparatu. Były to przeważnie próbki pylaste. Z tego powodu ilość oznaczeń jest niewielka.

Uzyskane wartości przedstawiono na tabeli 18. Wartości te są rozbieżne i nie ilustrują całkowicie oporu na ścinanie gruntów lessowych. Poniżej przedstawiono próby badania zależności poszczególnych parametrów, jednak ze względu na małą ilość zbadanych próbek mają one tylko charakter orientacyjny.

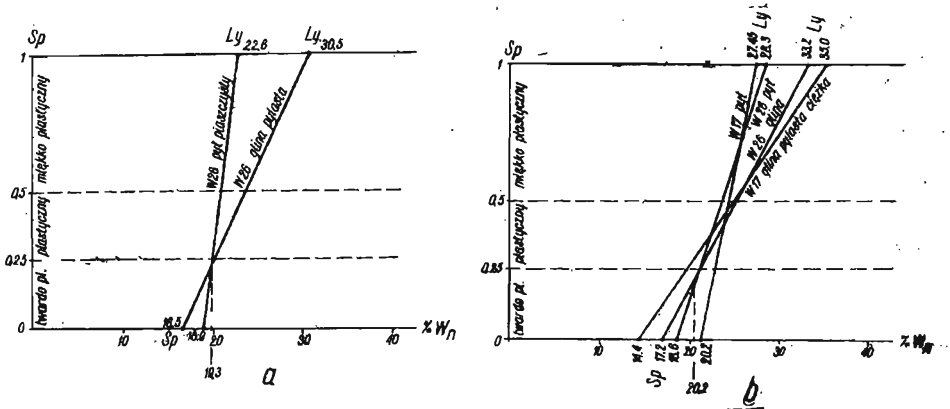


Fig. 5. Wykres zależności konsystencji różnych odmian (a, b) gruntów lessowych od wilgotności

Diagrams of interdependence between consistency of various loess types (a, b), and humidity

Najbardziej charakterystyczne są wartości kąta tarcia wewnętrznego, którego zmienność u pyłków zawiera się w granicach 20°20' do 40°10'. Tak dużą różnicę należy przypisać zmienności składu granulometrycznego, przede wszystkim dużej w niektórych próbkach zawartości frakcji piaszczystej dochodzącej do 30%.

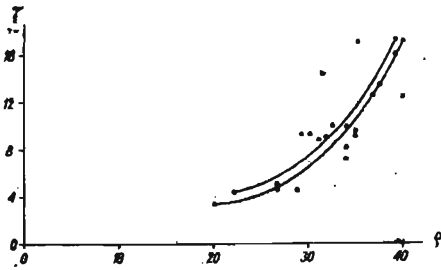


Fig. 6. Wykres zależności między wytrzymałością na ścinanie a kątem tarcia wewnętrznego gruntów pylastych

Diagram of interdependence between shearing strength and angle of interior friction of silty soils

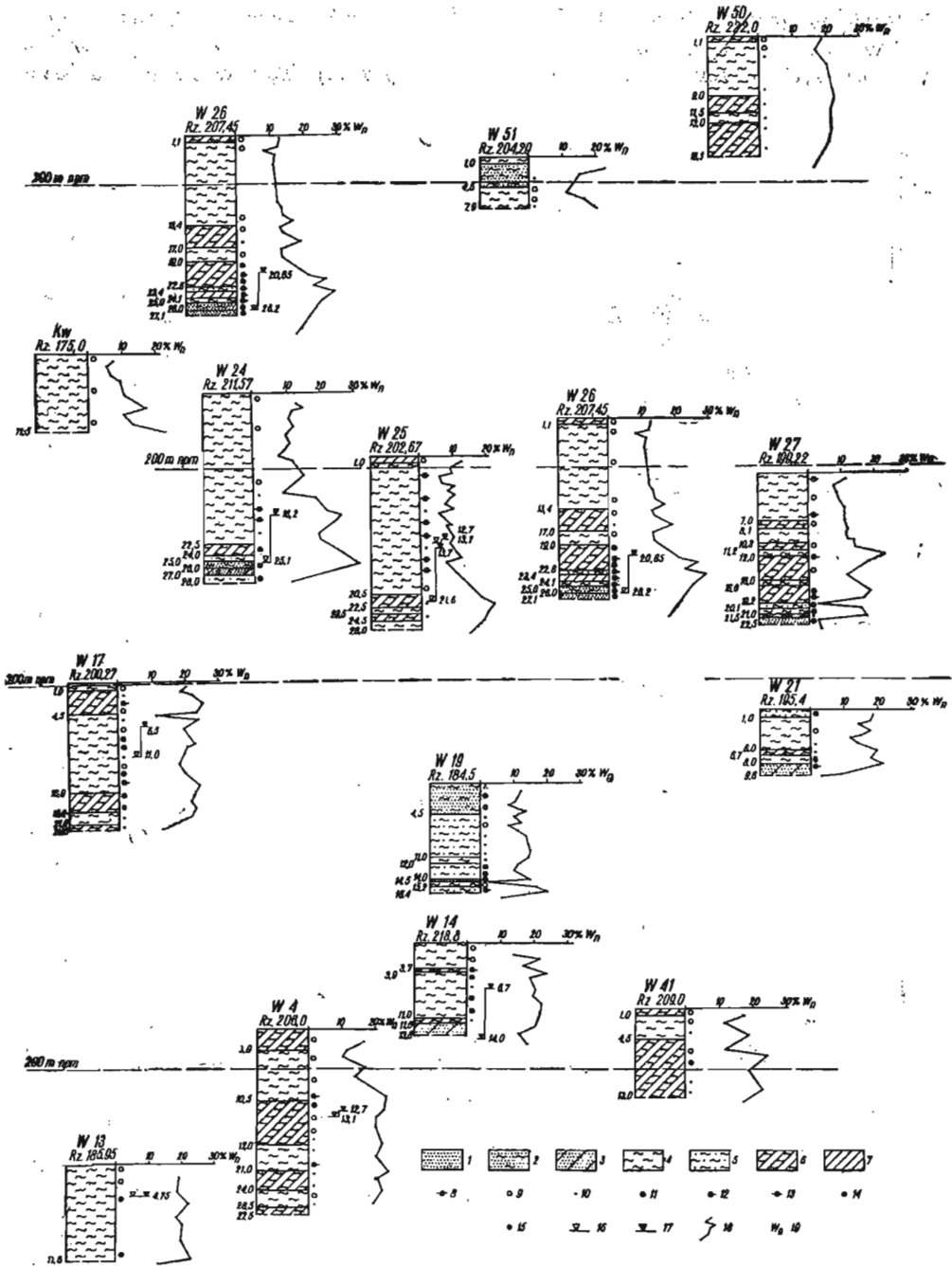
Zależność między wytrzymałością na ściskanie  $\tau$  a kątem tarcia wewnętrznego  $\phi$  przedstawiono na figurze 6. Wykres ten sporządzono dla próbek pylastych o różnej wilgotności i spójności. Ten fakt tłumaczy nam może odchylenia punktów od krzywych widocznych na figurze 6.

