

## TENDENCJE DO ZMIAN STRUKTURY LESSÓW PODCZAS ICH OBCIĄŻANIA

UKD 624.131.23:624.131.431.2:624.131.439.3.004.1

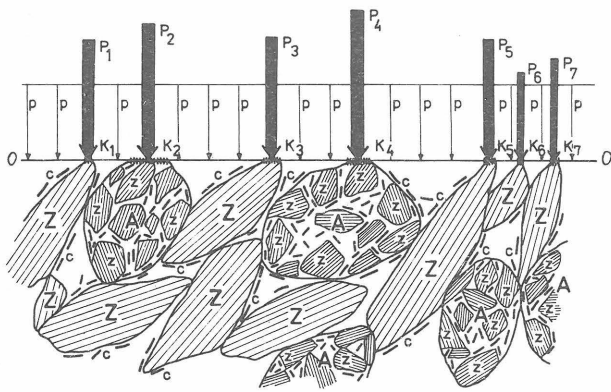
Przyczyną podjęcia i wykonania odpowiednio zaprogramowanych badań struktury lessów, które przedstawiono w prezentowanej pracy, są teoretyczne rozważania na temat możliwości zmian struktury lessów w wyniku ich pionowego obciążenia bez możliwości rozszerzenia na boki. Warunki takie istnieją w naturze w warstwach lessu, znajdujących się pod nadkładem (naturalnym lub sztucznym), wywierającym na te warstwy obciążenie, które uważać można w stosunku do nich za zewnętrzne-statyczne. W laboratorium modelują te warunki badania ściśliwości w edometrze. Ponieważ rozważania teoretyczne prowadziły do wniosku o istnieniu możliwości zmian struktury lessu w takich właśnie warunkach, należało doświadczalnie potwierdzić, czy w rzeczywistości można zaobserwować oczekiwane zmiany przede wszystkim już w warunkach względnie niewielkich zewnętrznych obciążeń statycznych, dochodzących do 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>), często wywieranymi na podłoże przez obiekty budowlane. Obciążenie takie powstaje w warunkach terenowych pod nadkładem o miąższości ok. 15 m. Jeśli zaobserwowanoby w takich warunkach zmianę struktury lessów, to należałoby wówczas fakt ten uwzględnić w niektórych rozważaniach sedymentologicznych, litologicznych i inżyniersko-geologicznych i to w odniesieniu nie tylko lessów, lecz także i innych skał niełitych, porowatych, pylastych i ilastych (gruntów spoiwanych — w szczególności mało spoiwanych według terminologii gruntoznawczej).

Jeśli dana warstwa lessu zostanie obciążona nadkładem (obojętne czy naturalnym, czy sztucznym), to zmniejsza się jej objętość kosztem jej miąższości. Zmniejszenie objętości lessu tylko pod wpływem jego obciążenia zewnętrznego może być spowodowane:

— odkształceniem sprężystym poszczególnych elementów szkieletu mineralnego (tj. ziarn, cząstek i ich agregatów), jak też odkształceniem całej konstrukcji szkieletowej z tych elementów utworzonej, bez zmian wzajemnego położenia tych elementów względem siebie i bez ich kruszenia;

— zmianami objętości porów (czyli zmniejszeniem porowatości) przez przesunięcie położenia względem siebie poszczególnych elementów szkieletu mineralnego (tj. ziarn, cząstek i ich agregatów) albo: — bez rozbicia agregatów na ziarna i cząstki, a tym bardziej bez kruszenia się ziarn i cząstek; — z rozbiciem agregatów, ale bez kruszenia się ziarn i cząstek, co ujawnić się może w zmianach tekstury i częściowo również struktury; — z kruszeniem się ziarn i cząstek — w szczególności w pierwszej kolejności z odłupywaniem się ich ostrokrawędzistych „igielkowatych zakończeń”, co powinno ujawniać się w zmianie wymiarów i kształtów ziaren i cząstek, a więc w zmianach nie tylko tekstury, lecz również wyraźnie w strukturze lessu.

Nieprawdopodobne byłoby założenie, że nawet przy znacznym, skokowym wzroście statycznego obciążenia zewnętrznego na powierzchnię stropową lessu wszystkie wymienione wyżej procesy zajdą jednocześnie natychmiast w momencie wzrostu tego obciążenia i będą się później rozwijać z jednakową intensywnością. Natomiast oczekiwać należy, że przy stałym — zwłaszcza powolnym wzroście obciążenia zewnętrznego na powierzchnię stropową lessu, procesy te uruchamiać się będą stopniowo w zasadzie przede wszystkim w podanej wyżej kolejności. Trudno jest jednak obecnie ustalić dokładniejszą korelację między uruchamianiem się i intensyfikacją wymienionych wyżej poszczególnych procesów, zachodzących w obciążanej war-



Ryc. 1. Schematyczny model przekazywania obciążenia ciągłego przez strop lessu. Całe ciągłe obciążenie (ciężar nadkładu – cienkie strzałki  $p$ ) przekazywany jest na szkielet mineralny przez część powierzchni stropu lessu (0–0), część będącą sumą powierzchni kontaktów ( $K_1, \dots, K_7, \dots, K_n$  – gęste, krótkie, cienkie kreski) ziarn ( $Z$  – skośne, dłuższe, cienkie kreski); cząstek ( $C$  – grubsze, krótkie kreski) i ich agregatów ( $A$ ). Rzeczywiste wartości obciążenia ( $P_1, \dots, P_7, \dots, P_n$  – grube dłuższe strzałki  $P$ ) na poszczególnych powierzchniach kontaktów ( $K_1, \dots, K_7, \dots, K_n$ ) są zawsze znacznie większe niż średnia wartość naprężenia normalnego na powierzchni stropowej (0–0):  $P > p$ .

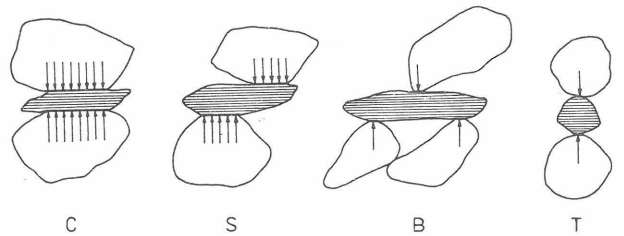
Fig. 1. The schematic pattern of the continuous load transferring on the other side of the upper surface of the loess (0–0). The whole continuous load (the overburden weight – the thin arrows –  $p$ ) is transferred on the mineral skeleton by a part of the loess upper surface, the part being a sum of contact surfaces ( $K_1, \dots, K_7, \dots, K_n$  – frequent, thin short lines) of grains ( $Z$  – oblique, longer, thin lines) and particles ( $C$  – thicker, short lines) and their aggregates ( $A$ ). The real load values ( $P_1, \dots, P_7, \dots, P_n$  – thick, longer arrows  $P$ ) on the particular contact surfaces are always considerably greater than the mean normal stress on the upper surface (0–0):  $P > p$ .

stwie lessu, a odpowiednimi przedziałami wzrostu obciążenia zewnętrznego.

Wymuszone obciążeniem mechaniczne zbliżenie ziarn i cząstek oraz ich agregatów ułatwia oddziaływanie między nimi i ich otoczkami wodnymi sił międzycząsteczkowych, co powinno sprzyjać agregacji ziarn i cząstek. Jednocześnie postępujący wzrost napięć na powierzchniach kontaktowych agregatów, ziarn i cząstek powinien wprost przeciwnie sprzyjać rozpadowi agregatów i rozkruszaniu się ziarn i cząstek. W obciążanej skale powinny więc zachodzić jednocześnie 2 przeciwstawne procesy: agregacji i dezagregacji wraz z rozkruszaniem ziarn i cząstek.

