

„Umiejętności dopotąd są jeszcze próżnym wynalazkiem, może czczym tylko rozumu wywodem albo próżniactwa zabawą, dopokąd nie są zastosowane do użytku narodów. I uczeni potąd nie odpowiadają swemu powołaniu, swemu w towarzystwach ludzkich przeznaczeniu... dopokąd ich umiejętność nie nadaje fabrykom i rękodzielnom oświecenia, ułatwienia kierunku postępu”.

STANISŁAW STASZIC

JAN MALINOWSKI

Zakład Geologii Inżynierskiej IG

Z BADAŃ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH LESSU

WŚRÓD WIELU ZAGADNIEŃ GEOTECHNIKI utworów geologicznych jedne z najważniejszych są własności geologiczno-techniczne lessu. Liczne przykłady z budownictwa wykazały, iż less ma bardzo zmienne własności geotechniczne i z tego powodu nie jest najlepszym podłożem budowlanym.

Less zawilgocony wodą po obciążeniu budowlą ulega osiadaniu zapadowemu, które w skutkach powoduje duże straty w budownictwie, co zmusiło inżynierów budowlanych a następnie geologów do badania własności tego skompilowanego utworu geologicznego jako podłoża dla różnych obiektów budowlanych.

Badania geotechniki lessu na bardzo szeroką skalę zaczęto przeprowadzać w Rosji a następnie w ZSRR. Wielkie obszary lessowe tego kraju stawały się terenami szeroko zakrojonej ekspansji budowlanej. Już przy budowie linii kolejowych w Rosji przed pierwszą wojną światową korzystano z opinii geologicznych szczególnie na terenach lessowych i osuwiskowych. Udział w tych pracach brali również geolodzy polscy przebywający w tym czasie w Rosji: K. Bogdanowicz, S. Czarnocki i J. Morozewicz.

Po rewolucji, kiedy w ZSRR następuje szybki rozwój budownictwa, szkody budowlane na lessach powstają niemal we wszystkich rodzajach budownictwa, powodując olbrzymie straty gospodarcze. Intensywne badania geologów radzieckich w tym kierunku przynoszą ciekawe wyniki, które są publikowane zarówno w literaturze geologicznej, jak i budowlanej.

Badania geotechniki lessu przybierają na sile od czasu, kiedy M. M. Rieszetkin i E. K. Zamarin wykazali w 1929 r. zależność między osiadaniami zapadowym lessu a jego wielką porowatością (wg I. W. Popowa). Powstawanie ciągłe nowych szkód budowlanych na obszarach lessowych zwróciło także uwagę budowniczych radzieckich na problem geotechniki lessu. Rozwijane są w tym kierunku specjalne badania. Zagadnieniom tym poświęcono dwie konferencje o znaczeniu ogólnopanstwowym. Na konferencjach tych wygłoszono wiele referatów dotyczących metodyki badań i charakterystyki niektórych obszarów lessowych. Referaty te były później publikowane w pracach I Międzynarodowego Kongresu Miejskiego Budownictwa Podziemnego w Paryżu w 1937 r.

i I Międzynarodowej Konferencji Mechaniki Gruntu w USA w 1936 r. Wśród tych prac czołowe miejsce zajmują wyniki badań J. M. Abielewa.

Badania nad geotechniką lessu są również rozwijane w owym czasie w Niemczech, Austrii i Ameryce.

W okolicy Wiednia badania tego typu przeprowadzał w 1926 r. Emperger. Doszedł on do wniosku, iż less jest dobrym podłożem budowlanym, które może przyjmować obciążenie do 3 kg/cm². Wniosek ten nie znalazł jednak pełnego potwierdzenia w wynikach późniejszych prac badawczych. Doppler badał lessy w Argentynie, nie otrzymał jednak spodziewanych wyników poza ogólnym, znanym już wtedy stwierdzeniem, iż ze wzrostem wilgotności lessów wzrasta osiadanie budowli.

W latach trzydziestych K. Terzaghi zwraca uwagę w swoich pracach na niektóre stany fizyczne lessu i ich znaczenie w budownictwie. W 1934 r. ukazuje się praca A. Scheidiga, która ma charakter monograficzny. W pracy tej zostały zebrane wszelkie dane dotyczące geotechniki lessu z poprzednich lat, z całkowitym jednak pominięciem znacznie już wtedy zaawansowanych badań geotechnicznych lessu w ZSRR. Praca ma jednak dużą wartość, ponieważ jest syntezą ówczesnego stanu wiedzy o geotechnice lessów, omawia przy tym niektóre materiały źródłowe praktycznie dzisiaj nieosiągalne.

Po II wojnie światowej badania geotechniki lessu rozwinęły się szeroko w ZSRR. Wynikiem ich jest wiele interesujących publikacji: J. M. Abielewa, N. J. Dienisowa, G. A. Mawljanowa i innych. Wiele miejsca geotechnice lessów poświęca również literatura podręcznikowa. Należy tu wymienić pozycje literatury polskiej (3, 5).

Prace nad geotechniką w innych krajach posunęły się raczej niewiele, brak przynajmniej szerszych publikacji na ten temat. Szczupłe prace typu przyczynkowego spotykamy częściej w literaturze budowlanej a nie geologicznej.