Jeżeli przyjmujemy, że wykres ten charakteryzuje grunty, najbardziej typowe pod względem tarcia, wtedy wszystkie wartości dla gruntów tego typu powinny leżeć w polu zakreślonym przez obie krzywe przedstawione na figurze 6.

Kohezja lessu jest także zmienna w szerokich granicach. Z dwudziestu siedmiu zbadanych próbek, osiem jest bezkohezyjnych, trzynaście posiada

stencja gruntów: 8 — zwarta, 9 — półzwarta, 10 — twardoplastyczna, 11 — plastyczna, 12 — miękkoplastyczna, 13 — płynna. Zagęszczenie gruntów: 14 — zagęszczone, 15 — mało zagęszczone. Zawodnienie gruntów: 16 — poziom wody nawierconej, 17 — poziom wody ustalony, 18 — wykres wilgotności, 19 — wilgotność naturalna

Determinations of soils: 1 — medium-grained sand, 2 — silty sand, 3 — clayey sand, 4 — silt, 5 — sandy silt, 6 — silty clay, 7 — clay. Consistency of soils: 8 — compacted, 9 — semicompacted, 10 — sparingly pliable, 11 — pliable, 12 — soft-pliable, 13 — fluid. Compressibility of soils: 14 — compressed, 15 — feebly compressed. Water content: 16 — water level when penetrated, 17 — stabilized water level, 18 — diagram of humidity, 19 — natural humidity.



← Fig. 4. Rozmieszczenie poszczególnych odmian gruntów lessowych w wierceniach

Location of individual varieties of loess in bore holes

Oznaczenia gruntów: 1 — piasek średni, c. ziarnisty, 2 — piasek pylasty, 3 — piasek gliniasty, 4 — pył, 5 — pył piaszczysty, 6 — glina pylasta, 7 — glina. Konsy-

kohezję w granicach od 0,1 do 0,5 kG/cm<sup>2</sup> i sześć pozostałych mają wyższe wartości, przy czym największa wynosi 1,2 kG/cm<sup>2</sup>. Wysoką również wartość 1,75 kG/cm<sup>2</sup> uzyskano dla gliny pylastej. Tak wysokie wartości

