

ZASTOSOWANIE MODELI DO ŚLEDZENIA PROCESÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Sposób rozwiązywania zagadnień technicznych z zakresu geologii inżynierskiej, mechaniki górotworu i geotechniki jest w zasadzie podobny jak w innych dziedzinach działalności inżynierskiej. Dla rozwiązania typowych zadań konstrukcyjnych konieczna jest znajomość obciążeń zewnętrznych działających na rozpatrywany element wynikający z tych obciążeń oraz znajomość ciężaru własnego — wewnętrzny rozkład naprężeń w badanym elemencie, przyjęcie odpowiedniej dla danego przypadku wytrzymałościowego hipotezy wyteżenia, a w końcu znajomość własności wytrzymałościowych rozpatrywanego ośrodka — dla porównania naprężeń powstałych z naprężeniami dopuszczalnymi i wyznaczenia na tej podstawie bezpiecznego profilu konstrukcji. Podobny tok rozumowania, choć z konieczności nieco bardziej uproszczony, znajduje zastosowanie przy większości takich zagadnień, jak np. oznaczanie stateczności zboczy naturalnych i sztucznych, określanie stateczności gruntów pod fundamentami budowli, parcie na mury i ścianki oporowe, oznaczanie warunków stateczności stropu, spągu i fragmentów calizny (filarów) przy robotach górniczych, budowie tuneli itp. Istotną różnicę stanowi jedynie to, że w odróżnieniu od zagadnień konstrukcyjnych — w zagadnieniach geologiczno-inżynierskich znacznie trudniej jest wyznaczyć wstępne parametry obliczeń. Zarówno bowiem obciążenia zewnętrzne, wewnętrzny rozkład naprężeń, jak i własności wytrzymałościowe ośrodka nie są w tym przypadku wielkościami niewątpliwymi i łatwo oznaczalnymi — zależą bowiem od szeregu dodatkowych czynników często mających charakter założeń. Tak np. wyznaczenie bezpiecznego obciążenia przy określaniu stateczności skarpy wymaga uprzedniego przyjęcia powierzchni poślizgu wskutek niezajomości wewnętrznego rozkładu naprężeń stycznych. Podobnie przy obliczaniu wytrzymałości filarów w robotach podziemnych określenie obciążeń zewnętrznych jest praktycznie możliwe tylko przy założeniu wielkości naprężeń pionowych, wynikających z ciężaru własnego nadkładu różnego głębokości prowadzonych wyrobisk — co słuszne dla górotworu nie naruszonego, natomiast w przypadku górotworu naruszonego wyrobiskami prowadzi do znacznych nieścisłości.

Niedokładność obliczeń rośnie znacznie, gdy rozpatrywany ośrodek jest poddany działaniu bardziej skomplikowanych układów sił, których uwzględnienie nie mieści się w dotychczasowych schematach obliczeń. Częste np. w geologii inżynierskiej problemy stateczności skarp obciążonych dynamicznie i poddanych drganiom wymuszonym oraz analogiczne zagadnienia w geotechnice (fundamenty pod ciężkie maszyny) i mechanice górotworu — nie doczekały się dotychczas opracowania zadowalających i prostych metod obliczeń wytrzymałości.

Jednocześnie wiadomo, że w szeregu dziedzin techniki, gdzie istnieją trudności matematycznego ujęcia rozpatrywanych zjawisk lub eksperymentalnego wyznaczenia parametrów obliczeń wytrzymałości albo też rozwiązania równań stanów wyteżeń ośrodka wskutek zbyt wielkiej ilości niewiadomych parametrów obliczenia — znaczne usługi oddają badania na modelach, pozwalające wyznaczyć brakujące parametry obliczeń lub w ogóle określić matematyczną postać równań różniczkowych opisujących przebieg rozpatrywanych zjawisk. Badania te odgrywają doniosłą rolę w takich dziedzinach techniki, jak: budownictwo lotnicze, raketowe i okrętowe (modelowe tunele aero- i hydrodynamiczne) oraz służą do prawidłowego rozwiązywania zagadnień, takich jak: pro-

cesy hydrauliczne przy przepływie cieczy lepkich o różnorodnych właściwościach, wyznaczanie naprężeń w elementach konstrukcji o skomplikowanym kształcie i nieschematycznym charakterze rozkładu obciążeń itp.