Pierwsze opisy szkód budowlanych na lessach znamy z pracy A. Scheidiga, który stara się podawać także ich ocenę geotechniczną. W 1926 r. w miejscowości Lommatzsch w Niemczech, która jest zbudowana na lessach, zapadł się tramwaj podczas jazdy.

Powstałe zapadnięcie groziło znajdującym się w pobliżu budynkom mieszkalnym, które musiano niezwłocznie zabezpieczyć. Podczas wyjaśniania przyczyny tego niezwykłego jak na owe czasy zjawiska okazało się, iż pod ulicami i budynkami mieszkalnymi miasteczka występują dwupiętrowe piwnice połączone systemem korytarzy. Zarówno piwnice, jak i korytarze były prawie tak stare jak miasto. Przyczyną powstania tego zjawiska, jak podaje Scheidig, były przypuszczalne wstrząsy spowodowane ruchem pojazdów mechanicznych. Wstrząsy te rozluźniły grunt nad piwnicami i korytarzami, który musiał ulec zapadnięciu. Autor nie podaje, w jakim stanie znajdowały się piwnice, można bowiem przypuszczać, że znajdowały się one pod wpływem wody. W każdym razie przypuszczenie autora co do rzeczywistej przyczyny zjawiska nie zostało udokumentowane.

Podobny przypadek zdarzył się także w 1928 r. w Turynii. W mieście Altenburg uległ poważnemu uszkodzeniu dom mieszkalny, pod którym była dość duża piwnica. Przyczyną powstania szkody było pęknięcie rury wodociągowej. Rura ta przebiegała pod dnem piwnicy na głęb. 1 m. Scheidig przypuszcza, iż duży dopływ wody spowodował upłynięcie lessu, który został wyniesiony z wodą do piwnicy lub częściowo do przerwanych również rur kanalizacyjnych. W ten sposób utworzyła się kawerna, której obecność spowodowała załamanie się podłoża pod fundamentami budynku. W efekcie jeden z narożników budynku osiadł 30 cm. Na przebiegającej obok ulicy wytworzyły się zakleszczenia i jezdnia uległa sfałdowaniu. Budynek ten został rozebrany. Omawiając to zjawisko Scheidig nie wyklucza również wpływu wstrząsów wywoływanych ruchem pojazdów. I w tym również przypadku nie została przeprowadzona geotechniczna analiza przyczyny zjawiska. Toteż nie wiemy, czy wystąpiła tu suffozja, czy osiadanie zapadowe, czy też oba te procesy jednocześnie, co jest najbardziej prawdopodobne. Abielew nie zgadza się z wyjaśnieniami Scheidiga i przypuszcza, iż w obu przypadkach przyczyną szkód mogło być tylko zawilgocenie podłoża.

Ciekawe przykłady szkód budowlanych na podłożu lessowym podaje Abielew. Jednym z takich przykładów jest pochylenie się komina fabrycznego kombinatu metalurgicznego. Komin ten był budowany od września 1929 do czerwca 1930 r. Pochylenie komina łącznie z fundamentem stwierdzono we wrześniu 1930 r. Odchylenie od pionu górnej części komina wynosiło 560 mm, a 10 kwietnia 1931 wynosiło już 1196 mm. Badanie przyczyny tego zjawiska wykazało, że w okresie jesiennym 1930 teren fabryczny był silnie rozkopany. W rowach i wykopach zebrano się znaczna ilość wody, która powodowała stałe zamakanie podłoża. Okazało się również, iż niewłaściwie sklasyfikowano grunty lessowe. Zostały one określone jako II. Prawdopodobnie wskutek takiego sklasyfikowania nie zabezpieczono odpowiednio wykopów przed wodami atmosferycznymi.

Ten sam autor wskazuje na potrzebę dokładnych badań lessu dla budownictwa przemysłowego. Jako typowy przykład niedoceniania tego problemu w tej gałęzi inwestycji, podaje dość szczegółowy opis szkód budowlanych na jednym z kombinatów metalurgicznych budowanych na Syberii w latach 1930—1934. Szkody rozpoczęły się tu również od pochylenia komina, następnie przechyleniu uległ wielki piec oraz nierównomiernie osiadały fundamenty drugiego wielkiego pieca i dalsze obiekty kombinatu. Szkody oponowano nakładem znacznych dodatkowych kosztów. Stwierdzono, iż przyczyną szkód była we wszystkich przypadkach woda. Na wielkim piecu działał wadliwy system chłodniczy, co stało się źródłem zawilgocenia podłoża. W pozostałych przypadkach zawilgocenie nastąpiło wskutek przeciekania wody z betonowych rurociągów.