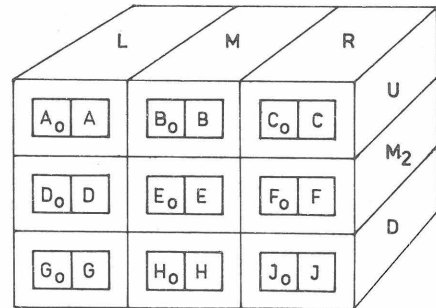
Należy zauważyć, że obciążenie powierzchni stropowej lessu przekazywane jest na jego szkielet mineralny nie przez całą powierzchnię obciążanego stropu, jak to się umownie przyjmuje, a tylko przez część tej powierzchni, będącą sumą powierzchni kontaktów poszczególnych elementów szkieletu mineralnego (tj. ziarn i cząstek oraz ich agregatów) z powierzchnią stropową (ryc. 1). Jeśli to samo obciążenie przypada w rzeczywistości na mniejszą, sumaryczną powierzchnię kontaktów, niż umownie przyjmowana do obliczeń całkowita powierzchnia stropu, to po pierwszej, krótkotrwałej fazie przemieszczeń niektórych ziarn, cząstek i ich agregatów, na powierzchniach ich kontaktów powstają naprężenia, których rzeczywiste wartości są większe, niż umownie obliczane w odniesieniu do całej powierzchni stropu.

Łatwo obliczyć, że rzeczywiste wartości naprężeń powstających w poszczególnych powierzchniach kontaktowych mogą być kilka, kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt, czy aż kilkaset razy większe, niż wartości umownie obliczane dla całej powierzchni stropowej. Wzrost rzeczywistych wartości naprężeń w poszczególnych powierzchniach kontaktowych zależy przede wszystkim od porowatości, a w szcze-



Ryc. 2. Schematyczny model rodzajów przekazywania statycznego, ciągłego obciążenia zewnętrznego na poszczególne ziarna i cząstki szkieletu mineralnego:  $C$  – ziarno ściskane,  $S$  – ziarno ścinane,  $B$  – ziarno zginane,  $T$  – ziarno rozciągane.

Fig. 2. The scheme pattern of the statical, continuous external load transferring kinds on particular grains and particles of the loess mineral skeleton:  $C$  – a compressed grain,  $S$  – a sheared grain,  $B$  – a bent grain,  $T$  – a line-load grain (tensile strength).

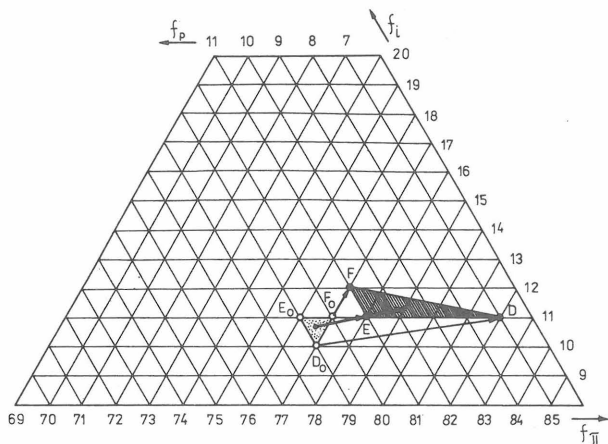


Ryc. 3. Podział badanego całkowicie makroskopowo jednorodnego monolitu lessu na pasy ( $A_0, B_0, C_0$  – górny,  $D_0, E_0, F_0$  – środkowy,  $G_0, H_0, J_0$  – dolny) i stopy ( $A_0, D_0, G_0$  – lewy,  $B_0, E_0, H_0$  – środkowy,  $C_0, F_0, J_0$  – prawy). Litera bez indeksu zero – próbki badane pod obciążeniem 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) przy ewentualnym nasyceniu wodą wykorzystywane do oznaczenia ich składów: granulometrycznego i agregatowego w stanie końcowym. Litera z indeksem zero – próbki „równoległe” pobrane do oznaczenia składów: granulometrycznego i agregatowego w stanie początkowym przed obciążeniem

Fig. 3. The division of the tested quite megascopically homogeneous loess monolith into zones ( $A_0, B_0, C_0$  – the upper zone;  $D_0, E_0, F_0$  – the middle zone;  $G_0, H_0, J_0$  – the lower zone) and columns ( $A_0, D_0, G_0$  – the left column;  $B_0, E_0, H_0$  – the middle column;  $C_0, F_0, J_0$  – the right column). The capital letter without index – the samples tested for compression and after settlement under the pressure 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) by possibly water saturation used for determinations of the aggregate and grain – size distributions in the final (last) state. The capital letter with index 0 – the „parallel” samples, used to determinations of the aggregate and grain-size distributions in the state before loading.

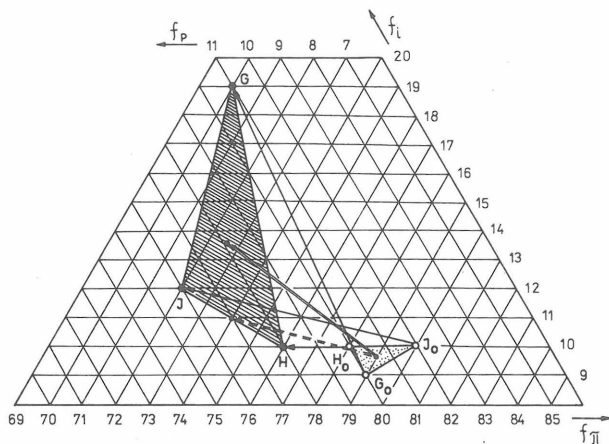
gólności od wielkości porów – a zwłaszcza od stosunku ich wymiarów do wymiarów ziarn, cząstek i ich agregatów – oraz od liczby i powierzchni kontaktowych i ich wielkości (ryc. 1).

Ogólną prawidłowością jest, że wzrost ten jest tym większy, im wielkość powierzchni kontaktowych i ich liczba są mniejsze, oraz im większa jest porowatość i wymiary por w stosunku do wymiarów ziarn, cząstek i ich agregatów. Tak więc przy umownie obliczonym statycznym ciągłym obciążeniu zewnętrznym rzędu – 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) wartości rzeczywistych naprężeń na powierzchniach kontaktowych wynosić mogą 3 MPa (30 kG/cm<sup>2</sup> – 30 MPa (300 kG/cm<sup>2</sup>), a nawet do 300 MPa (3000 kG/cm<sup>2</sup>). Zatem w powierzchniach kontaktowych mogą powstawać naprężenia większe, niż wytrzymałość agregatów. Wówczas agregaty muszą ulec rozpadowi na elementy składowe: ziarna i cząstki. A.K. Łarionow (4) podaje wartości wytrzymałości na zgniatanie powietrzno-suchych makroagregatów o średnicy 1 mm, wydzielonych z lessu przez mechaniczne jego rozdrobnienie.



Ryc. 4. Dane na wycinku trójkąta Fereta, obrazujące tendencje zmian składu granulometrycznego próbek lessu od ich stanu początkowego, powietrzno-suchego bez obciążenia –  $D_0, E_0, F_0$  do powietrzno-suchego stanu końcowego po obciążeniu w edometrze do 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) –  $D, E, F$ . Strzałki oznaczają kierunki zmian.