W geologii inżynierskiej, obok wszystkich wymienionych poprzednio trudności w ścisłym rozwiązywaniu problemów, dodatkową naczelną trudność stanowi anizotropia ośrodka. Powoduje ona, że zarówno obciążenia zewnętrzne, jak i wewnętrzny rozkład naprężeń oraz wytrzymałość materiału są zmienne w tak szerokich granicach, że nieuwzględnianie tego w obliczeniach prowadzi niejednokrotnie do ich całkowitej niezgodności z rzeczywistością. Rozkład naprężeń w ośrodku anizotropowym — nawet w przypadku działania na ten ośrodek prostych warunków obciążenia — jest trudnym problemem teoretycznym, dalekim na razie od całkowitego wyjaśnienia. Modele ośrodka geologiczno-inżynierskiego pozwalają na odwzorowanie anizotropii mechanicznej w tym stopniu, w jakim została ona stwierdzona w rzeczywistości. W pierwszym przybliżeniu będzie to pionowe rozwarstwienie wytrzymałości, pozwalające na wykonanie modeli poszczególnych formacji geologicznych, a także modeli odpowiadających skałom odwzorowywanej formacji pod względem pionowego profilu wytrzymałości wynikającego ze zmian litologicznych i stratygraficznych.

PODSTAWY TEORII PODOBIENSTWA MECHANICZNEGO

Dla całkowitego zorientowania się w możliwościach modelowania mechanicznego w ogóle rozpatrzmy pokrótce podstawowe zasady teorii podobieństwa mechanicznego zjawisk, wchodzące w zakres analizy wymiarowej.

Każde zjawisko mechaniczne można określić za pomocą pewnej ilości parametrów liczbowych, które wpływają funkcjonalnie na jego przebieg. Liczbowe parametry 2 zjawisk mechanicznie podobnych można uważać za równe wielkością liczbową, lecz różniące się wymiarem jednostek — stosownie do skali modelu. W takim układzie, oczywiście, bezwzględnie równe co do wielkości są parametry bezwymiarowe. Dla wyznaczenia więc warunków mechanicznego podobieństwa 2 zjawisk wystarczy że wszystkich parametrów wpływających funkcjonalnie na te zjawiska zestawie pewną ilość niezależnych od siebie współczynników bezwymiarowych, a zakładając stałość tych współczynników — wyznaczyć z otrzymanych równań warunki podobieństwa rozpatrywanych zjawisk. Warunkiem bowiem podobieństwa mechanicznego dwóch zjawisk jest równość wszystkich ich charakterystyk bezwymiarowych.

Jeśli dane zjawisko jest określone przez m parametrów, z których część może być bezwymiarowa, niektóre inne zaś są wymiarowymi stałymi fizycznymi, i jeśli wymiary parametrów zmiennych i stałych fizycznych wynoszą k podstawowych jednostek pomiarowych (przy czym $k \geq m$), to ponieważ z m wartościami można zestawie nie więcej niż $(m - k)$ niezależnych kombinacji bezwymiarowych, przeto wszystkie bezwymiarowe charakterystyki zjawiska można rozpatrywać jako funkcje od tych $(m - k)$ niezależnych kombinacji bezwymiarowych zestawionych z określonych parametrów.

Spośród wszystkich wielkości bezwymiarowych zestawionych z charakterystyk danego zjawiska można

zawsze wyodrębnić pewien system wielkości bezwymiarowych, które określają sobą wszystkie pozostałe wielkości.

System ten (tzw. baza) określa w wystarczającym stopniu warunki podobieństwa mechanicznego dwóch zjawisk. Warunkiem bowiem koniecznym i dostatecznym podobieństwa dwóch zjawisk jest stałość wartości liczbowych bezwymiarowych kombinacji tworzących bazę.

Przykład: założmy, że charakterystykami określającymi pewien stan mechaniczny ośrodka skalnego są następujące wskaźniki:

E (kG/m²) — moduł Younga } określające własności sprężyste
 μ (bezwym.) — liczba Poissona } jednorodnego materiału
 B (m) — określające charakterystyczny wymiar długości,
 $\gamma = \rho \cdot g$ (kg/m³) — określające ciężar objętościowy ośrodka,
 oraz P (kG) — określające wielkość obciążeń zewnętrznych.

