

## ZGINANIE JAKO METODA OCENY WYTRZYMAŁOŚCI GRUNTÓW LITYCH I SPOISTYCH ZWARTYCH

UKD 624.131.22:624.131.378:539.557

Badania zginania dla gruntów dotychczas prowadzone były w aparacie Michailisa na próbkach prostopadłościennych o wymiarach  $4 \times 4 \times 16$  cm. Z badania uzyskuje się wielkość siły niszczącej próbkę. Następnie korzystając ze wzoru na rozkład naprężeń w sprężystej belce zginanej oblicza się naprężenia niszczące — są to naprężenia rozciągające. Druga stosowana metoda Ruppenejta (3) przejmuje schemat płyty kołowej obciążonej symetrycznie pierścieniowo w  $1/4$  rozpiętości. Zaletą tej metody jest możliwość uzyskiwania materiału do badań ze rdzeni wiertniczych.

Uzyskiwane zniszczenie zarówno w jednej, jak i drugiej metodzie następuje wskutek naprężeń głównych (a nie rozciągających).

Schemat zginania dla zbadania odkształceń przy pełzaniu badał na próbkach  $2 \times 2 \times 16$  cm Z. S. Jerżanow (2) ustalając funkcję pełzania dla granitów, wapieni, piaskowców. Przyrząd do zginania skał prezentuje M. M. Protodiakonow i M. P. Mochnaczew (4). Badania referowane miały na celu ustalenie:

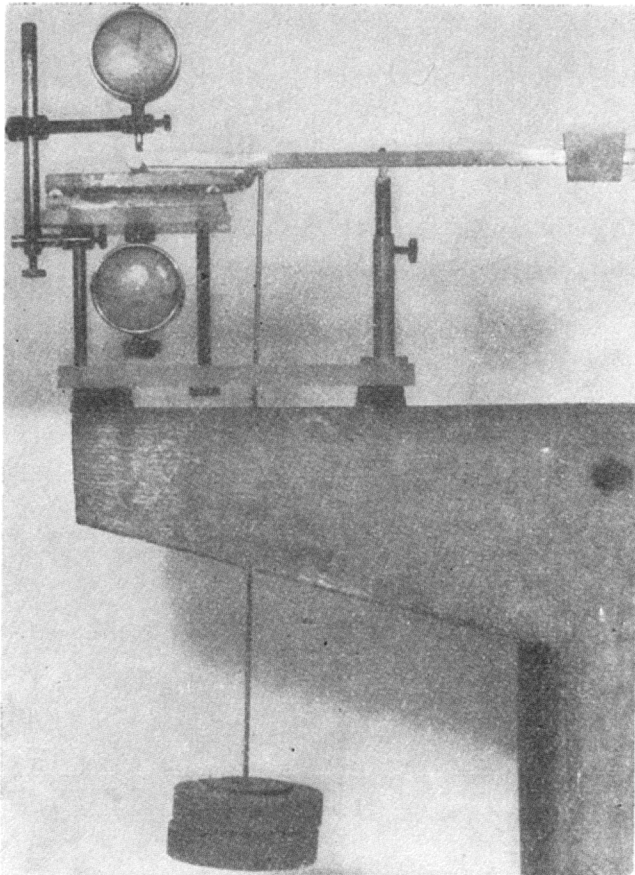
- wielkości stosunku odkształceń sprężystych (odwracalnych) do odkształceń całkowitych, przy różnych stopniach obciążeń;
- wielkości naprężeń niszczących (rozciągających);
- wielkości modułu sprężystości i odkształcenia próbek.

### ZAŁOŻENIA

Badania przeprowadzono w prostym przyrządzie pozwalającym mierzyć odkształcenie w punkcie środkowym (ryc. 1). Pomiary wykonano za pomocą czujników mikrometrycznych.

Wymiar próbek: szerokość — 4 cm, wysokość — 1 cm, rozstaw podpór — 10 cm, 12 cm.

Takie wymiary próbki miały zabezpieczyć przed niszczeniem próbek przez naprężenie główne i zapewnić zniszczenia próbki przez rozciąganie. Wielkość stosunku odkształceń odwracalnych do całkowitych, przy różnych stopniach obciążenia i założonych czasach trwania obciążenia ustalono z odczytów czujników.