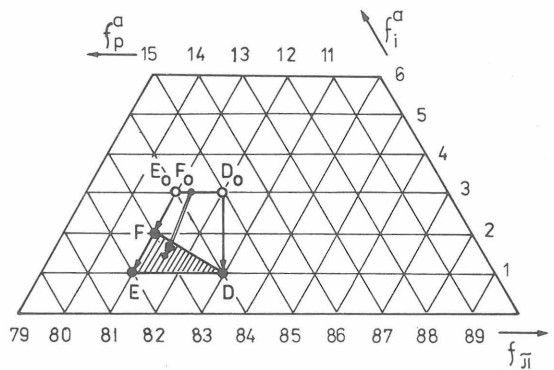
Fig. 4. The data on the Feret's triangle sector point the tendency of the grain-size distribution changes of the loess samples from their initial air-dry state without load –  $D_0, E_0, F_0$  till to their final air-dry state after loading to 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) in the oedometer –  $D, E, F$ . The arrows point the change directions.



Ryc. 6. Dane na wycinku trójkąta Fereta, obrazujące tendencje zmian składu granulometrycznego próbek lessu od ich stanu początkowego, powietrzno-suchego bez obciążenia –  $G_0, H_0, J_0$  do końcowego stanu nasycenia wodą w edometrze pod obciążeniem 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) –  $G, H, J$ . Strzałki oznaczają kierunki zmian.

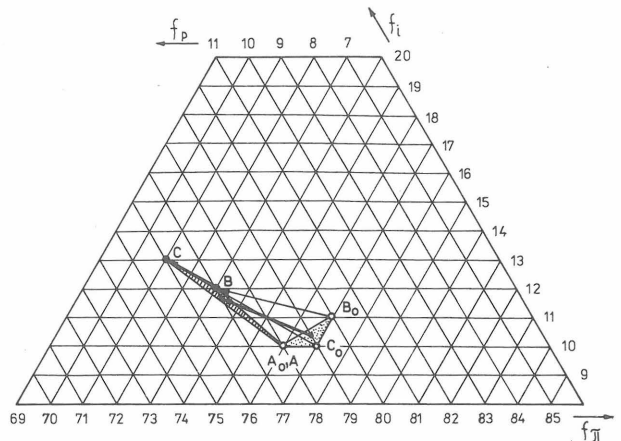
Fig. 6. The data on the Feret's triangle sector point the tendency of the grain-size distribution changes of the loess samples from their initial, air-dry state without loading –  $G_0, H_0, J_0$  till to their final state after water saturation under loading to 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) in oedometer –  $G, H, J$ . The arrows point the change directions.

Pierwsze szczeliny w tych makroagregatach obserwowano już pod ciśnieniem od  $1 \text{ kG/cm}^2$  ( $0,1 \text{ MPa}$ ) do  $11 \text{ kG/cm}^2$  ( $1,1 \text{ MPa}$ ). Maksymalna szczelinowatość makroagregatów lessowych ujawniała się pod ciśnieniem od  $3 \text{ kG/cm}^2$  ( $0,3 \text{ MPa}$ ) do  $19 \text{ kG/cm}^2$  ( $1,9 \text{ MPa}$ ). Badane mikroagregaty rozpadły się pod ciśnieniem od  $5 \text{ kG/cm}^2$  ( $0,5 \text{ MPa}$ ) do  $20 \text{ kG/cm}^2$  ( $2 \text{ MPa}$ ). Procentowy udział makroagregatów o różnej wytrzymałości na zgniatanie (małoodpornych, odpornych i wysokoodpornych) jest w lessach różnych typów genetycznych różny. Z badań opisanych przez A.K. Łarionowa (4) wynika, że procentowa zawartość małoodpornych makroagregatów (tj. makroagregatów o wytrzymałości na zgniatanie mniejszej niż  $2 \text{ kG/cm}^2 = 0,2 \text{ MPa}$ ) waha się od 0 (dla lessów deluwialnych okolic Woroneża, w których odporne makroagregaty



Ryc. 5. Dane na wycinku trójkąta Fereta, obrazujące tendencje zmian składu agregatowego próbek lessu od ich stanu początkowego, powietrzno-suchego, bez obciążenia –  $D_0, E_0, F_0$  do powietrzno-suchego stanu końcowego po obciążeniu w edometrze do 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) –  $D, E, F$ . Strzałki oznaczają kierunek zmian.

Fig. 5. The data on the Feret's triangle sector point the tendency of the aggregate-size distribution changes of the loess samples from their initial, air-dry state without loading –  $D_0, E_0, F_0$  till to their final air-dry state after loading to 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) –  $D, E, F$ . The arrows point the change directions.

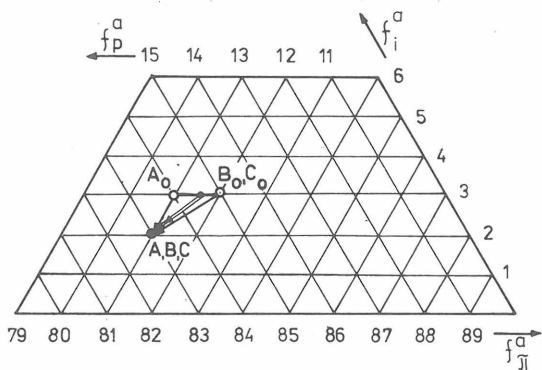


Ryc. 7. Dane na wycinku trójkąta Fereta, obrazujące tendencje zmian składu granulometrycznego próbek lessu od ich stanu początkowego, powietrzno-suchego bez obciążenia –  $A_0, B_0, C_0$  do stanu końcowego po obciążeniu do 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) przy nasyceniu wodą pod obciążeniem  $0,0125 \text{ MPa}$  ( $0,125 \text{ kG/cm}^2$ ) –  $A, B, C$ . Strzałki oznaczają kierunki zmian.

Fig. 7. The data on the Feret's triangle sector point the tendency of the grain-size distribution changes of the loess samples from their initial, air-dry state without loading –  $A_0, B_0, C_0$  till to their final state after water saturation under loading  $0,0125 \text{ MPa}$  ( $0,125 \text{ kG/cm}^2$ ) in oedometer and after loading to 0,3 MPa ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) –  $A, B, C$ . The arrows point the change directions.

gaty o wytrzymałości na zgniatanie w granicach od  $2 \text{ kG/cm}^2 = 0,2 \text{ MPa}$  do  $5 \text{ kG/cm}^2 = 0,5 \text{ MPa}$  stanowiły 10%, a wszystkie pozostałe, tworzące 90%, makroagregaty były wysokoodporne) do 75% (dla lessów typowych okolic Odessy, w których wszystkie pozostałe 25% makroagregatów stanowiły makroagregaty odporne, i brak było całkowicie makroagregatów wysokoodpornych o wytrzymałości na zgniatanie większej niż  $5 \text{ kG/cm}^2 = 0,5 \text{ MPa}$ ). Tak więc nawet w warunkach niewielkich ciągłych zewnętrznych obciążeń statycznych rzędu  $0,3 \text{ MPa}$  ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) oczekiwać można rozpadu makroagregatów w mniejszym lub większym stopniu.