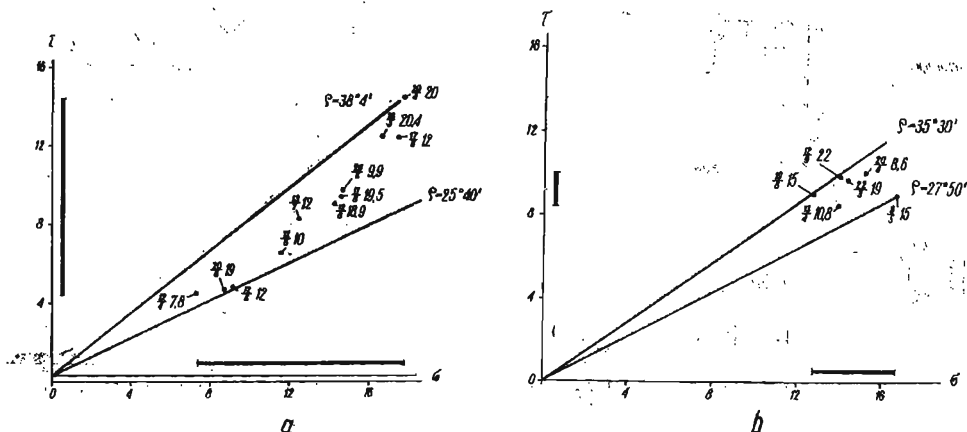


Fig. 7. Wykresy ilustrujące wielkości naprężeń  $\sigma$  i  $\tau$

Diagrams illustrating degree of stresses  $\sigma$  i  $\tau$

a — w gruntach pylastych bezkohezyjnych w granicach minimalnej i maksymalnej wartości, b — w gruntach kohezyjnych (dla średniej wartości 0,3 kG/cm<sup>2</sup>) w granicach minimalnej i maksymalnej wartości

a — in cohesive silty soils (for average value 0,3 kg/cm<sup>2</sup>) within limits of minimum and maximum values, b — in cohesionless silty soils, within limits of minimum and maximum values

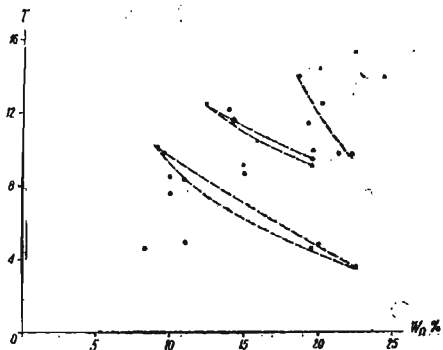


Fig. 8. Orientacyjny wykres ilustrujący możliwe zależności między naprężeniem  $\tau$  a wilgotnością naturalną  $W_n$

Conjectural diagram suggesting interdependence between stress and natural humidity  $W_n$

gotność naturalną. W ten sam sposób sporządzono wykres na figurze 7a dla próbek o kohezji  $0 < c \leq 0,5$  kG/cm<sup>2</sup>, przy czym jako średnią wielkość kohezji przyjęto wartość 0,3 kG/cm<sup>2</sup>.

w odniesieniu do lessów nie zostały dotąd uzyskane i nie są nawet znane z literatury, dlatego do tych dwu wartości należy odnosić się raczej krytycznie. Na figurze 7a i 7b przedstawiono zależności między naprężeniami  $\sigma$  i  $\tau$  oraz kątem tarcia wewnętrznego  $\phi$  i spójnością  $c$ . Wykres na figurze 7b sporządzono dla próbek pylastych bezkohezyjnych dla minimalnej i maksymalnej wartości  $\phi$ , które wyznaczają wykreślone proste. W zakreślonym w ten sposób polu, naniesiono pozostałe próbki według odpowiadających im wartości. Dla orientacji podano procentową zawartość frakcji piaszczystej (wpisaną w liczniku), ilastej (wpisaną w mianowniku), obok ułamka zaś wpisano wilgotność naturalną.

W ten sam sposób sporządzono wykres na figurze 7a dla próbek o kohezji  $0 < c \leq 0,5$  kG/cm<sup>2</sup>, przy czym jako średnią wielkość kohezji przyjęto wartość 0,3 kG/cm<sup>2</sup>.



Z porównania obu wykresów wynika, że dla danych wartości  $\tau$  i  $\sigma$  próbki bezkohezyjne grupują się na niewielkiej przestrzeni. Natomiast, próbki kohezyjne układają się kierunkowo wzdłuż prostej połowiącej wyznaczone pole z niewielkimi odchyleniami. Z wykresów tych wynika, że przedziały  $\tau$  i  $\sigma$  są niewielkie dla gruntów bezkohezyjnych i znacznie powiększają się w gruntach kohezyjnych. Wniosek taki znajduje potwierdzenie w obserwacjach terenowych. Spotyka się tu zbocza statyczne o różnych kątach nachylenia. W niektórych tylko wypadkach widoczne są ślady ruchów osuwiskowych (garby i pęknięcia), jednak o niewielkich rozmiarach. Zagadnienia tego nie należy oczywiście wiązać z erozją wodną, która przez podmycie wysokich stromych ścian parowów, powoduje powstawanie obrywów. Wpływ wody na wielkość  $\tau$  jest mało widoczny na podstawie uzyskanych wyników. Próbę przedstawienia zależności  $\tau$  od  $W_n$  dla próbek pylastych ilustruje figura 8. Z dużego rozrzutu punktów można wnioskować, iż istnieją różne grupy w obrębie nawet gruntów pylastych, których zawilgocenie do pewnej granicy nie ma bezpośredniego wpływu na wielkość, jak to się dzieje w gruntach ilastych. Zjawisko to jest niewątpliwie związane z własnościami fizycznymi, które jak z tego wynika są zmienne nawet w obrębie jednego rodzaju gruntu.