Zagadnienie geotechniki lessów stało się również aktualne w Polsce. Możemy już obecnie zanotować bardzo poważne szkody budowlane na lessach, co wobec perspektyw rozwoju budownictwa na niektó-

rych obszarach lessowych czyni ten problem bardzo aktualny. Szkody budowlane na lessach z obszaru Polski zostały stwierdzone w okresie powojennym. Charakterystycznymi przykładami są szkody powstałe w Jarosławiu. W czasie okupacji nastąpiła likwidacja getta w tym mieście przez hitlerowców i zniszczenie budynków mieszkalnych. W ten sposób zostały otwarte piwnice wykonane w utworach lessowych. Należy zaznaczyć, że piwnice w Jarosławiu posiadają kilka kondygnacji i łączą się ze sobą w skomplikowany labirynt. Piwnice te datują się z XVI w., kiedy to Jarosław otrzymał prawo składowania towarów. Pozostawione bez zabezpieczenia piwnice stały się miejscem gromadzenia wód atmosferycznych, które infiltrując w podłoże i na boki stale zawilgocąły grunt pod fundamentami najbliższych stojących budynków. W efekcie pojawiły się w 1947 r. pęknięcia na budynkach w zabytkowej części miasta dokoła rynku. Pęknięcia te poszerzały się szybko, powodując uszkodzenia kilku budynków. Zagrożeniu uległy też budynki z najbliższego sąsiedztwa. Część budynków uległa zniszczeniu, część zabezpieczono kosztownymi sposobami¹.

Zupełnie analogiczny przykład wystąpił w Lublinie, gdzie istnieje podobny system piwnic jak w Jarosławiu. Bezpośrednią przyczyną zawilgocenia lessu było tu pęknięcie rury wodociągowej, którą pozostawiono bez naprawy przez kilkanaście godzin. Wypływająca pod dużym ciśnieniem woda spowodowała upłynięcie lessu. Powstałe w ten sposób kawerny o dość dużych rozmiarach stały się przyczyną natychmiastowego pęknięcia budynków². Pierwsza uległa uszkodzeniu zabytkowa kamienica Sobieskich.

Oba opisane przypadki przedstawiają pewną analogię do przykładów podanych przez A. Scheidiga w Lommatzsch i Altenburgu. Ciekawy przykład znany jest z terenu Nowej Huty, gdzie pochyleniu uległ komin fabryczny³. Przykład ten zasługuje na uwagę, ponieważ badania geotechniczne lessu wykazały, iż jest on skłonny do osiadań zapadowych. Fakt ten został jednak zlekceważony przez wykonawców, co spowodowało powstanie przechyłu na szczęście nieszkodliwego w skutkach.

Należy także wskazać, iż wiele szkód budowlanych powstaje na drogach bitych, kolejowych. Zanotowano też kilka przykładów powstania osuwisk w obrębie utworów lessowych. Jeżeli do wymienionych szkód dodamy olbrzymią erozję gleb lessowych w kilku punktach kraju, będziemy mieli ogólny obraz znaczenia, jakie mają w dziedzinnie gospodarczej utwory lessowe.

Zaden z opisanych przykładów w Polsce nie był badany z punktu widzenia geotechniki. Stanowi to dużą stratę dla badań naukowych jak i dla rozwiązywania zagadnień praktycznych tego typu. Jest to ważne z tego jeszcze względu, że obszary lessowe stanowią obszar o pow. 19 480 km², co wynosi 8,24% powierzchni kraju⁴. Niektóre obszary, jak np. krakowski, podkarpacki, lubelski ulegają intensywnej rozbudowie, dlatego poznanie geotechnicznych własności lessu jest w tych warunkach jak najbardziej konieczne.

Zjawisko osiadania zapadowego w lessach wiąże się z ich określonymi własnościami fizycznymi, które uzależnione są od warunków akumulacji lessu i geologicznych warunków występowania. Wielkie uczulenie lessu na działanie wody wynika przede wszystkim stąd, iż less jako najmłodszy utwór geologiczny nie uległ daleko posuniętym procesom diagenety. Wskutek tego jest utworem mało skompresowanym, skłonny do rozsypliwości nawet w naturalnych warunkach występowania. W budowie strukturalnej lessu nie nastąpiły zmiany geochemiczne w takim stop-

¹ Opis niniejszy podaje na podstawie informacji inż. architekta Wawrzyńca Dayczaka.

² Na podstawie informacji uzyskanych od prof. dr inż. R. Piątkowskiego, który udzielił opinii w tej sprawie.

³ Na podstawie informacji doc. dr A. Michalika.

⁴ Według mapy geologicznej 1:1 000 000.

niu, który mógłby spowodować wzajemną konsolidację cząstek i pewien stan ich spoiwości.

O ile starsze poziomy akumulacyjne lessu uległy w pewnym stopniu takim przemianom, to poziomy najmłodsze przeszły je w stopniu minimalnym. Spoiwość, jaką mają najmłodsze poziomy lessu, jest więc niewielka i przy geotechnicznej ocenie nie wchodzi praktycznie w rachubę. Te różnice w spoiwości między wiekowo różnymi poziomami lessu tłumaczą nam w pewnym stopniu powstawanie zjawiska osiadania zapadowego w różnych odmianach lessu.