Jak podają G. Tschermak i F. Becke (9) wytrzymałość na zgniatanie kryształu górskiego, tj. czystego kwarcu o prawidłowo wykształconej siatce krystalograficznej, dochodzi wzdłuż osi głównej nawet do  $1500 \text{ MPa}$  ( $15000 \text{ kG/cm}^2$ ). Jest ona mniejsza wzdłuż innych kierunków, w



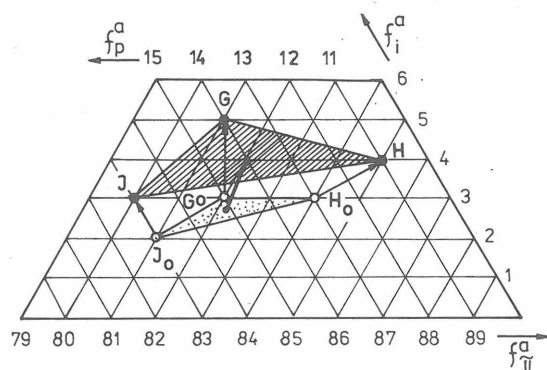
Ryc. 8. Dane na wycinku trójkąta Fereta, obrazujące tendencje zmian składu agregatowego próbek lessu od ich stanu początkowego, powietrzno-suchego, bez obciążenia —  $A_0, B_0, C_0$  do stanu końcowego po obciążeniu do  $0,3 \text{ MPa}$  ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) przy nasyceniu wodą pod obciążeniem  $0,0125 \text{ MPa}$  ( $0,125 \text{ kG/cm}^2$ ) —  $A, B, C$ . Strzałki oznaczają kierunki zmian.

Fig. 8. The data on the Feret's triangle sector point the tendency of the aggregate-size distribution changes of the loess from their initial air-dry state without loading —  $A_0, B_0, C_0$  till to their final state after water saturation under loading  $0,0125 \text{ MPa}$  ( $0,125 \text{ kG/cm}^2$ ) in oedometer and after later loading to  $0,3$  ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) —  $A, B, C$ . The arrows point the change directions.

szczegółności znacznie mniejsza w kierunkach prostopadłych do osi głównej w przypadku pospolitych, z reguły zdefektowanych ziarn kwarcu, nie będącego czystym kryształem górskim. Tworzące konstrukcje szkieletu mineralnego wydłużone igiełkowate ziarna i cząstki, mimo że na strop lessu wywarło zewnętrzne, ciągłe obciążenie statyczne podlegają nie tylko ścisaniu, ale także rozciąganiu, zginaniu i ścinaniu (ryc. 2). Oznacza to, że o rozkruszaniu ziarn i cząstek decydującą będą w większym znacznym stopniu ich wytrzymałości: na ścinanie, zginanie i rozciąganie, niż wytrzymałość na ścisanie.

Od dawna wiadomo, że stosunki między różnymi rodzajami wytrzymałości są różne, jak również że zmieniają się one w określanych granicach (1, 8, 7). Przyjąć więc można dla materiału skalnego następujące stosunki: między wytrzymałością na zginanie a wytrzymałością na ścisanie od 1:10 do 1:15, między wytrzymałością na ścinanie a wytrzymałością na ścisanie około 1:15 oraz między wytrzymałością na rozciąganie a wytrzymałością na ścisanie od 1:20 do 1:40. Jak podaje A.W. Minerwin (5) wytrzymałość na rozciąganie kwarcu wynosi  $367 - 600 \text{ MPa}$ . Jednak należy zauważyć, że siatka krystaliczna ziarn i cząstek kwarcu, tworzących główny składnik mineralny konstrukcji szkieletu mineralnego lessu, nie jest z reguły prawidłowa. Kwarcowe ziarna i cząstki lessu składają się z jak gdyby do siebie przylegających dwu piramid dytrygonalnych o wymiarach rzędu  $50 - 100 \mu\text{m}$ . Wielokrotne skurcze i rozszerzanie termiczne tych dwupiramid, wielokrotne wnikanie cząstek wody w zdefektowane strefy między sąsiadującymi z sobą dwupiramidami oraz zamrażanie i odmarzanie przenikającej w te strefy wody spowodowały już w przeszłości znaczne osłabienie wytrzymałości całych ziarn i cząstek kwarcu nawet aż takie, że obecnie można oczekiwać ich rozkruszania przy wzroście statycznego ciągłego obciążenia zewnętrznego powierzchni stropowej lessu do  $0,3 \text{ MPa}$  ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ).

Podobnych, jak w stropie obciążanej warstwy lessu, zmian należy oczekiwać w szkielecie mineralnym poniżej jej powierzchni stropowej. Należy jednak zawsze uwzględniać, że im głębiej od powierzchni stropowej, tym przyrost naprężeń na powierzchniach kontaktów ziarn, cząstek i ich agregatów może być mniejszy, a zatem i zmiany struktury odpowiednio mniejsze. Zmiany takie zachodzić mogą



Ryc. 9. Dane na wycinku trójkąta Fereta, obrazujące tendencje zmian składu agregatowego próbek lessu od ich stanu początkowego, powietrzno-suchego, bez obciążenia —  $G_0, H_0, J_0$  do końcowego stanu nasycenia wodą w edometrze pod obciążeniem  $0,3 \text{ MPa}$  ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) —  $G, H, J$ . Strzałki oznaczają kierunki zmian.

Fig. 9. The data on the Feret's triangle sector point the tendency of the aggregate-size distribution changes of loess samples from their initial, air-dry state without loading —  $G_0, H_0, J_0$  till to their final state after water saturation under loading to  $0,3 \text{ MPa}$  ( $3 \text{ kG/cm}^2$ ) in oedometer —  $G, H, J$ . The arrows point the change directions.

tylko do poziomu lub strefy, w której mimo wzrostu naprężeń na powierzchni kontaktów ziarn, cząstek i ich agregatów powstałe naprężenia będą mniejsze niż wytrzymałość agregatów. Zmiany struktury osadu przechodzącego w skałę (grunt) zachodzą więc bezpośrednio po wzroście nadkładu nad osadem w stosunkowo cienkiej strefie przystropowej, a zatem pierwotne, rzeczywiste sedymentacyjne struktury osadu ulegać mogą w wyniku przyrostu nadkładu w większości przypadków utworów pylastych i pylasto-ilastych w krótkim okresie czasu przekształceniu, a nawet częściowym zatarciem. Rzeczywiste sedymentacyjne struktury lessów mogą być zachowane w warstwie stropowej i to tylko wówczas, gdy nie była ona pokryta nadkładem bądź też przykryta nadkładem bardzo ciekim oraz gdy w warstwie tej nie zachodziły procesy postsedymentacyjne takie jak procesy glebotwórcze i glebowe, sufozja, kolmatacja itd.

Jeśli w obciążanej warstwie lessu, czy też szerzej zagadnienie ujmując, w obciążanym gruncie spoistym, rzeczywiste przedstawione wyżej procesy zachodzą, to należałoby oczekiwać (szczególnie w strefie przystropowej warstwy lessu) zmian jej składników: granulometrycznego i agregatowego. Ujawnienie tych zmian już przy stosunkowo niewielkich obciążeniach wymagało: wyboru do badań właściwie wybranego monolitu lessu, przeprowadzenia badań jego ściśliwości przy znanej wilgotności, oraz określenia jego składów: granulometrycznego i agregatowego zarówno w stanie początkowym przed wywarciem na niego obciążenia, jak i w stanie końcowym, tj. po zakończeniu osiadania lessu pod odpowiednim obciążeniem. Oznaczenia takie powinny być (i były) wykonane w jednym laboratorium (wykonano je w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego) na jednej aparaturze i jednakowymi metodami (znormowanymi) według jednolitego programu badań (opracowanego przez W.C. Kowalskiego) przez jednego specjalistę (mgr E. Hoffmann) w jednym okresie czasu (maj — lipiec 1982 r.), aby sprowadzić do możliwego minimum różnicowanie warunków wykonania poszczególnych oznaczeń.