Omawiany stan mechaniczny charakteryzuje więc 5 wielkości mierzonych w 2 podstawowych jednostkach pomiarowych (kG, m). Stąd system charakterystyk niezależnych, zwany bazą, składać się będzie z 3 parametrów bezwymiarowych, a mianowicie:

$$\mu \cdot \frac{E}{\rho g \cdot B}, \quad \frac{P}{EB^2}$$

Parametry te powinny być jednakowe w modelu oraz we wzorcu — dla zachowania mechanicznego podobieństwa obydwóch zjawisk. Przy zachowaniu tego warunku wszystkie odkształcenia w modelu będą „n” razy mniejsze niż w naturze, przy czym stosunek (1 : n) reprezentuje przyjętą skalę modelowania. Z powyższych trzech parametrów bezwymiarowych wyznaczmy następujące warunki podobieństwa rozpatrywanego stanu mechanicznego (przy założeniu $g_M = g_N$):

$$\mu_M = \mu_N$$

$$E_M = E_N \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \frac{1}{n}$$

$$P_M = P_N \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^3$$

(gdzie symbole ze znacznikiem M oznaczają odpowiednią wartość współczynnika w modelu, zaś symbole ze znacznikiem N — w naturze). Jak widać z powyższych równań, przy założeniu tożsamości przyspieszenia w modelu i w naturze — do modelowania ośrodka geologicznego niezbędne są sztuczne materiały o zadanych wartościach μ , E oraz ρ .

Model ośrodka geologicznego można jednakże również wykonać używając materiałów autentycznych, tj. skał wziętych wprost z modelowanego obiektu i przeniesionych do modelu. Wówczas (zakładając ρ , μ , $E = \text{const}$) z warunków podobieństwa otrzymamy:

$$1) g \cdot B = \text{const, czyli } g_M \cdot B_M = g_N \cdot B_N$$

$$2) \frac{P}{B^2} = \text{const, czyli } \frac{P_M}{P_N} = \left(\frac{1}{n}\right)^2$$

Jak wynika z wzoru (1), dla zastosowania w modelowaniu za pomocą skał skali modelu różnej od 1:1, konieczna jest zmiana przyspieszenia działającego na model, przy czym:

$$g_M = n \cdot g_N$$

a więc przyspieszenie działające na elementy modelu musi być tyle razy większe od przyspieszenia ziemskiego, ile wynosi mianownik skali modelu.

Wzory wyprowadzone powyżej dotyczą oczywiście pewnego ściśle określonego stanu mechanicznego, a mianowicie stanu, w którym na zachowanie się ośrodka wpływają założone powyżej wskaźniki E , μ , B , γ oraz P . Wskaźniki te określające własności sprężyste ośrodka, jego wymiary, ciężar objętościowy oraz działające siły — charakteryzują z dostatecznym przybliżeniem górotwór złożony ze skał zwią-

łych o własnościach sprężysto-kruchych. Zasady podobieństwa dla modeli ośrodków geotechnicznych (grunty spoiste i sypkie) niestety trudno wyprowadzić w analogiczny sposób, jak to zostało dokonane powyżej. W tym przypadku jednak jako typowe charakterystyki ośrodka występują dodatkowo wielkości c i φ (kohezja i kąt tarcia wewnętrznego).

Należy dodać, że teoria podobieństwa pozwala również w niektórych przypadkach na prowadzenie modelowania za pomocą zjawisk niecałkowicie podobnych mechanicznie, kiedy to pewne kryteria podobieństwa L_1, L_2, \dots mają różne wartości w modelu i w naturze. Zachodzi to wtedy, gdy z pozostałych związków znana jest zależność reszty wielkości bezwymiarowych od tych parametrów bezwymiarowych L_1, L_2, \dots . W takich przypadkach powinny być stałe tylko te kryteria podobieństwa, od których zależność pozostałych kryteriów jest nieznaną. Ten sposób modelowania jest pożyteczny wtedy, gdy zależność szukanych wielkości od L_1, L_2, \dots powstaje wskutek hipotezy roboczej, która może być ustalona dopiero po wykonaniu badań modelowych.