Ryc. 1. Przyrząd używany w badaniach.  
Fig. 1. Instrument used in the examinations.

$$a_1 = \frac{\Delta f_{ci}}{\Delta f_{oi}} \quad [1]$$

$\Delta f_{ci}$  — wielkość ugięcia całkowitego na danym stopniu obciążenia w punkcie środkowym belki;

$\Delta f_{oi}$  — wielkość ugięcia odwracalnego (znikającego po zdjęciu siły (w punkcie środkowym belki).

Ponieważ wszystkie badane grunty wykazywały nie tylko odkształcenia odwracalne, ale i nieodwracalne wielkość naprężeń niszczących w wypadku materiału sprężystego wynosi:

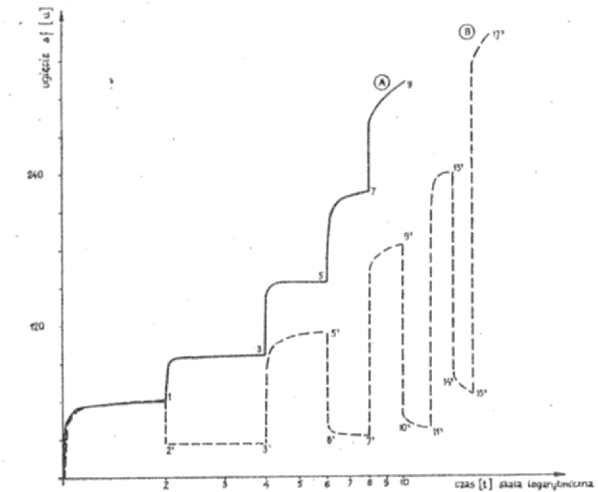
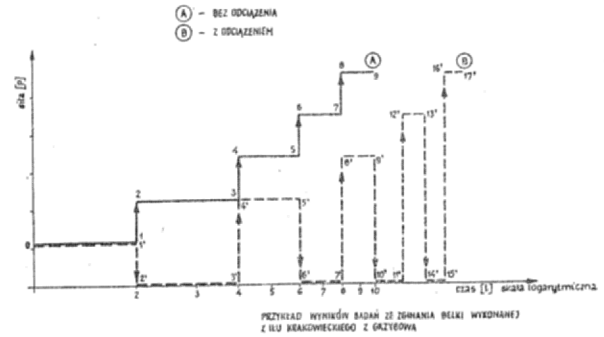
$$\sigma_{sp} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2bh^2}$$

- $P$  — siła przyłożona na belkę;
- $l$  — rozpiętość belki;
- $b$  — szerokość belki;
- $h$  — wysokość belki;

W przypadku materiału plastycznego wzór wielkości naprężeń niszczących przy zginaniu wynosi:

$$\sigma_{pl} = \frac{Pl}{bh^2}$$

Ponieważ stan naprężeń w próbce jest pośredni, zatem wielkość naprężeń niszczących mieści się między:



Ryc. 2. Schemat badań zginania na belczkach wykonanych z grunty.

Fig. 2. Scheme of bending tests on bars made of soils.

$$\sigma_{pl} < \sigma_{nisz} < \sigma_{sp} \quad \sigma_{nisz} = R_r$$

przy przyjęciu, że stosunek odkształceń odwracalnych do nieodwracalnych odpowiada stosunkowi naprężeń odwracalnych do nieodwracalnych możemy dla obliczenia naprężeń niszczących zaproponować wzór:

$$R_r = \sigma_{pl} + (\sigma_{sp} - \sigma_{pl}) \cdot a \quad [2]$$

Wielkość modułów sprężystości i odkształcenia obliczono ze wzorów na strzałkę ugięcia belki:

$$\Delta f = A \frac{Pl^3}{EI} \quad [3]$$

$A$  — współczynnik zależy od schematu statycznego, w danym przypadku  $A = \frac{l}{48}$

$E$  — moduł sprężystości lub odkształcenia;

$I$  — moment bezwładności  $I = \frac{bh^3}{12}$

stąd przy stałych wymiarach próbek moduł jest funkcją:

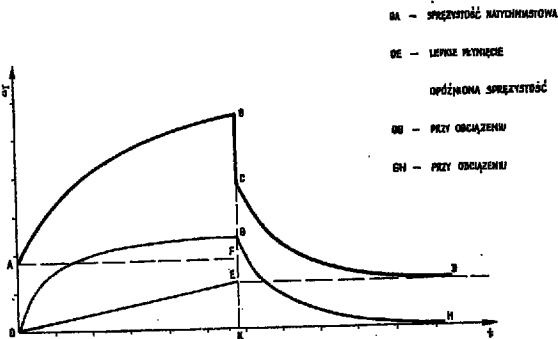
$$E = F(\Delta f, P)$$

wstawiając wartość odkształcenia całkowitego  $\Delta f_c$  we wzór otrzymujemy  $E_c$  — wartość modułu odkształcenia. Wstawiając wartość odkształcenia odwracalnego  $\Delta f_o$  uzyskujemy wartość modułu sprężystości  $E_s$ .

#### METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Badania prowadzono w dwóch schematach:

Rodzaj próbek	Charakterystyka fizyczna						Parametry wytrzymałościowe uzyskane w badaniach				Zginanie									
	zawartość frakcji		ciężar objęto- ściowy	porowatość	wilgotność naturalna	moduł odkształcenia przy brzytłjska	moduł odkształcenia przy ścisaniu	rozciąganie bezpośrednie		rozciąganie metodą brzytłjską		wytrzymałość na rozciąganie		moduły odkształceń i sprężystości m · 10 <sup>3</sup>						
	ilowej	pyłowej						piasko- wej	%	%	%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	zakres obciążeń		końcowe	
	%	%	%	G/cm <sup>3</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>			
													α. 100	σsp	σpl	Rr				
Granit średnioziarnisty zwie- trzały. Strzelin	—	—	—	2,54	4,5	—	875	—	58,5	—	—	74,5	81,6	55,6	75,1	46	27	53	25,1	41
Granit drobnoziarnisty zwie- trzały. Strzelin	—	—	—	2,46	7,8	—	460	—	32,5	—	—	68,7	36,8	24,4	32,8	18	14,2	22	14,3	19,2
Piaszkowiec szydłowiecki II krakowiecki. Grzybów	38	47	15	2,12	6,1	21,5	715	2,6	62,5	420	420	86,0	113,5	75,5	103,1	53,8	53,7	59,7	52,7	58,5
II krakowiecki. Machów	45	47	8	2,08	34	22,1	14,7	3,5	2,15	720	720	59,2	2,4	1,6	2,1	1,39	0,416	0,94	0,435	1,15
Głina zwalowa półzwarta. Płock	13	34	53	2,28	25	8,9	—	0,75	3,6	500	500	46,5	7,2	4,8	6,3	—	—	—	0,56	1,08



Ryc. 3. Schemat rozwoju deformacji w próbkach zginianych gruntów spójnych.

Fig. 3. Scheme of development of deformation in samples of bent coherent soils.

A — przy obciążaniu stopniami bez odciążenia;  
B — przy obciążaniu stopniami z całkowitym odciążeniem po każdym stopniu obciążenia.

Na ryc. 2 punkty 0, 1, 2, 3 — pokazują drogę obciążania przy schemacie bez odciążenia (A). Punkty 0, 1', 2', 3' — pokazują drogę obciążania przy schemacie (B). Pomiary odkształceń na poszczególnych stopniach obciążenia przy zastosowaniu schematu (A) i (B) różnią się między sobą. Zmiany te wywołane różną drogą obciążania powodują, że różny jest udział w odkształceniu całkowitym odkształceń składowych. Ryc. 3 ilustruje ten fakt.

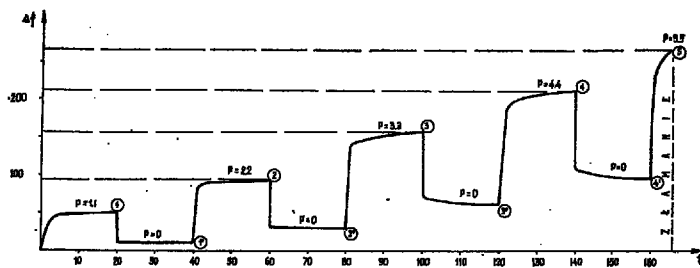
Wykres ABCD — jest wykresem uzyskany z badania. Wykres ten jest sumą OA — sprężystości natychmiastowej, OE — lepkiego płynięcia, OG — sprężystości opóźnionej. Przy odciążeniu obserwujemy odcinek BC — odkształceń odwracalnych — sprężystości natychmiastowej oraz CD = GH odkształceń spowodowanych sprężystością opóźnioną.