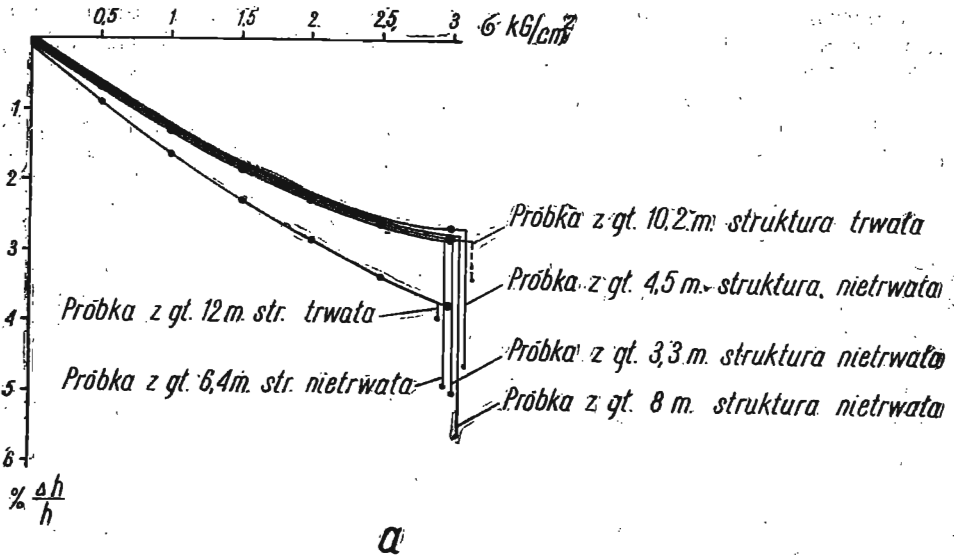
### ŚCIŚLIWOŚĆ

Badanie ściśliwości przeprowadzone na pięćdziesięciu czterech próbkach na edometrach typu ŻW2 przystosowanych do próbek o powierzchni 32,96 cm<sup>2</sup> i wysokości od 2,75 do 2,78 cm. Wyniki uzyskanych badań przedstawiono na tabeli nr 19. Z analizy uzyskanych wyników daje się zauważyć różnica w ściśliwości poszczególnych odmian gruntów lessowych. Jednak każda z odmian tych gruntów ma prawie jednakową ściśliwość. Dla przykładu sporządzono dwa wykresy ściśliwości próbek, z profilu Kwaskowej Góry i z wiercenia nr 26 (fig. 9).

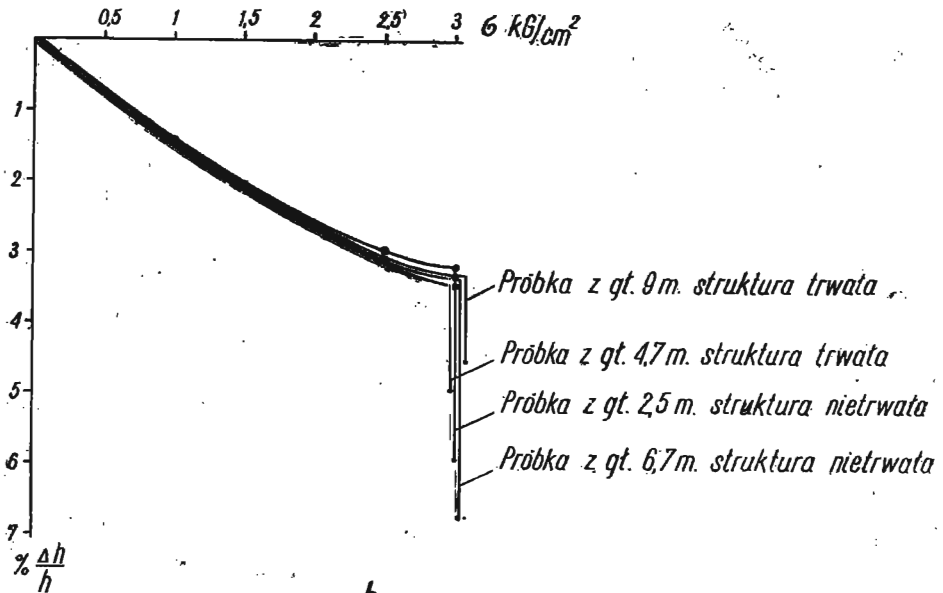
Jak wynika z figury 9 ściśliwość próbek pylastych jest prawie identyczna. Nieznacznie tylko różnice są widoczne u próbek z wiercenia 26 na głębokości 4,7 m i z Kwaskowej Góry na głębokości 3,3 m. Większe osiadanie wykazuje próbka z Kwaskowej Góry bardziej zgliniona pobrana z głębokości 12 m.

Analiza wyników z innych próbek wskazuje, że gliny pylaste są bardziej ściśliwe. Tak np. ściśliwość 4,6% ma próbka gliny pylastej z wiercenia nr 17 z głębokości 1,9 m. Różnice ściśliwości stwierdzono także wśród pyłów mających różną konsystencję. W wierceniu nr 17 na głębokości 6,9 m występuje pył półzwały, którego ściśliwość wynosi 2,75%, na głębokości zaś 9,4 — miękkoplastyczny, którego ściśliwość wynosi 2,84%. Różnice te są widoczne na wykresie, który przedstawia figura 10. Różnica w ściśliwości obu próbek wynosi 0,9%.