MODELOWANIE ZA POMOCĄ MATERIAŁÓW EKWIWALENTNYCH

Jak podano wyżej, przy założeniu tożsamości przyspieszenia w modelu i w naturze do modelowania niezbędne są specjalne, sztucznie sporządzone materiały o zadanych zespolo własności mechanicznych. Własności te będą, oczywiście, zależały od rodzaju modelowanego ośrodka, zgodnie z odpowiednimi dla niego kryteriami podobieństwa mechanicznego. Dla modelowania skał związanych, zgodnie z wyprowadzonymi wyżej głównymi kryteriami podobieństwa, otrzymamy następujące szczegółowe warunki dla materiałów modelowych:

1) dla zachowania podobieństwa odkształceń sprężystych:

$$a) E_M = E_N \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \frac{1}{n}$$

$$b) G_M = G_N \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \frac{1}{n}$$

$$c) \mu_M = \mu_N$$

(gdzie $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ — moduł sprężystości postaciowej,

ρ — ciężar objętościowy, reszta oznaczeń — jak poprzednio).

2) dla zachowania podobieństwa zjawisk kruchego pękania i załamania się skał:

$$d) (R_c)_M = (R_c)_N \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \frac{1}{n}$$

$$e) (R_g)_M = (R_g)_N \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \frac{1}{n}$$

(gdzie R_c — doraźna wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe,

R_g — doraźna wytrzymałość na zginanie).

3) dla zachowania podobieństwa ciężaru objętościowego:

$$f) \frac{\rho_M}{\rho_N} = \frac{\rho'_M}{\rho'_N} = \frac{\rho''_M}{\rho''_N} = \frac{\rho^{(n)M}}{\rho^{(n)N}} = \text{const.}$$

Jeśli do modelu wprowadza się przyrządy imitujące np. ścianki oporowe, obudowę górniczą, wibratory, dodatkowe obciążenia itp., to powinny one spełniać warunek podobieństwa dla sił, a mianowicie:

$$\frac{R_M}{R_N} = \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^3$$

(gdzie R_M — siła w modelu, R_N — siła w naturze).

Materiały o podanych wyżej własnościach sporządza się sztucznie z różnych składników. Badając ich charakterystyki mechaniczne, dobiera się skład recept-

tur w ten sposób, aby uzyskać zgodność wszystkich warunków podobieństwa danego stanu mechanicznego. Jak z tego wynika, punktem wyjścia do modelowania jest wszechstronna znajomość charakterystyk mechanicznych modelowanego ośrodka, a więc skał lub gruntów. Tylko taka bowiem znajomość może wskazać ilościową stronę wymagań stawianych materiałom ekwiwalentnym, co z kolei umożliwia opracowanie odpowiednich receptur.

W tabl. zestawiono (częściowo wg badań J. Kuhla) przykładowo zespół głównych wskaźników mechanicznych skał karbońskich, zebranych dla uzyskania danych do modelowania zjawisk zachodzących w górotworze przy eksploatacji węgla kamiennego.

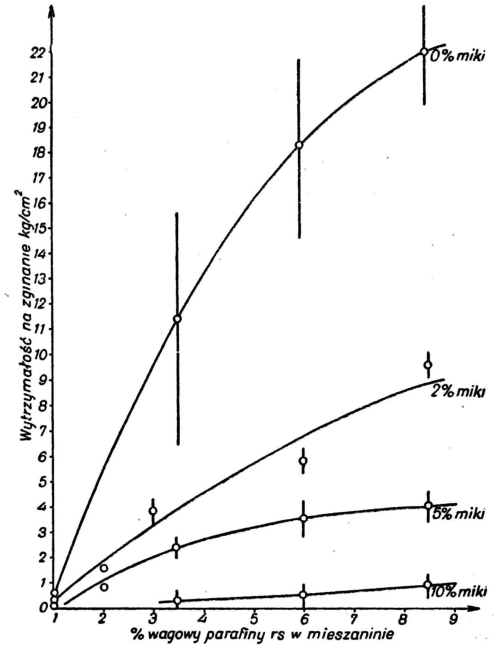
Rodzaj skały	Ciężar objętościowy ρ t/m ³	Średnia wytrzymałość na ściskanie kG/cm ²	Średnia wytrzymałość na zgięcie kG/cm ²	Średnia wartość E-modułu sztywności kG/cm ²	Współczynnik Poissona μ
Węgiel kamienny	1,15—1,44	180	11	48 000	0,27
Łupki węglowe	1,67—2,11	250	37	65 000	0,27
Łupki ilaste	2,28—2,60	220	49	210 000	0,29
Howce (wzgl. mułkowce)	2,43—2,70	450	93	230 000	0,31
Piaskowce b. drobnoziarniste	2,76—2,80	700	150	160 000	0,28
Piaskowce drobnoziarniste	2,35—2,68	750	110	120 000	0,28
Piaskowce średnioziarniste	2,10—2,62	528	83	120 000	0,26
Piaskowce gruboziarniste	2,39—2,57	489	67	100 000	0,26
Zlepieńce	2,21—2,50	278	43	—	~0,24