Według J. M. Abielewa osiadania zapadowe mogą powstać tylko przy zawilgoceniu podłoża lessowego. Z drugiej zaś strony osiadania te mogą powstać w takim lessie, który określa się jako makroporowaty. Makroporowatością lessu autor ten nazywa system wolnych przestrzeni istniejących obok porowatości pierwotnej, tj. takiej, jaką miał less po zakończeniu cyklu akumulacyjnego. Te wolne próżnie widoczne są okiem nieuzbrojonym i zostały określone jako makropory. Makropory są więc wtórną cechą lessu. Powstały one jako próżnie po rozłożonych cząstkach organicznych, wydrążenia przez faunę, częściowe lub całkowite ługowanie niektórych łatwo rozpuszczalnych składników lessu.

Obecność makropor stwarza warunki do intensywnej parowania wody, wskutek czego (w zależności od warunków klimatycznych) less ma mniejszą wilgotność niż inne utwory geologiczne o większej spoiwości w tych samych warunkach klimatycznych. Makropory są często przyczyną, iż less przechodzi w stan przesuszenia, tzn. ma taką wilgotność, która jest niższa od maksymalnej cząsteczkowej nasiąkliwości. W takich warunkach less stanowi utwór o dużej zdolności filtracyjnej. Woda, która dostanie się w obręb lessu makroporowatego, przepływa dość szybko, powodując rozsuwanie się poszczególnych ziarn i zniszczenie spoiwości, jaką ma dany rodzaj lessu. W ten sposób następuje załamanie struktury, ziarna ulegają przemieszczeniu i ponownemu ułożeniu, a na powierzchni występuje zjawisko zawału.

W tych odmianach lessu, które charakteryzują się pewną zwiększoną spoiwością, proces zawału może być bardziej powolny, przez to rozciągnięty w czasie i może przebiegać bardziej skomplikowanie. Zależać to będzie od wewnętrznej budowy strukturalnej, ra którą złoży się wielkość i rodzaj cząstek oraz wielkość procesów geodynamicznych, którym uległ dany utwór lessowy. Z teorii budowy szkieletu gruntowego wiadomo, iż spoiwość gruntu zależy od obecności wody błonkowej, której działanie uszlifowuje grunt związane jest z wielkością cząstek.

W gruntach drobnoziarnistych nosicielami wody błonkowej są cząstki ilaste. W przypadku lessu spoiwość będzie zależała od ilości substancji ilastej. Substancja ilasta w lessach może pochodzić ze zwietrzenia skaleni będących składnikiem lessu lub może być pochodzenia wtórnego przez deflację skał ilastych. Dotychczasowa znajomość składu i budowy petrograficznej lessu wskazuje, iż stosunki ilościowe substancji ilastej w poszczególnych poziomach lessu są bardzo zmienne. Ta właśnie zmienność jest drugim ważnym czynnikiem, od którego zależy zachowanie się podłoża w procesie osiadania pod budowlą. Nieustalony bliżej jest wpływ spoiwości lessu spowodowany obecnością węgla wapnia. Węgiel wapnia działa w pewnym stopniu jako substancja zlepiająca ziarna lessu, wskutek czego tworzą się formy agregatowe. Według niektórych danych ten rodzaj spoiwości nie ma istotnego znaczenia na zachowanie się lessu w procesie osiadania zapadowego. Należy tu zaznaczyć, iż problem ten powinno się rozpatrywać w obrębie określonego poziomu stratygraficznego. W niektórych bowiem poziomach będziemy mieli węgiel wapnia syngenetyczny z osadem, występujący w postaci pojedynczych ziarenek, którego rola jako czynnika zlepiającego ziarna będzie minimalna. Natomiast węgiel wapnia wtórny, czyli epigenetyczny, występujący w postaci nacieków będzie miał największe znaczenie jako substancja zlepiająca ziarna.

W poziomach wietrzenia, czyli w glinach lessowych zawartość węgla wapnia jest znikoma, dlatego wpływ ma spoiwość lessu jest tu niewielki i praktycznie raczej bez znaczenia.

Badania autora niniejszego referatu w tym kierunku wskazują, iż nie istnieje zależność między zawartością węgla wapnia w lessie a osiadaniami zapadowym.

J. M. Abielew na podstawie przeprowadzonych licznych eksperymentów podaje, iż proces osiadania zapadowego zachodzi tylko wtedy, gdy istnieje infiltracja wody w obręb podłoża lessowego. Autor ten uogólnia wyniki swoich badań następująco: osiadanie zapadowe występuje w podłożu lessowym obciążonym budowlą. Pojawia się w momencie zawilgocenia podłoża i stagnuje po odpływie wody. Osiadanie zapadowe przebiega w trzech etapach:

1. Etap osiadania normalnego, w którym grunt ulega zagęszczeniu przez nacisk fundamentów, 2. Etap osiadania dodatkowego, w którym grunt lessowy ulega zagęszczeniu dodatkowemu w obrębie strefy aktywnej pod wpływem zawilgocenia, 3. Etap osiadania zapadowego, w którym przy nasyceniu wodą grunt traci spójność i pod wpływem ciężaru budowli ulega załamaniu.