Do przeprowadzenia zaprojektowanych badań wybrano wrażliwe na oddziaływanie wody lessy, prezentujące sobą w rozumieniu Polskiej Normy (PN-74/B-02480) grunty o strukturze nietrwałej. Jak to już uprzednio wykazano (2, 3) składy: agregatowy i granulometryczny lessów zmieniają się zależnie od ich wilgotności (od ich

WYNIKI ANALIZ

granulometrycznej: procentowe zawartości frakcji przed obciążeniem ( $f_{p_0}$  – piaskowej,  $f_{\pi_0}$  – pyłowej,  $f_{i_0}$  – ilowej) i po obciążeniu ( $f_p$  – piaskowej,  $f_\pi$  – pyłowej,  $f_i$  – ilowej);  $\Delta f_p = f_{p_0} - f_p$ ,  $\Delta f_\pi = f_{\pi_0} - f_\pi$ ,  $\Delta f_i = f_{i_0} - f_i$  oraz agregatowej: procentowe zawartości frakcji agregatowej przed obciążeniem ( $f_{p_0}^a$  – piaskowej,  $f_{\pi_0}^a$  – pyłowej,  $f_{i_0}^a$  – ilowej) i po obciążeniu ( $f_p^a$  – piaskowej,  $f_\pi^a$  – pyłowej,  $f_i^a$  – ilowej),  $\Delta f_p^a = f_{p_0}^a - f_p^a$ ,  $\Delta f_\pi^a = f_{\pi_0}^a - f_\pi^a$ ,  $\Delta f_i^a = f_{i_0}^a - f_i^a$

Próbka	$f_{p_0}$	$f_p$	$\Delta f_p$	$f_{\pi_0}$	$f_\pi$	$\Delta f_\pi$	$f_{i_0}$	$f_i$	$\Delta f_i$	$f_{p_0}^a$	$f_p^a$	$\Delta f_p^a$	$f_{\pi_0}^a$	$f_\pi^a$	$\Delta f_\pi^a$	$f_{i_0}^a$	$f_i^a$	$\Delta f_i^a$
A <sub>o</sub> A	14	14	0	76	76	0	10	10	0	16	17	-1	81	81	0	3	2	1
B <sub>o</sub> B	12	15	-3	77	73	4	11	12	-1	15	17	-2	82	81	1	3	2	1
C <sub>o</sub> C	13	16	-3	77	71	6	10	13	-3	15	17	-2	82	81	1	3	2	1
D <sub>o</sub> D	13	7	6	77	82	-5	10	11	-1	15	16	-1	82	83	-1	3	1	2
E <sub>o</sub> E	13	11	2	76	78	-2	11	11	0	16	18	-2	81	81	0	3	1	2
F <sub>o</sub> F	12	11	1	77	77	0	11	12	-1	16	17	-1	81	81	0	3	2	1
G <sub>o</sub> G	12	11	1	79	70	9	9	19	-10	15	14	1	82	81	1	3	5	-2
H <sub>o</sub> H	12	14	-2	78	76	2	10	10	0	13	11	2	84	85	-1	3	4	-1
I <sub>o</sub> I	10	16	-6	80	72	8	10	12	-2	17	17	0	81	80	1	2	3	-1

wielokrotnego wysychania i nasycania wodą oraz wielokrotnego zamrażania i odmarzania). Fakt ten wskazuje na względnie łatwe zachodzenie i ujawnianie się w lessach zmian ich struktury i tekstury. Zaprojektowanym badaniom poddano makroskopowo całkowicie jednorodny monolit lessu pobrany z terenów miejscowości Siedliska w odległości ok. 50 km na NE od Krakowa, z płata lessu występującego w południowej części niecki miechowskiej.

Monolit pobrano z górnej części (ściślej 2 m poniżej górnej brewki) wąwozu lessowego i wycięto go z makroskopowo jednorodnej warstwy lessu, tj. pyłu o jednolitej barwie jasnożółtej, w jednakowym stanie powietrzno-suchym, o jednej bezkierunkowej teksturze (bez widocznych przewarstwień czy lamin, bez kongrecji i skupień węglanowych), o zawartości CaCO<sub>3</sub> określonej makroskopowo < 1%.

Pozycję stratygraficzną wykształconej w facji lessu wysoczyznowego warstwy lessu, z której został pobrany opisany tu monolit w nawiązaniu do opisywanych przez Jersaka (1973, 1975, 1976) profili lessowych w niedalekim od Siedlisk Odonowie określić można jako less młodszy górny – II b.

Wybrany do zaprezentowania wyników badań monolit podzielono na 3 poziome pasy (górny, środkowy i dolny) i na 3 pionowe słupy (lewy, środkowy i prawy). Dokonany w ten sposób podział monolitu na części od A do J przedstawiono na ryc. 3. Z każdej z tych części wycięto przylegające do siebie 2 równoległe próbki: jedną do badań edometrycznych (ściśliwości) i drugą do oznaczeń składów granulometrycznego i agregatowego w początkowym stanie powietrzno-suchym bez uprzedniego obciążenia. Wszyst-

kie oznaczenia składu granulometrycznego zarówno w stanie początkowym, jak i końcowym po obciążeniu wykonano metodą areometryczną zgodnie z Polską Normą (PN-75/B-04483). Wszystkie oznaczenia składu agregatowego wykonano metodą opisaną przez E. Myślińską (6). Wyniki analiz: granulometrycznej i agregatowej zestawiono w tabeli.

Następnie będące w stanie powietrzno-suchym, tj. o wilgotności 1,2%, równoległe próbki poddano badaniom ściśliwości zawsze w tych samych edometrach. Wszystkie badania edometryczne przeprowadzono w zasadzie w nawiązaniu do Polskiej Normy (PN-75/B-04495) z zaprojektowanymi modyfikacjami. Modyfikacje te polegały przede wszystkim na większej częstotliwości pomiarów wysokości próbki po wstępnym obciążeniu do 0,0125 MPa (0,125 kG/cm<sup>2</sup>). Pomiarów tych dokonywano po 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50 minutach, a następnie po 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 24, 48, 72 godzinach aż do ustalenia się wysokości próbki. W tych samych odstępach czasu dokonywano pomiarów wysokości próbki po ostatnim obciążeniu 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) zarówno bez nasycania próbki wodą, jak i po jej nasyceniu tak przy obciążeniu 0,125 MPa (0,125 kG/cm<sup>2</sup>), jak też po obciążeniu 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>). Po odczekaniu aż nastąpi ustalenie się wysokości próbki (tj. po uzyskaniu co najmniej 3 identycznych pomiarów wysokości) określono składy: agregatowy i granulometryczny ściśniętych w edometrze próbek. Wyniki oznaczeń składów: agregatowego i granulometrycznego tych próbek podano w tabeli. Z danych przedstawionych w tej tabeli wynika, że składy: agregatowy i granulometryczny próbek obciążonych i ściśniętych różnią się od takichże

składów nie obciążonych (tj. w stanie początkowym).