Do modelowania skał związanych najczęściej używa się materiałów ekwiwalentnych o spoiwie gipsobetonowym lub parafinowym. W obydwu przypadkach podstawową masę mieszaniny tworzy piasek. Materiały gipsobetonowe zawierają przeważnie następujące składniki: piasek, woda, gips, wapno palone, wapno hydratyzowane i boraks (lub klej organiczny). Każdy z wymienionych składników ma do spełnienia w mieszaninie pewną rolę. Na przykład gips jest podstawowym spoiwem materiału, wapno palone nadaje materiałowi odpowiednią kruchość, tzn. powoduje

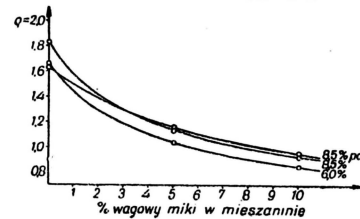
wzrost wielkości stosunku $\left(\frac{R_c}{R_g}\right)$, który w mate-

riałach ekwiwalentnych jest zwykle za mały w stosunku do skał i trzeba go w miarę możliwości podwyższać. Boraks spełnia w mieszaninie gipsobetonowej rolę opóźniacza procesu wiązania i pozwala na ułożenie mieszaniny w stanowisku modelowym przed rozpoczęciem wiązania gipsu. Jednocześnie jednak boraks wpływa na inne wskaźniki wytrzymałości mieszaniny. Wpływ ten należy dokładnie wyznaczyć dla odpowiedniej korekty receptur. Zwążywszy, że dla zupełnej znajomości materiałów modelowych konieczne jest wyznaczenie wzajemnych wpływów wszystkich składników na podstawowe charakterystyki mechaniczne mieszaniny — proces opracowania receptur materiałów modelowych jest dość pracochłonny i długotrwały. Jak wspomniano uprzednio, do modelowania procesów zachodzących w skałach związanych używa się także materiałów o spoiwie parafinowym. Materiały te składają się tylko z piasku, parafiny i mielonego mikanitu. Mikanit w znacznym stopniu wpływa na ciężar mieszaniny, co wymaga

odpowiednich poprawek wskaźników wytrzymałości. Niektóre wskaźniki mechaniczne mieszanin parafinowych przedstawiono na ryc. 1 i 2.

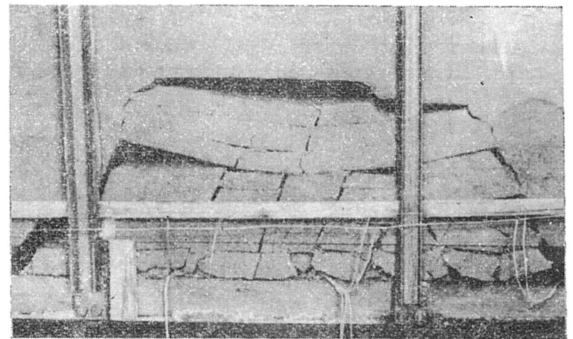


Ryc. 1. Zależność łamliwości mieszanin parafinowych od ilości parafiny i mikanitu (przy użyciu parafiny rafinowanej specjalnej i piasku Φ 0,3—0,5 mm).
Fig. 1. Dependence of the fragility of paraffin mixtures upon the quantity of paraffin and micanite (using special refined paraffin and sand, 0,3—0,5 mm in diameter).



Ryc. 2. Zależność ciężaru objętościowego mieszanin parafinowych od zawartości mikanitu.

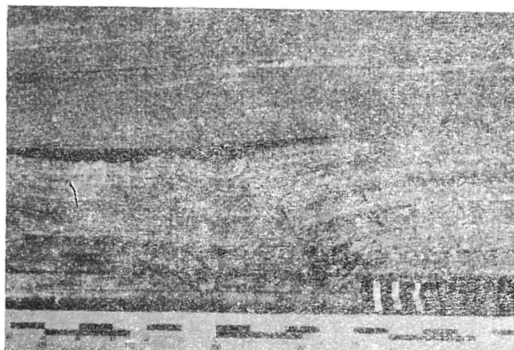
Fig. 2. Dependence of the volume weight of paraffin mixtures upon the micanite contents.