Od czasu stwierdzenia szkód budowlanych na obszarach lessowych prowadzono intensywne badania w celu ustalenia sposobów określania skłonności lessów do osiadań zapadowych. W praktyce przyjęły się dwa takie sposoby — laboratoryjny polegający na obciążaniu próbki lessu w edometrze i — polowy polegający na przeprowadzeniu próbnych obciążeń w odpowiednio wykonanych wykopach. W jednym i drugim przypadku po zakończeniu normalnego osiadania dalsze obciążenia przeprowadza się po zalaniu lessu wodą. Na podstawie przeprowadzonych tymi dwoma sposobami badań opracowano wiele wskaźników cyfrowych, które mogą charakteryzować skłonność lessu do osiadań zapadowych. Jednym z takich wskaźników jest wprowadzony przez N. J. Dienisowa wskaźnik dodatkowego osiadania R, który można wyliczyć w sposób następujący:

$$R = \frac{S_2}{h - S_1}$$

gdzie: S_2 — osiadanie próbki w edometrze przed zawilgoceniem próbki (osiadanie normalne)
 S_1 — osiadanie próbki w edometrze po zawilgoceniu próbki
 h — wysokość pierwotna próbki

Autor ten podaje, iż otrzymał wartości R dla lessów osiadających zapadowo znacznie wyższe niż 3%. Natomiast dla lessów nie ulegających osiadaniam zapadowym wartość R wahała się w granicach 2—3%. Polska Norma B-55/02480 zapożyczona z norm radzieckich wprowadza pojęcie wskaźnika makroporowatości i_m , którego wyliczenie opiera się na metodzie laboratoryjnej według tych samych zasad co w wyżej przedstawionym wzorze.

Według tej normy, jeśli $i_m > 0,02$, to less ma strukturę nietrwałą i będzie osiadał zapadowo. Dla $i_m < 0,02$ less ma strukturę trwałą i nie będzie wykazywał skłonności do zapadowego osiadania. J. M. Abielew zaleca korzystać z metod polowych, które są bardziej dokładne niż laboratoryjne. Przez próbne obciążenia można obliczyć wskaźnik osiadania zapadowego „M”, według wzoru:

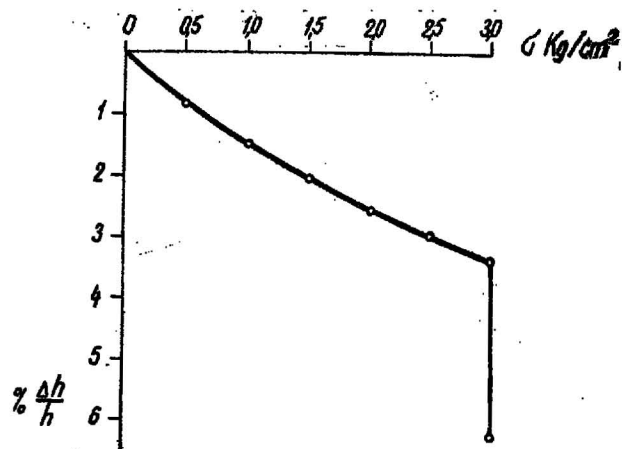
$$M = \frac{S_z}{S_n}$$

gdzie: S_z — osiadanie całkowite obciążnika po zawilgoceniu
 S_n — osiadanie obciążnika przed zawilgoceniem

Inni badacze posługują się wskaźnikami, których wyliczenie opiera się na tych samych zasadach jak wyżej wymieniono. Różnią się one wprowadzaniem

ZESTAWIENIE WŁASNOŚCI FIZYCZNYCH I MECHANICZNYCH NIEKTÓRYCH ODMIAN LESSU

Miejsce badania	Głębokość pobrania próbki w m	Poziom strat. lessu	Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji w %%			Wilgotność	Porowatość	Wskaźnik porowatości	Konsystencja	Ściśliwość próbki w edometrze przy obciążeniu 3 kg/cm ²			Ściśliwość całkowita próbki w edometrze przy obciążeniu 3 kg/cm ² po zamoczeniu wodą			Współczynnik makroporowatości im wg P.N.	Rodzaj struktury
				ps.	pl.	il.					Δh	$\frac{\Delta h}{h}$	% ściśliwości	Δh	$\frac{\Delta h}{h}$	% ściśliwości		
Kazimierz Dolny	3,3		pl.	12	82	6	6,0	46,3	0,85	półzwarda	0,774	0,0281	2,81	1,380	0,0500	5,0	0,023	nietrwała
	4,5		pl.	15	80	5	7,8	42,3	0,72	półzwarda	0,760	0,0271	2,71	1,300	0,0464	4,64	0,023	nietrwała
	6,4		pl.	12	82	6	10,0	41,6	0,70	półzwarda	0,776	0,0281	2,81	1,344	0,0487	4,87	0,021	nietrwała
	8,0		pl.	3	83	9	7,0	46,2	0,85	półzwarda	0,777	0,0282	2,82	1,546	0,0560	5,6	0,03	nietrwała
	10,4		pl.	12	82	6	12,1	41,6	0,70	półzwarda	0,763	0,0273	2,73	0,940	0,0336	3,36	0,006	trwała
	12,0		gl. pl.	12	76	12	22,4	39,8	0,65	tw. plat.	1,034	0,0372	3,72	1,086	0,0391	3,91	0,002	trwała
Szczepieszyn	6,4		gl. pl.	17	71	12	13,7	35,6	0,55	półzwarda	0,990	0,0357	3,57	1,330	0,0480	4,8	0,01	trwała
	14,0		pl.	13	83	4	10,2	38,2	0,63	zwarda	0,882	0,0319	3,19	2,075	0,0752	7,52	0,04	nietrwała
Zaporze	4,2		gl. pl.	6	86	8	11,4	38,6	0,61	półzwarda	0,880	0,0318	3,18	1,575	0,057	5,7	0,026	nietrwała
	3,6		gl. pl.	6	81	13	14,2	34,8	0,53	półzwarda	0,938	0,0331	3,31	1,888	0,0684	6,84	0,036	nietrwała
	7,9		gl. pl.	5	80	15	14,8	34,7	0,53	półzwarda	0,865	0,0314	3,14	1,736	0,0629	6,29	0,032	nietrwała
	9,5		gl. pl.	9	74	17	14,0	34,7	0,54	półzwarda	0,914	0,0331	3,31	1,723	0,0627	6,27	0,031	nietrwała
	14,5		gl. pl.	6	76	18	25,9	49,3	0,96	plastyczna	1,440	0,0515	5,15	1,532	0,0545	5,45	0,003	trwała
Sułowiec	4,6		pl.	18	73	9	10,4	38,0	0,61	półzwarda	0,864	0,0312	2,12	1,500	0,0542	5,42	0,023	nietrwała
	8,0		pl.	9	87	4	10,5	39,4	0,65	półzwarda	0,867	0,0312	3,12	1,530	0,0550	5,50	0,024	nietrwała
	10,3		pl.	3	88	9	16,6	35,9	0,56	półzwarda	0,870	0,0315	3,15	1,300	0,0470	4,70	0,016	trwała