Jak z powyższego widać bardzo ważną sprawą jest dobranie właściwego czasu badania. Od niego zależą bowiem uzyskane wyniki. Czas ten powinien być tak dobrany, aby spełnione były warunki podobieństwa modelowego między cyklami obciążenia badanej próbki a obciążeniem masywu. Tak np. przy badaniach wykonywanych dla gruntów pracujących w otoczeniu zbiornika wyrównawczego elektrowni szczytowo pompowej — cykl obciążenia powinien być dobrany zgodnie (równy) z cyklami dobowych wahań zbiornika. Dla innych celów, kiedy obciążenie nie jest cykliczne, możemy obciążenie prowadzić stopniami np. 20-minutowymi, co pozwoli przy 6—10 stopniach obciążenia uzyskać wyniki w ciągu jednego dnia. Czas 20 minut w badanych gruntach jak iły krakowieckie, półzwarte gliny zwalowe, półzwarte — półplastyczne granity, piaszkowce, opoki — pozwalał na uchwycenie znacznej części odkształceń spowodowanych sprężystością opóźnioną. Nie mamy możliwości natomiast zbadania rozwoju odkształceń lepkoplastycznych, bo wymagałoby to nieskończenie długiego czasu.

Poszczególne wyniki badań opracowywano w sposób rozwinięty przedstawiony na ryc. 4 lub skrócony przedstawiony na ryc. 5, gdzie nie naniesiono pełnej drogi odkształcenia, a jedynie punkty zwrotne.

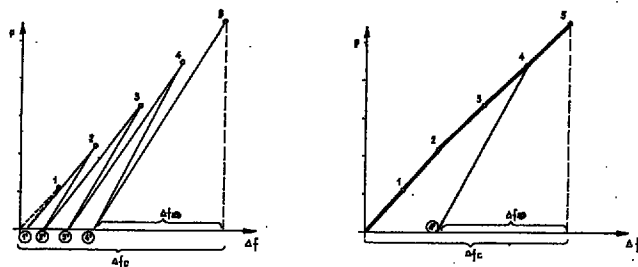
Punkty 1, 1', 2, 2' (ryc. 4) odpowiadają analogicznym 1, 1', 2, 2' (ryc. 5). Szeregi punktów 1, 2, 3 odpowiadają drodze obciążenia. Łączono je uzyskując odkształcenia całkowite próbek. Punkty o tych samych wartościach liczbowych np. 3, 3' łącząc uzyskuje się odkształcenia odwracalne na każdym stopniu (ryc. 6 i 7). Wartości uzyskane z wykresów posłużyły do określania modułów odkształcenia sprężystości.

Na ryc. 7 przedstawiona jest poza tym uzyskana zależność wartości odkształceń od wilgotności dla 7 próbek iły krakowieckiego. Tabela przedstawia przykładowe wartości parametrów uzyskanych ze zgina-



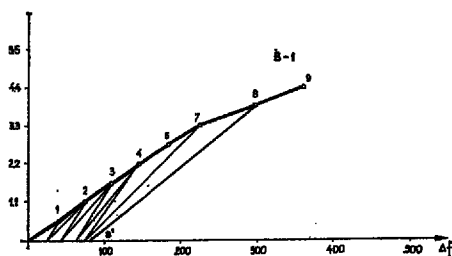
Ryc. 4. Przykład opracowania wyników zginania beleczek gruntowych przy schemacie z obciążeniem dla próbki iltu krakowieckiego z Grzybowa.

Fig. 4. Example of elaboration of results of soil bars at the scheme with the loading for the sample of the Krakowiec clay from Grzybów.



Ryc. 5. Schemat graficznego przedstawiania wyników dla obliczeń wartości modułów odkształcenia i modułów sprężystości.

Fig. 5. Scheme of graphical presentation of results for calculating the values of deformation and elasticity moduli.



Ryc. 6. Wyniki badania zginania dla próbki iltu krakowieckiego w stanie półzwartym.