Największa ściśliwość lessu występuje przy obciążeniu do 3 kG/cm<sup>2</sup> przy dalszym obciążeniu stopniowo maleje. W celu stwierdzenia różnicy ściśliwości przy większym obciążeniu niż 3 kG/cm<sup>2</sup> obciążono próbkę z wiercenia nr 27 z głębokości 10 m, do 5 kG/cm<sup>2</sup>. Przy obciążeniu do 3 kG/cm<sup>2</sup> ściśliwość wynosi 3,4%, a przy 5 kG/cm<sup>2</sup> zwiększyła się tylko o 0,8%, (fig. 11).



a



b

Fig. 9. Wykres ściśliwości próbek lessu :

Diagram of compressibility of loes samples

a — w profilu Kwaskowej Góry zawilgoconych przy obciążeniu  $3 \text{ kg/cm}^2$ , b — wiercenia nr 28 zawilgoconych przy obciążeniu  $3 \text{ kg/cm}^2$ a — from Kwaskowa Góra section, humid, under load —  $3 \text{ kg/cm}^2$ , b — from section of bore-hole No. 28, humid under load —  $3 \text{ kg/cm}^2$

Podobnie w próbkach z wiercenia nr 14 przy obciążeniu  $3 \text{ kG/cm}^2$  ścisłość wynosi około  $3,6\%$  i powiększa się  $1,4\%$  przy obciążeniu  $6 \text{ kG/cm}^2$ . Mało widoczna jest zależność ścisłości między porowatością a obciążeniem.

Na figurze 12 przedstawiono zmienność wskaźnika porowatości  $\varepsilon$  w zależności od obciążenia w próbkach pobranych w profilu Kwaskowej

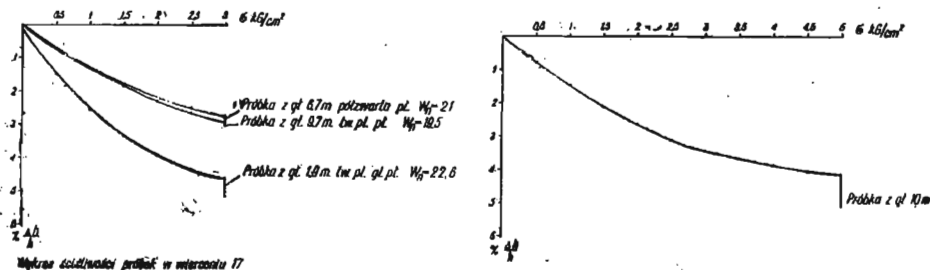


Fig. 10. Wykres ścisłości próbek lessu w profilu wiercenia nr 17

Diagram of compressibility of loess samples from section of bore-hole No 17

$W_n$  = wilgotność naturalna

$W_n$  = natural humidity

Fig. 11. Wykres ścisłości zawilgoconej próbki lessu z wiercenia nr 27 przy obciążeniu  $5 \text{ kG/cm}^2$

Diagram of compressibility of loess sample from bore-hole No. 27 humid, under load —  $5 \text{ kg/cm}^2$

Góry. Największą różnicę  $\varepsilon$  w przedziale  $0,5 \div 3 \text{ kG/cm}^2$  wynoszącą  $0,07$  wykazuje próbka lessu gliniastego z głębokości  $12 \text{ m}$ , najmniejszą zaś  $0,04$  próbki pyłu z głębokości  $6,5$  i  $10,2 \text{ m}$ , dla tego samego przedziału obciążeń.

Z powyższych rozważań wynika więc, że istnieją różnice w ścisłości poszczególnych odmian gruntów lessowych. Natomiast nie ma dużych różnic ścisłości w obrębie jednej odmiany gruntu lessowego. Zmienność ścisłości z głębokością jest trudna do stwierdzenia, gdyż badane próbki odnoszą się tylko do warstw lessu górnego.

Z lessu dolnego zbadano tylko jedną próbkę, która, jak wynika z wykresu na figurze 9, jest bardziej ścisła, jednak nie może stanowić podstawy do charakterystyki lessu dolnego w tym zakresie.

Można przypuszczać na podstawie porównania z wykresu 9, że własności lessu dolnego pod względem ścisłości będą podobne, a różnice mogą

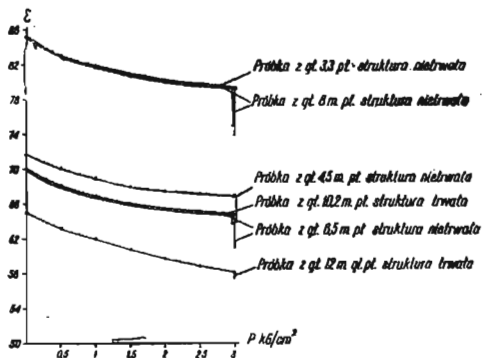


Fig. 12. Wykres zmienności wskaźnika porowatości  $E$  w zależności od obciążenia  $P$  dla lessu w profilu Kwaskowej Góry.

Diagram of variability of porosity index  $E$ , depending on load  $P$ , for loess from Kwaskowa Góra section

być spowodowane zmiennymi stanami fizycznymi, głównie konsystencji, co wiąże się z lokalnymi warunkami zawodnienia.