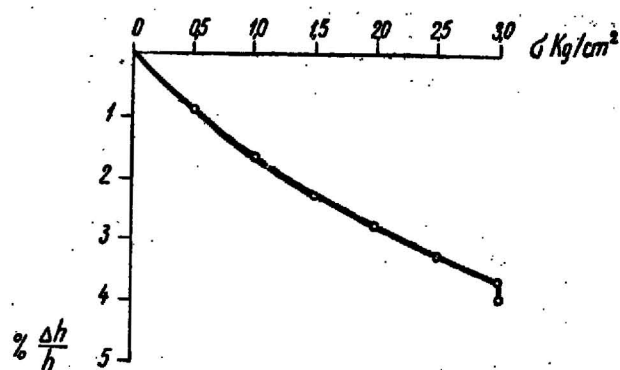
Ryc. 1. Wykres ścisłości lessów starszego i młodszego z okolicy Puław

a — less młody gł. 6,5 m — struktura nietrwała, b — less starszy gł. 9 m — struktura trwała

dodatkowych współczynników, które mają na celu eliminację błędów i uzyskanie jak najbardziej dokładnych wyników. Dotychczasowy stan wiedzy o geotechnice lessów jest dość pokątny i pozwala scharakteryzować niektóre grupy litologiczne i stratygraficzne pod względem ich skłonności do osiadań zapadawych i ustalić ich podział geotechniczny.

Ogólnie można już powiedzieć, że własności geotechniczne lessu są bardziej korzystne na głębszych odciśkach profilu, jeżeli mamy warstwę jednorodną. Jeśli natomiast less jest zróżnicowany w swoim profilu, wtedy może się zdarzyć, że warstwa występująca na powierzchni terenu ma korzystne własności geotechniczne, zaś less niżej legły może być skłonny do osiadań zapadawych. Widzimy więc, że w takich przypadkach rozwiązanie zagadnienia może nam ułatwić znajomość profilu lessu, zwłaszcza wykształcenia poszczególnych warstw. Badania Instytutu Geologicznego prowadzone w tym kierunku dowiodły, że niektóre odmiany lessów miały pod tym względem bardzo odmienne własności. Badania nad lessami okolic Puław i Kazimierza Dolnego wykazały, że less na powierzchni terenu wykształcony jest jako tzw. less typowy, bezstrukturalny, sklasyfikowany wg PN jako pył. Stratygraficznie jest to less młodszy, o miąższości dochodzącej do 15 m. W spągowej części tego lessu widoczne jest wzbogacenie we frakcję ilową, której ilość może dochodzić do 10%. Obecność frakcji ilowej sprawia, iż spągowa część lessu jest gliniasta. Badania wskaźnika makroporowatości wskazują, iż less do głębokości ok. 9 m ma strukturę nietrwałą, jest więc skłonny do osiadania zapadawego. Natomiast spągowa część lessu, bardziej gliniasta, ma już strukturę trwałą. Drugim rodzajem lessu we wspomnianej okolicy jest glina lessowa o dużej zawartości frakcji ilowej dochodzącej do 20%. PN klasyfikują ją jako glinę pylastą. Lessowa glina pylasta stanowi tu poziom wietrzeńcowy lessu starszego, których miąższość dochodzi do 5 m. We wszystkich badanych przypadkach pylasta glina lessowa ma strukturę trwałą. Pod gliną lessową występuje dolny (starszy) poziom lessu, który jest podobny do dolnej warstwy zglinionej lessu górnego (młodszego). Less tego poziomu ma również strukturę trwałą. Osiadanie próbek z odpowiednich poziomów lessu przedstawia ryc. 1 i 2. Trzecią grupę utworów lessowych na omawianym obszarze stanowią deluwia, które mają strukturę nietrwałą.