Wycięte ze środkowego pasa monolitu próbki D, E, F poddawano w edometrze obciążaniu do 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) z zachowaniem początkowego stanu powietrzno-suchego. Wycięte z dolnego pasa monolitu próbki G, H, J obciążono w edometrze analogicznie jak poprzednie do 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>). Następnie próbki te będące pod obciążeniem 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) nasycono w edometrze wodą od dołu, wyznaczając wartość wskaźnika dosiadania przy tym obciążeniu –  $i_d$  (czyli tzw. wskaźnika makroporowatości –  $i_{mp}$ ), która to wartość zmienia się od 0,051 (dla próbki D) do 0,061 (dla próbki E).

Wycięte z górnego pasa monolitu próbki A, B, C po obciążeniu w edometrze do 0,0125 MPa (0,125 kG/cm<sup>2</sup>) nasycono od dołu wodą pod tym właśnie obciążeniem, wyznaczając wartości wskaźnika dosiadania przy obciążeniu 0,0125 MPa. Wartości te są znacznie mniejsze niż wartości tego wskaźnika przy obciążeniu 0,3 MPa i wahają się od 0,001 (dla próbki B) do 0,002 (dla próbki C). Po nasyceniu próbek wodą obciążano je do 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>).

Przedstawione na ryc. od 4 do 9 wyniki oznaczeń składów: agregatowego i granulometrycznego próbek lessu przed i po obciążeniu pozwalają nie tylko potwierdzić istnienie wpływu obciążenia do 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>) na strukturę badanych lessów, lecz także w wyniku ustalenia kierunków zachodzących zmian w procentowych zawartościach poszczególnych frakcji agregatowych i granulometrycznych umożliwiają wnioskowanie o charakterze procesów zachodzących w lessie pod wpływem obciążenia.

Na ryc. 4 przedstawiono tendencje zmian składu granulometrycznego próbek lessu w stanie powietrzno-suchym, zachodzące w wyniku wzrostu obciążenia tych próbek w przedziale obciążeń od 0 MPa do 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>). Obserwuje się wówczas wyraźny wzrost procentowej zawartości granulometrycznej frakcji pyłowej i być może niewielki wzrost granulometrycznej frakcji iłowej z jednocześnie wyraźnym spadkiem procentowej zawartości granulometrycznej frakcji piaskowej. W ten sposób mogą się ujawniać zachodzące w wyniku ściskania (bez możliwości bocznego rozszerzania lessu) następujące procesy: rozpadowe agregatów i rozkruszanie ziarn o wymiarach frakcji piaskowej (lub raczej tylko odłupywanie od ostrokrawędzistych, wydłużonych „iglastych” ziarn tej frakcji ich części, wzbogacające w ten sposób procentową zawartość frakcji drobniejszych, tj. pyłowej i iłowej).

Przedstawiony na ryc. 5 obraz zmian składu agregatowego tego samego lessu pokazuje wyraźny wzrost procentowej zawartości agregatowej frakcji piaskowej i spadek procentowej zawartości agregatowej frakcji iłowej, bez wzrostu lub co najwyżej z zupełnie nieistotnym wzrostem procentowej zawartości agregatowej frakcji pyłowej. Oznaczać to może, iż powstałe dzięki wymuszonemu obciążeniu, wzajemnemu zbliżeniu się do siebie ziarn i cząstek agregaty nie ulegają całkowitemu zniszczeniu podczas przygotowywania próbek do analizy agregatowej. Natomiast ulegają one zniszczeniu w trakcie przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej. Tak więc porównanie wyników analiz agregatowej i granulometrycznej ujawnia zwiększenie stanu agregacji lessu w wyniku obciążenia nawet stosunkowo nie grubym (~15 m) nadkładem i jednocześnie pozwala wnioskować o wielkości sił wiążących w agregaty poszczególne ziarna i cząstki w wyniku wymuszonego zewnętrznym obciążeniem statycznym zbliżenia tych ziarn i cząstek. Siły te są na tyle duże, że nie mogą być całkowicie przezwyciężone oddziaływaniami podczas przygotowywania próbek do analizy agregatowej i są one jednocześnie na tyle małe, że przestają działać

podczas przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej.

Tak więc wyniki analizy granulometrycznej i wyniki analizy agregatowej rozpatrywane oddzielnie prowadzą do pozornie sprzecznych wniosków. Odtworzenie pełniejszego obrazu zmian zachodzących w lessie w wyniku jego obciążenia jest możliwe dopiero przy jednoczesnym porównywaniu wyników obu analiz i warunków ich wykonania. W obciążanym do 0,3 MPa, powietrzno-suchym lessie zachodzą procesy agregacji, chociaż (przynajmniej częściowo) o niewielkich siłach wiązań ziarn i cząstek w agregaty, na co wskazuje wzrost agregatowej frakcji piaskowej i jednoczesny spadek granulometryczny frakcji piaskowej oraz rozkruszania (a zapewne raczej odłupywania części ziarn), co ujawnia wzrost procentowej zawartości granulometrycznej frakcji pyłowej i iłowej. Na łączenie się pod obciążeniem takich rozkruszonych lub odłupanych części ziarn w słabo związane agregaty wskazuje spadek procentowej zawartości agregatowej frakcji iłowej przy braku wzrostu procentowej zawartości agregatowej frakcji pyłowej wobec wzrostu procentowej zawartości granulometrycznej frakcji pyłowej i iłowej.

Inny kierunek zmian składu granulometrycznego niż w obciążanych próbkach lessu stale powietrzno-suchych obserwuje się w obciążanych początkowo również powietrzno-suchych, ale później w trakcie obciążania nasyconych wodą zarówno pod obciążeniem 0,0125 MPa (0,125 kG/cm<sup>2</sup>), jak i pod obciążeniem 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>). W obu tych przypadkach obserwuje się najczęściej wzrost procentowych zawartości granulometrycznych frakcji: piaskowej i iłowej, a w każdym razie procentowa zawartość tych frakcji jest zawsze co najmniej niemniejsza w odniesieniu do procentowych zawartości tych frakcji w powietrzno-suchych, nie obciążanych próbkach równoległych (ryc. 6 i 7). Warto tu również zauważyć, że jeśliby odrzucić jako odbiegający znacznie od pozostałych wartości skład granulometryczny próbki G (ryc. 6), zwłaszcza ze względu na wyjątkowo dużą procentową zawartość granulometrycznej frakcji iłowej, to wówczas otrzymuje się prawie idealną zbieżność zmian składu granulometrycznego próbek obciążanych do 0,3 MPa i nasyconych wodą pod obciążeniem 0,0125 MPa i pod obciążeniem 0,3 MPa.

Porównanie wskaźników analiz granulometrycznych próbek lessu w stanie początkowym (powietrzno-suchym i bez obciążenia), próbek obciążanych i nasyconych wodą pod obciążeniem mogą wskazywać, że w rezultacie wymuszonego obciążenia zbliżania się do siebie ziarn i cząstek powstają agregaty na tyle trwałe, że oddziaływanie na te agregaty podczas przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej nie doprowadza do ich rozpadu. Powstawanie takich trwałych agregatów ujawnia się we wzroście procentowej zawartości granulometrycznej frakcji piaskowej. Można by więc wnioskować, że wiązania ziarn i cząstek w agregaty po nasyceniu wodą próbek będących pod obciążeniem, a więc gdy zapewne otoczki wody związanej wokół tych ziarn i cząstek mogą stać się grubsze, są silniejsze, niż wówczas gdy grubości tych otoczek wokół ziarn i cząstek są mniejsze, jak to ma niewątpliwie miejsce wokół ziarn i cząstek lessu w stanie powietrzno-suchym.