### WRAŻLIWOŚĆ STRUKTURALNA I ZAPADOWE OSIADANIE LESSU

Wrażliwość strukturalną lessu określono według zalecenia PN-54/B 02480. Zbadanych zostało trzydzieści siedem próbek, wśród których są w większości pyły, a tylko cztery próbki gliny pylastej. Gлина pylasta wykazuje we wszystkich wypadkach strukturę trwałą. Pyły mają strukturę trwałą i nietrwałą.

Zmienność struktury najlepiej charakteryzują wyniki profilu z Kwaskowej Góry (tab. 19). Do głębokości 8 m w tym profilu less ma strukturę nietrwałą. Natomiast na głębokości 10,4 m posiada już strukturę trwałą. Głębokość ta od 8 do 10 jest dolnym poziomem lessu młodszego. Wykazuje on zwiększoną zawartość frakcji ilastej, co można uważać za przyczynę niewrażliwości wobec wody.

Tabela 18

Nazwa punktu badawczego	Głębokość pobrania próbki	Kąt tarcia wewnętrznegop	tg p	Kohezja c	Nazwa punktu badawczego	Głębokość pobrania próbki	Kąt tarcia wewnętrznegop	tg p	Kohezja c
Kwaskowa Góra	6,1	33°50'	0,67	0,25	W 16	6,00	40°10'	0,84	0,84
	10,2	25 40	0,48	0,5		10,00	38 50	0,83	0,0
	12,00	18 45	0,34	0,5	W 46	6,00	36 10	0,73	0,3
W 26	6,5	37 30	0,77	0,1	W 17	6,7	39 40	0,83	0,83
	9,00	33 10	0,65	0,2		9,4	31 —	0,60	0,5
Łopatki	5,6	25 40	0,48	0,4	W 14	2,00	34 4	0,69	0,0
W 50	4,00	38 4	0,8	0,2		6,00	22 20	0,41	0,4
	11,00	25 4	0,48	1,75		9,7	20 20	0,37	0,4
W 13	2,00	32 10	0,63	0,3	W 21	2,00	35 30	0,71	0,0
	4,00	35	0,7	1,2		6,5	22 40	0,42	0,55
W 41	4,00	36 10	0,73	0,1	W 27	2,00	32 20	0,63	0,0
W 24	6,00	32 35	0,64	0,35		4,00	29 30	0,56	0,0
	10,00	34 35	0,69	0,0		10,00	27 50	0,53	0,0

Identyczne następstwo widoczne jest w wierceniu nr 27. W wierceniach nr 50, 16, 46, 41, 4, less nie wykazuje wrażliwości strukturalnej. Brak następstwa takiego jak w profilu Kwaskowej Góry stwierdzono tylko w wierceniach nr 26 i 17. Jeśli chodzi o wiercenia 26, to próbka z głębokości 4,7 m ma współczynnik makroporowatości 0,018, który jest bliski wartości granicznej 0,02. Gdyby przyjąć, że wynik ten obciążony jest błędem, ponieważ należałoby się tutaj spodziewać także struktury trwałej, wtedy wystąpiłaby podobna regularność, jak w profilu Kwaskowej Góry.



Nietrwała struktura lessu najwyraźniej występuje w części zachodniej, a więc w pobliżu doliny Wisły. W części wschodniej less nie jest tak wrażliwy na działanie wody, jak w części zachodniej.

Jak wiadomo wrażliwość strukturalna lessu, wiąże się ze skłonnością do osiadań zapadowych. J.M. Abielew (1948) wiąże zdolność lessu do osiadań zapadowych ze stanami zawilgocenia naturalnego i jego makroporowatością. Less o dużej porowatości szybko traci wodę przez parowanie i przechodzi w stan przesuszenia. Woda, która dostanie się do systemu makropor lessu przesuszonego rozsuwa ziarna lub ich agregaty, w pewnym momencie następuje zanik spoistości. Ziarna lessu zaczynają się przemieszczać z dotychczasowego ułożenia i struktura gruntu zaczyna ulegać deformacji, co w konsekwencji powoduje zapadanie się powierzchni terenu i duże, przeważnie nierównomierne osiadanie budowli. Teoria ta w odniesieniu do omawianego lessu wydaje się częściowo potwierdzać. Z wyników w tabeli 5 widzimy, iż próbki lessu o nietrwałej strukturze mają wilgotność naturalną około 10%. Tylko w dwóch wypadkach wilgotność ta jest znacznie wyższa — około 20%, w próbkach z wiercenia nr 17.

Z powyższego oraz z wielkości współczynnika makroporowatości wynika, że less w zachodniej i północnej części, a więc w pobliżu doliny Wisły, jest skłonny do osiadań zapadowych. Przypuszczenie to mogłoby także potwierdzić fakt, iż w tej części terenu jest najbardziej rozwinięta erozja, która w kierunku wschodnim jest słabsza i grupuje się raczej w określonych odcinkach terenu. Uwagi te odnoszą się do własności lessu górnego czyli młodszego. Less dolny czyli starszy, jak można wnioskować z kilku wykonanych badań, nie powinien wykazywać skłonności do osiadania zapadowego, gdyż jego makroporowatość jest o wiele niższa, a wyższą jest wilgotność naturalna. To samo odnosi się do dolnych części lessu młodszego, który z reguły wykazuje większy stopień zglinienia, przez co zatrzymuje w sobie dłużej i więcej wody. Przeprowadzenie granicy w terenie między lessiem skłonnym a nieskłonnym do osiadań zapadowych jest niemożliwe na podstawie uzyskanych dotąd wyników. Granicy takiej można by się doszukiwać w strefie akumulacji tego lessu, który charakteryzuje nam profil Łopatek, a więc na linii Klimentowice—Łopatki — co wymaga jednak większego niż obecnie udokumentowania.