Bardziej rozbieżne wyniki otrzymano z terenów roztocza, gdzie budowa lessów jest do pewnego stopnia analogiczna jak w okolicy Puław. W niektórych profilach nie stwierdzono zupełnie wrażliwości strukturalnej lessu, w innych zaś stwierdzono, iż na róż-



Ryc. 2. Wykres ścisłości gliny lessowej z okolicy Puław — struktura trwała gł. 12 m.

nych głębokościach less jest skłonny do osiadań zapadawych. W obszarze tym stwierdzono również wrażliwość strukturalną lessu gliniastego, sklasyfikowanego wg PN jako glina pylasta o zawartości 12—17% frakcji ilowej. Ścisłość tej gliny ilustruje ryc. 3, a przebieg osiadania w czasie przedstawiono na ryc. 4.

Przykłady te wskazują, iż na obszarze roztocza wrażliwość strukturalna jest bardzo zmienną cechą lessu, którą możemy napotkać w każdym poziomie stratygraficznym.

Próby porównywania własności geotechnicznych lessu z profilem stratygraficznym spotykamy u J. M. Abielewa. Autor ten dzieli lessy na dwie klasy na podstawie kryteriów zabarwienia, które ma odzwierciedlać ich charakter litologiczny. Do klasy pierwszej zalicza lessy o zabarwieniu jasnym, które całkowicie mają strukturę nietrwałą. Klasę tę można uważać za odpowiednik lessów typowych w Polsce. Do klasy drugiej zostały zaliczone lessy o barwie brudnej mające w każdym przypadku strukturę trwałą. Odpowiadałyby one lessom gliniastym poziomów wietrzeńcowych. Różnice między tymi klasami autor stara się wykazać niektórymi wskaźnikami cech geotechnicznych. Podział ten jak najbardziej ogólny nie uwzględnia wszystkich pozostałych grup i odmian lessu, które nawet w obrębie jednej warstwy mogą mieć odmienne własności, jak to wyżej wskazano.

Wyniki dotychczasowych badań geotechnicznych lessu wskazują więc, że istnieje pewna zależność wrażliwości strukturalnej od zawartości substancji ilastej. Jednak stopień tej zależności jest dotychczas bliżej nieokreślony. Dla ilustracji powyższego podaję w tabeli kilka charakterystycznych danych z różnych poziomów lessu. Z tabeli tej wynika, że wzrost frakcji ilowej, nadający danemu utworowi charakter bardziej gliniasty, nie we wszystkich przypadkach wpływa na trwałość strukturalną lessu. Na przykład zbadana próbka w miejscowości Zaporze na głębokości 9,5 m ma strukturę nietrwałą, choć zawartość frakcji ilowej wynosi 17%. Należy przy tym wskazać, iż nie zawsze ilość frakcji ilowej stwierdzonej drogą analizy areometrycznej jest ilością rzeczywistą. Badania petrograficzne wskazują, iż frakcja < 0,002 mm nie jest czystą frakcją ilową, ale zawiera także poważną ilość pelitu kwarcowo-skaleniowego, który często może być źródłem błędów przy określaniu zawartości frakcji ilowej w sensie petrograficznym.

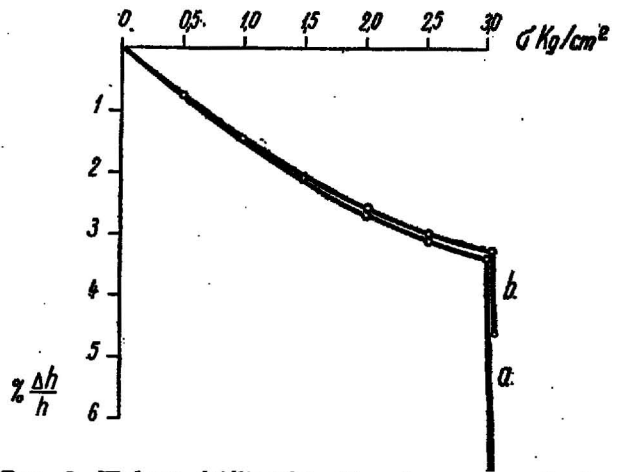
Podane w tabeli przykłady wskazują, iż spójność lessu spowodowana obecnością substancji ilastej nie zawsze może być czynnikiem przeciwdziałającym powstaniu osiadania zapadawego. Zależność tej ważnej cechy geotechnicznej, jaką jest wrażliwość struktury, od czynników petrograficznych i fizycznych wymaga osobnych studiów.