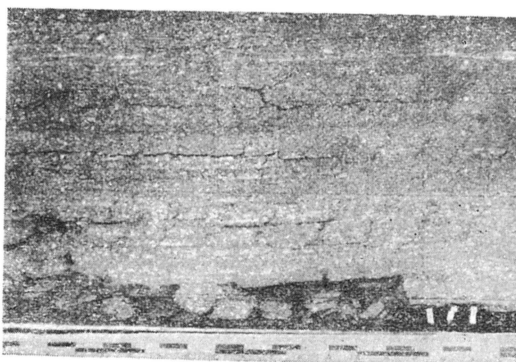
Ryc. 3. Badanie granicznej nośności stropu wyrobisk zabierkowych w górotworze karbońskim. Materiały gipsobetonowe.

Mając wszystkie receptury materiałów modelowych — odpowiadające swoim zasięgiem zmienności modelowania ośrodka (a więc np. różnym rodzajom skał tej samej formacji geologicznej), można według obranej skali ułożyć model, który pod względem wskaźników mechanicznych odpowiada naturalnemu profilowi skalnemu. Następnie prowadząc dowolne

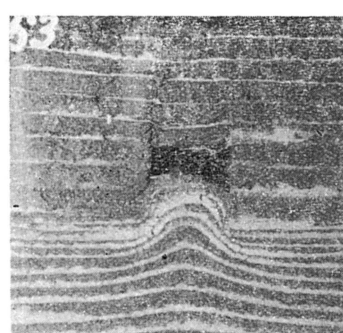
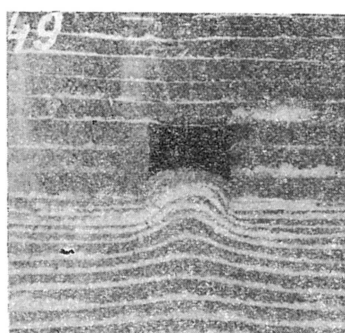
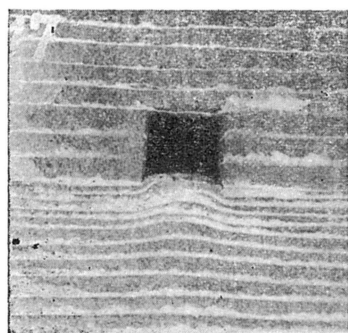
operacje w modelu można obserwować jego zachowanie się pod względem jakościowym i ilościowym (pomiar odkształceń, naprężeń itp.). Na ryc. 3—6 przedstawiono fragmenty modeli wykonanych w Głównym Instytucie Górnictwa dla zbadania zjawisk za-



Ryc. 4. Badanie zachowania się stropu zawalowego przy eksploatacji ścianowej w górotworze karbońskim. Strop: łupek ilasty, wyżej piaskowiec; materiały parafinowomikowe.



Ryc. 5. Badanie zachowania się stropu zawalowego przy eksploatacji ścianowej w górotworze złożonym z łupków piaszczystych.



Ryc. 6. Badanie zachowania się spągu wyrobisk chodnikowych w skałach karbońskich. Spąg: łupek ilasty, strop i ociosy chodnika, piaskowiec. Materiały parafinowotolkowe.

chodzących w skałach karbońskich podczas prowadzenia w nich górniczych wyrobisk chodnikowych i eksploatacyjnych. Pomiarów odkształceń w tych modelach dokonywano czujnikami zegarowymi o dokładności 0,01 mm oraz za pomocą pomiarów przesunięć znakowanych punktów modeli. Jednocześnie dla uchwycenia przebiegu deformacji wykonywano zdjęcia filmowe na taśmie 16 mm, obejmujące cały okres pracy na modelu. Pomiarów naprężeń odbywały się czujnikami elektrotensometrycznymi o zakresie wskazań od zera do 2000 g i dokładności pomiaru $\pm 1\%$. Czujniki te, połączone z sześciokanałowym przyrządem samorejestrującym, pozwalały na uzyskanie danych o przebiegu zmian naprężeń w modelu w sposób ciągły.