Należy jednak pamiętać, że oddziaływanie wody ma wielofazowy układ, jaki stanowi less i każda inna skała nielita, jest wielorakie; m. in. wnika między ziarna i cząstki lessu woda może, przesuwał kolejno położenie powierzchni menisków kapilarnych, wywierając przesuwalną się dodatkowe ciśnienie, powodujące zbliżenie ziarn i cząstek między meniskami, a przez to zwiększenie oddziaływania sił wiązań między tymi ziarnami i cząstkami;

może ona także, zmniejszając tarcie między ziarnami i cząstkami lessu, ułatwiać ich przemieszczanie i zbliżanie do siebie, ułatwiając tym samym również zwiększenie oddziaływania sił wiązań między nimi. Takie ujęcie zagadnienia mogłaby również potwierdzić obserwacja, że przy nasyceniu próbek wodą pod obciążeniem 0,3 MPa powstaje więcej agregatów trwałych (w podanym wyżej sensie) o wymiarach frakcji piaskowej i zachowuje się ich więcej mimo niszczącego oddziaływania na nie podczas przygotowania próbek do analizy granulometrycznej, niż w przypadku nasycenia próbek wodą pod obciążeniem 0,0125 MPa. Może to oznaczać, że wymuszone większym, zewnętrznym obciążeniem większe zbliżenie do siebie ziarn i cząstek przed nasyceniem wodą, sprzyja szybkiemu powstawaniu agregatów trwałych (w podanym wyżej sensie).

Zwiększenie procentowej zawartości granulometrycznej frakcji ilowej może być interpretowane jako skutek rozpadu agregatów mniej trwałych, tj. takich, które nie mogły się ostać oddziaływaniu na nie podczas przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej.

W przeciwieństwie do wyników analizy granulometrycznej wyniki analizy agregatowej w obu omawianych przypadkach nasycania próbek wodą przy wzroście ich obciążenia wykazują różne tendencje do zmian składu agregatowego w zależności od momentu (ściślej od stopnia obciążenia), w którym próbki zostały nasycone wodą (ryc. 8 i 9). Kierunki i wielkości zmian składu agregatowego w przypadku nasycenia próbki pod obciążeniem 0,0125 MPa = 0,125 kG/cm<sup>2</sup> i następującego po nim obciążenia do 0,3 MPa = 3 kG/cm<sup>2</sup> (ryc. 8) są w przybliżeniu zgodne z kierunkami i wielkościami zmian składu agregatowego próbek obciążanych do 0,3 MPa = 3 kG/cm<sup>2</sup> w stanie powietrzno-suchym (ryc. 5). Obserwuje się więc wzrost procentowej zawartości agregatowej frakcji piaskowej (choć nieco mniejszy), spadek procentowej zawartości agregatowej frakcji ilowej (również nieco mniejszy).

Te zmiany w składzie agregatowym badanych próbek (ryc. 8) interpretować można jako ujawnienie tendencji do powstawania pod obciążeniem agregatów większych – przede wszystkim o wymiarach frakcji piaskowej, gdy wyniki analizy granulometrycznej wskazywać mogą na powstawanie i utrzymywanie się agregatów trwałych w warunkach przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej oraz na rozpadanie się agregatów nietrwałych w tychże warunkach. Tak więc w obciążanych próbkach lessu stwierdza się agregaty trwałe i nietrwałe w warunkach przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej.

Natomiast gdy dopiero po ostatnim stopniu obciążenia 0,3 MPa = 3 kG/cm<sup>2</sup> nasycano próbki wodą pod tym obciążeniem, uzyskano wyniki ich analiz agregatowych odmienne (ryc. 9) niż w przypadku nasycenia próbek wodą pod obciążeniem 0,0125 MPa i dalszego obciążania do 0,3 MPa (ryc. 8). Zaobserwowano wyraźnie niemniejsze procentowe zawartości agregatowej frakcji ilowej i nie większe procentowe zawartości agregatowej frakcji piaskowej w odniesieniu do agregatowego składu próbek lessu nieobciążonego, będącego w stanie powietrzno-suchym, co obrazuje ryc. 9. Tendencja do wzrostu procentowej zawartości frakcji ilowej po nasyceniu próbki wodą pod obciążeniem 0,3 MPa odmienna – a w zasadzie wprost przeciwna w stosunku do tendencji przy takim samym obciążeniu, ale bez nasycenia wodą (ryc. 5) wskazuje na oddziaływanie wody w kierunku rozpadu agregatów, zapewne w wyniku grubienia otoczek wody związanej wokół ziarn oraz cząstek i „rozklinowującego” działania nasycającej less wody.

Zapewne w tym samym kierunku oddziaływała woda

w momencie nasycenia próbek pod obciążeniem 0,0125 MPa = 0,125 kG/cm<sup>2</sup>. Jednak dalsze obciążenie tych uprzednio zdezagregowanych częściowo próbek spowodowało zbliżanie się do siebie ziarn i cząstek lessu z wypieraniem spomiędzy nich wody i przez to agregację tych próbek pod wpływem zwiększonego obciążenia zewnętrznego. W ten sposób wyjaśnić można różne tendencje zmian składu agregatowego przy nasycaniu wodą próbek pod obciążeniem przed (ryc. 8) i po ostatnim stopniu obciążenia (ryc. 9).

Wreszcie warto zaznaczyć, że procentowe zawartości agregatowej frakcji pyłowej są niemniejsze przy nasyceniu próbek wodą po ostatnim stopniu obciążenia 0,3 MPa (ryc. 9) niż próbek nieobciążonych w stanie powietrzno-suchym (ryc. 5). Biorąc pod uwagę wspomniany wzrost procentowej zawartości agregatowej frakcji ilowej oraz obserwowane zmniejszenie procentowej zawartości agregatowej frakcji piaskowej można wnioskować, że dezagregacja dotyczyła przede wszystkim agregatów większych o wymiarach frakcji piaskowej, które rozpadały się na cząstki ilowe i pyłowe oraz zapewne na mniejsze agregaty o wymiarach frakcji pyłowej.

Analizując i interpretując wyniki analiz (agregatowej i granulometrycznej) wielokrotnie używano sformułowań o wzroście agregacji i wielkości agregatów, o wzroście lub zmniejszaniu się liczby agregatów trwałych i nietrwałych pod wpływem statycznego obciążenia zewnętrznego. Podobnych sformułowań używano i w poprzednich pracach dotyczących wpływu nasycania wodą i wysychania lessu oraz pod wpływem jego zamarzania i odmarzania (2, 3). Są to w odniesieniu do rzeczywistego stanu warstwy lessu sformułowania w pewnym sensie umowne. Warstwa lessu powinna być bowiem rozpatrywana jako megaagregat, w którego obrębie wiążące siły międzycząsteczkowe łączące poszczególne elementy szkieletu mineralnego (ziarna i cząsteczki) w różnych punktach tego megaagregatu działają z różną intensywnością, dzięki czemu w zależności od sposobu rozdrabniania tego megaagregatu – a więc różnego oddziaływania na jego części w trakcie przygotowywania próbek do analiz (agregatowej i granulometrycznej) uzyskuje się rozpad tego megaagregatu na części drobniejsze: mezo- i mikroagregaty, poszczególne ziarna i cząstki mineralne. Części te nie muszą być wyodrębniane w rzeczywistości w warunkach występowania warstwy lessu, a wyodrębniają się właściwie dopiero później po zniszczeniu całej konstrukcji szkieletowej w wyniku przygotowywania próbek do analiz (agregatowej i granulometrycznej).