Ze wstępnej oceny zebranych obecnie materiałów wysuwają się wnioski, iż wrażliwość strukturalna

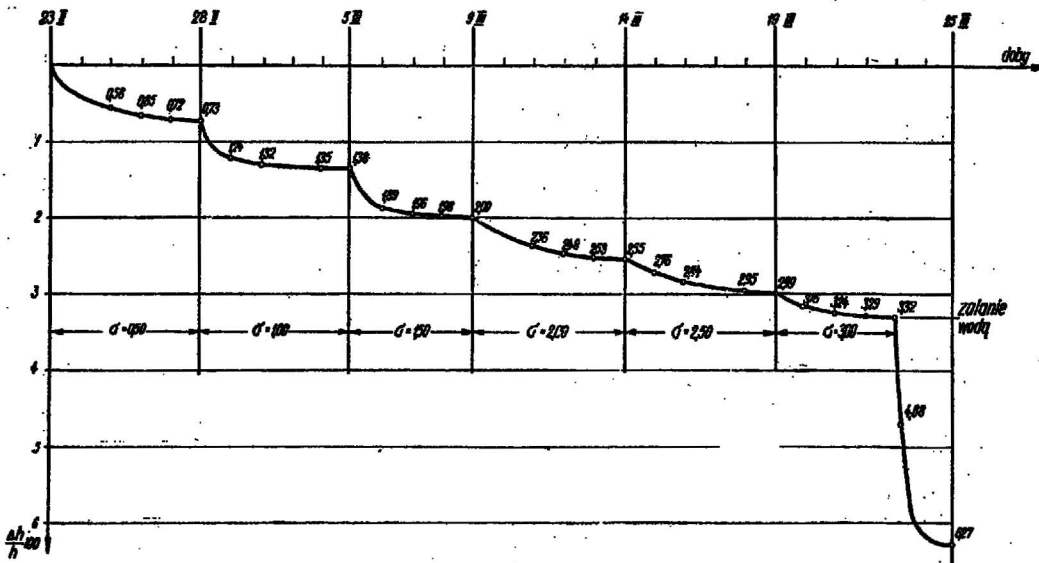
lessu bardzo się wiąże z lokalnymi warunkami występowania, na które składają się czynniki geologiczne, hydrogeologiczne i geograficzne określające nam warunki akumulacji lessu w danym środowisku geograficznym oraz możliwe przemiany geochemiczne i geodynamiczne, które decydują o wykształceniu badanych utworów lessowych. Dlatego też w tym aspekcie powinny być prowadzone wszelkie badania nad geotechniką lessu.

Odrębne zagadnienie stanowi metoda badań, szczególnie przy określaniu stopnia wrażliwości strukturalnej.

Istnieje zasadnicza wątpliwość co do tego, w jakich warunkach określać wielkość wskaźnika charakteryzującego osiadanie zapadowe. N. J. Dienisow zwraca uwagę na fakt, iż badanie wskaźnika makroporowatości przy obciążeniu do 3 kG/cm² jest mało przydatne dla ilościowej i jakościowej charakterystyki lessów, gdyż w praktyce osiadanie dodatkowo zachodzi przy mniejszym ciśnieniu niż 3 kG/cm². Otrzymane tą drogą wskaźniki mogą być 5—6 razy większe niż



Ryc. 3. Wykres ściśliwości gliny lessowej z Roztozca — struktura nietruwała gł. 12 m.



Ryc. 4. Wykres osiadania gliny lessowej w czasie

przy obciążeniu 1 kG/cm². Autor ten jest zdania, że badanie wskaźnika makroporowatości przy większym obciążeniu powinno się przeprowadzać wyjątkowo dla budowli ciężkich. Natomiast dla budowli lekkich — przy znacznie mniejszym obciążeniu. Sprawa ta powinna się stać przedmiotem specjalnej dyskusji⁶. Sprzyjającą do tego okolicznością jest fakt, iż badaniami geotechnicznymi lessów zajmują się Katedra Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego, Zakład Fundamentowania PAN oraz częściowo Zakład Ziół Surowców Skałnych AGH. W istniejącej obecnie sytuacji byłaby bardzo pożyteczna wymiana doświadczeń w zakresie prowadzonych badań i ich wyników, co mogłoby doprowadzić nawet do poszerzenia tematyki badań w zakresie metod stabilizacji gruntów makroporowatych.

⁶ Po złożeniu niniejszego artykułu do druku odbyła się w maju br. naukowa konferencja Zakładu Fundamentowania PAN, na której m. in. prof. B. Rosiński przedstawił wyniki badań współczynnika makroporowatości metodą próbnego obciążenia.

LITERATURA

1. Abielew J. M. — Osnovy projektirovanija i stroitelstwa na makroporistych gruntach. Stroitelstwenormizdat, 1948.
2. Dienisow N. J. — Stroitelnyje typy lossow i lossowidnych suglinkow. Moskwa 1953.
3. Hückel S. — Zarys fundamentowania dla geologów. Warszawa 1957.
4. Mawljanow G. H. — Gieneticeskije typy lossow i lossowidnych porod centralnoj i jużnoj czastiej sředniej Azji i ich inżenierno-geologičeskie swojstwa. Taszkient 1958.
5. Piętkowski R. — Fundamentowanie. Warszawa 1956.
6. Scheidig A. — Der Löss und seine geotechnischen Eigenschaften. Leipzig 1934.
7. Terzaghi K. — Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Leipzig und Wien 1925.
8. Terzaghi K. — Inżynierska geologia — wydanie rosyjskie. Leningrad — Moskwa 1932.