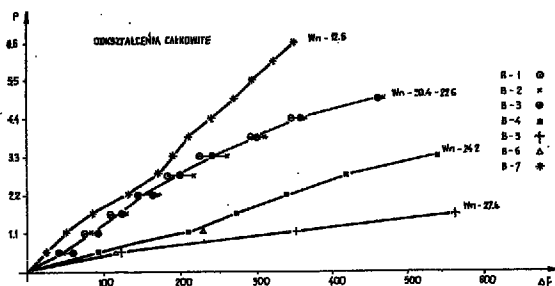
Fig. 6. Results of bending test for the sample of the Krakowiec clay in the semicompact state.

nia i ich porównania z innymi metodami badań. Widoczna jest dobrze zbieżność wyników otrzymanych dla wytrzymałości na rozciąganie z otrzymanymi wynikami z rozciągania bezpośredniego i z wynikami uzyskanymi ze ściskania walców po tworzącej (metoda brazylijska).

Wartość ( $a$ ) w tabeli pokazuje stosunek odkształceń odwracalnych do nieodwracalnych na ostatnim stopniu odciążenia dla każdej z badanych grup próbek. Największą wartość ( $a$ ) — czyli największy udział odkształceń sprężystych wykazuje z badanych próbek piaskowiec (86%), najmniejszy udział sprężystości ma ilt plicieński twardoplastyczny (19,1%).

Wartości modułów odkształcenia ( $E_c$ ) i sprężystości ( $E_s$ ) różnią się między sobą i większy jest zawsze moduł sprężystości o około 2 razy od modułu odkształcenia (całkowitego).

Należy zdać sobie sprawę gdzie może znaleźć zastosowanie opisywana metoda badania gruntów zwężonych, tzn. litych i spoiowych w stanie półzwartym i twardoplastycznym. Z punktu widzenia teorii wytrzymałości zginanie nie jest badaniem idealnym, bo mamy tu do czynienia z niejednorodnym stanem naprężeń w próbce. Jednakże taki schemat obciążenia ma-



Ryc. 7. Zależność odkształceń całkowitych i odwracalnych od wilgotności ustalona dla zginanych próbek iltu krakowieckiego.

Fig. 7. Dependence of ultimate and reversible deformations upon humidity, established for the bent samples of the Krakowiec clays.

teriału, gdy obok naprężeń ściskających występują rozciągające, występuje we wszystkich zagadnieniach dotyczących stateczności skarp, gdzie w górnej części zbocza powstawaniu rys i szczelin towarzyszą naprężenia rozciągające. Tego samego typu problem powstaje przy wykonywaniu wyrobisk podziemnych, tam też schemat pracy gruntu w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska jest schematem zginania. Takie problemy powstają przy drażeniu np. tuneli, wyrobisk górniczych. Wreszcie tego typu badania służą mogą dla oceny gruntów dla elektrowni szczytowo-pompowych. Metoda badania jest prosta, a aparaturę każde laboratorium może sobie wykonać we własnym zakresie.

#### LITERATURA

1. Hauska J. — Z kousky pernosti hornin v laboratorii. Metodika inž.-geol. vyzkumu pevných hornin. Praha, 1963.
2. Ježmanow Ž. S. — Teorija potuzczestij gornych porod i jejo priloženija. Moskwa, 1964.
3. Ruppenejt K. W. — Mieczaniczeskije swojstwa gornych porod. Moskwa, 1956.
4. Swojstwa gornych porod i metody ich opriedielenija. Pod red. M. M. Protodikonowa. Moskwa, 1966.

## SUMMARY

Due to the heterogeneity of the intensity of stress the bending tests are rarely used in the examinations of soil strength; nevertheless they can be important in the determination of the strength parameters of soils (both compact and coherent, in the compact, semi-compact, and partly hard-plastic states).

The method worked out allows us to determine:

- value of relation between reversible deformations and ultimate ones ( $a$ );
- value of breaking strains (tensional strains  $R_r$ );
- value of elasticity modulus and deformation modulus under conditions of various degree of load ( $E_s$  and  $E_c$ ).

## РЕЗЮМЕ

Испытания на изгиб, в связи с неоднородностью состояния нагрузок, редко применяются в исследованиях устойчивости грунтов, тем не менее они могут играть важную роль в определении параметров устойчивости плотных и связных грунтов в твердом, полутвердом и твердопластичном состоянии.

Разработанная методика испытаний позволяет определять:

- отношение обратимых деформаций к полным ( $a$ ),
- величину разрушающих (растягивающих) напряжений ( $R_r$ ),
- величину модулей упругости и деформации при разных нагрузках ( $E_s$  и  $E_c$ ).