Jak już wspomniano, modelowanie zjawisk zacho-

dzących w gruntach wymaga wprowadzenia do warunków podobieństwa wartości kohezji i kąta tarcia wewnętrzznego. Otrzymane kryteria podobieństwa np. dla ilów mioceńskich narzucają w tym przypadku stosunkowo bardzo małą wielkość tarcia wewnętrzznego i kohezji oraz dużą wartość ciężaru objętościowego dla materiałów modelowych. Zmusza to do wyboru zupełnie nowych materiałów modelowych, gdyż zarówno gips i parafina jako spoiwo, jak i piasek — jako wypełniacz uniemożliwia otrzymanie wielkości wymienionych wskaźników w wymaganych granicach. W Czechosłowacji, gdzie modelowanie ilów mioceńskich prowadzi się na szeroką skalę ze względu na tamtejsze mioceńskie złoża węgla brunatnych, do materiałów modelowych używa się przeważnie specjalnie wykonanych przez huty szkła — drobnych kuleczek szklanych (ok. 1 mm średnicy) — zwanych balotyną. Idealnie kulisty kształt ziarn oraz odpowiedni podział na frakcje ziarnowe powoduje, że materiał ten dobrze spełnia postulat małego współczynnika tarcia wewnętrzznego. Jako spoiwo do tych materiałów używana jest tam wazelina (w ilości ok. 0,25% wagowo) — rozprowadzana w roztworze benzynowym. Z innych materiałów używanych do modelowania zjawisk zachodzących w ilach należy wymienić mielony piryt, bentonit, ferrosilit itp.

MODELOWANIE ZA POMOCĄ MATERIAŁÓW AUTENTYCZNYCH

Modelowanie za pomocą materiałów autentycznych (a więc skał czy gruntów pobranych wprost z modelowanego ośrodka) jest możliwe, jak już wspomniano poprzednio, przy założeniu:

$$gM = n \cdot gN$$

Warunek ten najprościej można zrealizować stosując wirówkę o poziomej płaszczyźnie obrotu. Wymaganą dla danej skały modelu wielkość przyspieszenia osiąga się dzięki odpowiedniej ilości obrotów wirówki, przy znanej długości ramienia obrotowego. Dla uniknięcia drgań model umieszczony w wirówce musi być dokładnie zrównoważony na drugim ramieniu obrotowym. Oczywiście wielkość tego rodzaju modeli jest bardzo poważnie ograniczona, podobnie jak i zdolność skutecznego prowadzenia obserwacji modelu podczas ruchu wirówki. Mimo tych istotnych wad, wirówka

jest doskonałym przyrządem do modelowania wszelkiego rodzaju zjawisk, szczególnie zachodzących w gruntach. W USA, gdzie rozwój geotechniki w latach międzywojennych doprowadził do powstania licznych dobrze wyposażonych laboratoriów gruntowych, wirówki do badań modelowych procesów zachodzących w gruntach są w powszechnym użyciu. Obserwacje modeli prowadzi się tam przeważnie pośrednio przez wykonywanie zdjęć filmowych, kamerą wirującą razem z modelem. Wymiary stosowanych modeli dochodzą do $40 \times 40 \times 20$ cm, a średnice obrotu stosowanych wirówek — do 4 m.

Na zakończenie należy dodać, że modelowanie materiałami ekwiwalentnymi i autentycznymi nie wyłącza możliwości badań modelowych ośrodków geologiczno-inżynierskich. W pewnych dziedzinach

geologii inżynierskiej, zwłaszcza w odniesieniu do skał zwięzłych, dają się bowiem z powodzeniem zastosować modelowe badania fotoelastoptyczne, dotychczas szeroko stosowane w zagadnieniach konstrukcyjnych i budowlanych.

S U M M A R Y

Because of divergences existing between the results obtained by means of theoretical calculations and the real occurrence of the geological-engineering phenomena one tries to find the more precise solutions of many problems, using the modelling method. Taking into consideration the bases of the mechanical resemblance theory and the modelling by means of equivalent materials as well as the modelling by means of authentic ones, one substantiates that the patterns of a geological-engineering centre allow to present its physical and mechanical properties, parti-

cularly its mechanical anisotropy at such degree at which it has been confirmed.

Р Е З Ю М Е

В виду различий между результатами получаемыми путём теоретических подсчётов и действительным протеканием инженерно-геологических явлений ведутся поиски более точных решений вопросов инженерной геологии методом моделирования. Учитывая основы теории механического подобия и моделирования с помощью эквивалентных материалов, а также моделирования с помощью подлинных материалов автор доказывает, что модели инженерно-геологического объекта дают возможность отобразить его физические и механические свойства, а особенно его механическую анизотропность в такой степени, в какой она была констатирована.