## OCENA WYNIKÓW I UWAGI KOŃCOWE

Uzyskane dotychczas wyniki wskazują, iż własności geotechniczne lessu są zmienne. Zmienność niektórych własności jest największa w młodszym poziomie stratygraficznym lessu, który został najlepiej poznany.

Nie stwierdzono wyraźnej zależności pomiędzy poszczególnymi własnościami. Mała widoczna jest tylko zależność  $\tau$  od „ $\varphi$ ” oraz  $i_m$  i „ $W_n$ ”, które w pewnym stopniu wiążą się ze składem granulometrycznym, szczególnie obecnością frakcji piaszczystej i ilastej.

Z powyższego wynika, że na podstawie dotychczasowych badań nie można ustalić wzorca, który mógłby stanowić porównanie z poziomami stratygraficznymi lessu na omawianym terenie w zakresie oceny geologiczno-technicznej. Nie można też ustalić, czy któraś z omówionych cech stanowi wskaźnik korelacyjny z poziomami lessu na tym obszarze. Stąd

wynika zasadnicza trudność podziału lessu na odmiany techniczne z punktu widzenia zjawisk deformacji. Można jedynie wyprowadzić wnioski pośredni, iż less z dużą zawartością frakcji ilastej, a więc w poziomach zglinienia, tak lessu młodszego, jak i starszego powinien mieć strukturę trwałą, a tym samym korzystniejsze warunki geotechniczne.

Problem geotechniczny lessu w obrębie doliny Wisły koło Kazimierza wymaga dalszych badań w wypadku realizacji projektowanej tu wodnej inwestycji budowlanej. Projektowana rzędna piętrzenia utworzy krawędź przyszłego zbiornika na linii Podgórz—Dobre—Rogów i wypełni dolinę Chodeli. Bezpośrednie zetknięcie się dużej ilości wody w zbiorniku z lessiem będzie miało niewątpliwie ujemny wpływ na zmiany geotechnicznych cech lessu.

Określenie zasięgu oddziaływania wód zbiornika i jego skutki — to program dalszych badawczych prac geotechnicznych nad lessami omawianego obszaru. Badania te powinny być skoncentrowane na południe od linii Kazimierz—Nałęczów i powinny sięgnąć aż po projektowaną krawędź zbiornika. Badania powinny objąć szczególnie dolne poziomy lessu i opierać się na próbkach o nienaruszonej strukturze, pobieranych w dużym zagęszczeniu i odpowiednich ilościach w całym profilu geologicznym lessu.

Całkowite rozpoznanie cech geotechnicznych na głębokości pełnego profilu lessu w kilku dalszych punktach, pozwoli niewątpliwie na ustalenie wskaźników korelacyjnych między poszczególnymi poziomami stratygraficznymi lessu i ułatwi bardziej szczegółową ich ocenę w kompleksie różnych problemów geotechnicznych.

Zakład Geologii Inżynierskiej I. G.

Nadesłano w grudniu 1958 r.

## PIŚMIENNICTWO

- АВЕЛИЕВ Ю. М. (1948) — Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах. Стройвоенмориздат. Москва.
- ДЕНИСОВ Н. Я. (1953) — Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. Государственное Издательство Литературы по Строительству и Архитектуре. Москва.
- DOBZJAŃSKI B. (1950) — Fizyczne własności lessu. Prz. Geogr. (za 1948/49). Warszawa.
- JAHN A. (1950) — Less, jego pochodzenie i związek z klimatem epoki lodowej. Acta geol. pol. 1, nr 3, str. 257—302. Warszawa.
- JAHN A. (1956) — Wyżyna Lubelska. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- MATERIAŁY ARCHIWALNE I. G. opracowane przez E. Rühlega (1948—1957), W. Pożaryskiego (1948—1951), M. Franczyk (1957), J. Pawlak (1957).
- MIECZYŃSKI T. (1925) — Spostrzeżenia nad utworami warstwowanymi w pokładach lessów Puł. Inst. Gosp. Wiejsk. Pomoc. Kraków.
- POLSKA NORMA (1956) PN-54/B-02460 — Grunty budowlane. Klasyfikacja.
- POŻARYSKI W. (1953) — Plejstocen w przełomie Wisły przez wyżyny południowe. Inst. Geol. Pr. 9. Warszawa.
- SCHEIDIG A. (1934) — Der Löss und seine Geotechnischen Eigenschaften. Leipzig.

Jan MALINOWSKI

## RESULTS OF GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS OF LOESS BETWEEN KAZIMIERZ DOLNY AND NAŁĘCZÓW (LUBLIN UPLAND)

### Summary

Loess investigations of a both geological and engineering, character have been carried out, between Kazimierz Dolny and Nałęczów, as part of the program of geological-technical studies to be undertaken in the Wisła valley for purposes of river regulation.