Uzasadnione jest więc pisanie o frakcji agregatowej i o frakcji granulometrycznej, chociaż wymiary ziarn i cząstek zarówno we frakcji agregatowej, jak i granulometrycznej są jednakowe, mimo że natura tych frakcji jest różna. Poważnym błędem – niestety spotykanym – jest traktowanie wyników analizy granulometrycznej jako określających procentowy udział rzeczywistości pojedynczych, zindywidualizowanych ziarn i cząstek w poszczególnych przedziałach ich wymiarów, gdyż nawet przy rozbijaniu agregatów w trakcie przygotowywania próbek do analizy granulometrycznej nie da się osiągnąć całkowitej ich dezagregacji. Również poważnym błędem jest traktowanie wyników analizy agregatowej, jako określających udział rzeczywistości istniejących w warstwie lessu, agregatów w poszczególnych przedziałach ich wymiarów, gdyż przez przygotowanie próbek do analizy agregatowej rozbity został megaagregat, w którym wykazane w analizie mezo- i mikroagregaty mogły w ogóle nie być zindywidualizowane, a których wyodrębnienie może być – i w większości jest nienaturalne, a wymuszane, sztuczne.

Z przeprowadzonych rozważań teoretycznych; przedstawionych wyżej wyników doświadczeń wysnuć można następujące wnioski ogólne:

– składy (granulometryczny i agregatowy) lessu wykazują tendencję do zmian w wyniku jego obciążenia nadkładem bez możliwości bocznego rozszerzenia, co ujawnia się w sposób mierzalny już przy obciążeniu 0,3 MPa (3 kG/cm<sup>2</sup>), odpowiadającemu w warunkach naturalnych miąższości nadkładu ok. 15 m;

– inny jest kierunek zmian składów (granulometrycznego i agregatowego) pod wpływem obciążenia w przypadku lessu będącego stale w stanie powietrzno-suchym, a inny w przypadku jego nasycenia wodą w trakcie obciążania;

– w wyniku mechanicznego rozpadania się agregatów i rozkruszania (odłamywania) ostrokrawędzistych części ziarn i cząstek pod wpływem obciążenia lessów w stanie powietrzno-suchym zwiększa się procentowa zawartość granulometrycznych frakcji (pyłowej i ilowej) oraz zwiększa się procentowa zawartość agregatowej frakcji piaskowej, wskazując na jednoczesny wzrost agregacji w wyniku wymuszonego obciążeniem zbliżania się do siebie ziarn i cząstek;

– nasycenie wodą obciążanego lessu powoduje zwiększenie procentowej zawartości granulometrycznej frakcji (piaskowej i ilowej) oraz jeśli po nasyceniu wodą pod obciążeniem zachodzi dalszy wzrost obciążenia, to następuje wzrost procentowy zawartości agregatowej frakcji piaskowej i spadek zawartości agregatowej frakcji ilowej, co wskazuje na zwiększenie agregacji, natomiast jeżeli po nasyceniu wodą obciążenie nie wzrasta, to wzrasta procentowa zawartość agregatowej frakcji ilowej, co wskazuje na proces dezagregacji;

– zależnie od kolejności czy nasycenie wodą nastąpiło po ostatnim obciążeniu, czy też po nasyceniu wodą nastąpił jeszcze dalszy wzrost obciążenia kierunek zmian strukturalnych wyznacza przewaga procesów bądź dezagregacji, bądź agregacji;

– opisane zmiany struktury lessów mogą również wyjaśnić brak tzw. typowych lessów wśród kopalnych utworów pylastych, starszych od zlodowacenia bałtyckiego;

– obserwowane struktury porowatych pylastych i ilastych skał nielitych, które są lub były obciążone odpowiednio dużym nadkładem nie powinny być bez głębszej analizy możliwości powstania zmian strukturalnych w przeszłości traktowane jako zachowane pierwotne struktury sedymentacyjne;

– bardziej precyzyjna prognoza inżyniersko-geologiczna zachowania się podłoża pod większymi obiektami budowlanymi powinna uwzględniać możliwość zmian struktury lessów jak i innych porowatych, pylastych i ilastych skał nielitych (gruntów spoistych);

– składy: granulometryczny i agregatowy przy bardziej wnikliwych badaniach okazują się mniej stałymi charakterystykami porowatych, pylastych lub ilastych skał nielitych (gruntów spoistych), niż to się dotychczas powszechnie przyjmuje.

#### LITERATURA

1. Hirschwald J. — Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. Berlin 1912.
2. Kowalski W.C., Hoffmann E., Myślińska E., Wiewióra K. — Kierunki zmian składu granulometrycznego lessu w wyniku wielokrotnego nasycenia wodą kapilarną i wielokrotnego zamrażania. (w druku).

3. Kowalski W.C., Hoffmann E., Myślińska E., Wiewióra K. — Kierunki zmian składu agregatowego lessu w wyniku wielokrotnego nasycenia wodą kapilarną i wielokrotnego zamrażania. (w druku).
4. Łarionow A.K. — Inżynierno-geologiczeskoje izuczeniej struktury rychłych osadocznych porod (Struktura grunta). Moskwa 1966.
5. Minerwin A.W. — Modelowanie warunków tworzenia się grubopółowych cząstek utworów lessowych. Inż. Geol. 1980 nr 1.
6. Myślińska E. — Przewodnik do ćwiczeń z gruntoznawstwa. Warszawa 1979.
7. Quarvain F. — Technische Gesteinskunde. Basel 1967.
8. Redlich K.A., Terzaghi K., Kampe R. — Ingenieur-geologie. Wien 1929.
9. Tschermak G., Becke F. — Podręcznik mineralogii. Tłum. J. Morozewicz i T.J. Wojno, Warszawa 1931.

#### SUMMARY

Theoretical considerations show that effective stresses on contact surfaces between grains, particles and their aggregates of loess mineral skeleton are many times greater than conventionally calculated normal stress on the upper surface of the loess as well as any other cohesive soil (Figs 1 and 2). Initial increase of these stresses results in desintegration of aggregates into particular grains and particular grains and particles after resistance of aggregates has been exceeded. Further increase of these stresses brings closer grains and particles of the mineral skeleton, leading, therefore, to their aggregation. The last stage in increase of these stresses, connected with exceeding strength of particular and particles, leads to their crumbling and, thus, increase of percentage content of smaller fractions in grain-size distribution. The essential influence on the loess structure changes has the value of its load as well as the moment of its water saturation. The changes in the aggregate and grain-size distributions point the changes of a loess structure quantitatively. The change tendencies of the aggregate and grain-size distributions under the influence of a load are illustrated on the figures 4 and 5 (in air — dry state), 7 and 8 (after water saturation under load 0,0125 MPa), 6 and 9 (after water saturation under load 0,3 MPa). The studies make possible to draw the following general conclusions: the described loess structure changes can explain the absence of so called typical loesses among fossil, silty soils, older than the Baltic glaciation; the observed structures of cohesive soils, that are or were loaded with a suitable thick overburden, ought not to be discussed as original sedimentary structures; the more exact engineering-geological forecast of the foundation changes under the bigger buildings ought to take into considerations also the possibility of the cohesive soil structure changes; the aggregate and grain-size distributions appear to be the less constant features as it is generally assumed.

*Translated by the Authors*

#### РЕЗЮМЕ

Из теоретических рассуждений следует, что активные напряжения на контактных поверхностях зерн, частиц и их агрегатов минерального скелета лёсса многократно больше, чем условно вычисленные нор-