The results presented in this paper are based on a description and an examination of samples taken from 18 bore-holes and from 2 natural outcrops. The localities of points of collecting these samples are shown on Fig. 1.

On the investigated area, loess forms the cover of older Quaternary deposits, such as boulder clays or sands. Locally loess lies directly upon Cretaceous deposits.

Here the stratigraphy of the loess has been investigated by A. Jahn (1950—1956) and W. Pożaryski (1953). According to these students, on this area the loess is distinctly bipartite. A section through Kwaskowa Góra, described by W. Pożaryski, and a section through the Łopatki brick yard, described by A. Jahn, may be considered typical sections.

In the section through Kwaskowa Góra there should be distinguished:

2. A younger typical loess of yellow or greyish-yellow colour, thickness about 16 to 18 meters. In its bottom part this loess is more clayey.

1. A clayey, locally arenaceous, older loess of yellow-brown or rusty colour; downwards it passes into a typical yellow or greyish-yellow loess. Thickness 5 meters.

The boundary between both loesses in the Kwaskowa Góra section is formed by a layer of deluvial sand.

In the section through the Łopatki brick yard the structure of loess has been developed somewhat differently, and is as follows:

4. Loess deluvia with a soil bed on top; thickness 1.3 to 1.5 meters.

3. A younger loess, of yellowish-grey colour, interbedded with grey or yellow sand. This is solifluction loess; thickness 1.5 to 2.0 m.

2. A yellowish-grey loess, interbedded with grey sand, thickness 1.5 to 3 m. In this layer many frost wedges and other involution forms appear.

1. An older loess, of brown, locally of grey, colour; thickness 5 metres. This older loess is separated from the younger by fossil soil or by solifluction disturbances which are distinctly developed in the top layers of the older loess. This Łopatki section is diagrammatically shown on Fig. 2.

For the discussed area most characteristic is the Kwaskowa section, whereas the section of the Łopatki brick yard is of minor spread. As a rule, bore holes confirm conformity with the Kwaskowa Góra section.

The mineral composition has been determined for bore hole 26 as well as for Kwaskowa Góra. The main components of the loess are: quartz, feldspars, carbonates and clay minerals. The content of these components in the section of bore hole 26 is presented on Fig. 3.

Flooding: in the loess of the investigated area no continuous water level has been determined. In several instances only has there been ascertained the presence of water at various depths. This water is of the lense-type, of various arrangement,



so that conditions are formed for a fairly high water pressure, as determined in bore holes No. 24, 25, 26, 27.

a. Granulation and division of the loess. The division is based on the classification scheme PN-54/B-02480 (Polish Standards). According to this scheme there have been distinguished: silty sands, clayey sands, sandy silts, silts, silty clays, clays, heavy silty clays. The granulometric composition of the loess, occurring at the investigated sections, has been presented on Table 1, while the appearance of the individual varieties has been illustrated on Fig. 4 a, b, c.

b. Humidity and consistency. Both these properties of the investigated loess are given on Table 1 and in the sections shown on Fig. 4 a, b, c. The susceptibility of the loess to water is illustrated on Fig. 5 and 5 a, prepared from several characteristic samples.

c. Specific gravity, volumetric weight, porosity. The results of investigations have been given on Table 2.

d. Resistance to shearing stresses. Inner friction and cohesion. Investigations were carried out on a triaxial apparatus; their results are presented on Table 3. The interrelation of some of the shear indices is expressed on the following figures: Fig. 6, interrelation between  $\tau$  and  $\rho$ ; Fig. 7 a, interrelation between  $\tau$  and  $\sigma$  in cohesionless loess; Fig. 7 b, interrelation between  $\tau$  and  $\sigma$  in cohesive loess (an average value of  $0.3 \text{ kg/cm}^2$  has been assumed); Fig. 8, interrelation between  $\tau$  and  $w_n$ . This latter interrelation is scarcely noticeable.

All the above diagrams have been plotted from samples which in the nomenclature of the Polish Standards are called silt.

e. Compressibility and structural responsiveness. The results of investigations of the compressibility and of the structural responsiveness of the loess have been shown on Table 4. The increase of compressibility and of additional subsiding is shown by curves: for Kwaskowa Góra on Fig. 9 a, for bore hole 26 on Fig. 9 b. The difference of compressibility for two loess varieties is given on Fig. 10. Fig. 11 presents the course of subsidence under a loading up to  $6 \text{ kg/cm}^2$ . The interdependence between load  $P$  and porosity index  $e$  is shown on Fig. 12, prepared for the Kwaskowa Góra section. In appraising both the compressibility of the loess and its responsiveness to water, it should be noted that the younger loess is featured by a tendency to additional subsidence under load whereas, as a rule, the older loess does not disclose any tendency in this direction.

From the above investigations it appears that loess of older age shows favourable geotechnical features and that its responsiveness to water is lower. On the other hand, loess of younger age discloses less favourable geotechnical features; these may be ascribed to its ready responsiveness to the action of water, as evidenced in the field in the form of intensive surface erosion.