

Wojciech PUCHAŁA

Ryszard GARNCARZ

Józef STRAŚ

Jan URBAŃCZYK

## MASA SZYBKOWIĄZĄCA NA BAZIE SZKŁA WODNEGO I UTWARDZACZA U-10 JAKO MATERIAŁ EKWIWALENTNY

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono porównanie własności wytrzymałościowych mas szybkowiązających wykonanych na bazie szkła wodnego zawierających chromalit lub utwardzacz U-10. Podano również charakterystyki badanego materiału i możliwości jego zastosowania do modelowania górotworu.

### 1. Wstęp

Szerokie zastosowanie do rozwiązywania problemów z zakresu mechaniki górotworu badań modelowych stawia szereg wymagań, którym muszą sprostać stosowane w nich materiały ekwiwalentne. Wymagania te dotyczą nie tylko charakterystycznych parametrów fizyko-mechanicznych, ale także szeregu cech funkcjonalnych, takich jak:

- łatwość wykonania materiału "na zimno" za pomocą ogólnie dostępnych urządzeń laboratoryjnych,
- prosty skład,
- łatwość regulowania parametrów fizyko-mechanicznych,
- odpowiedni czas wiązania,
- odpowiednia konsystencja,
- stałość własności fizyko-mechanicznych gotowego modelu.

W najszerszym zakresie odpowiadają stawianym wymaganiom materiały ekwiwalentne wykonywane na bazie szkła wodnego. Zdecydowało to o ich szerokim zastosowaniu w praktyce badawczej Instytutu Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni - Politechniki Śląskiej. Niestety zaprzestano ostatnio produkcji składnika będącego utwardzaczem mas tego typu tzw. chromalitu. Sytuacja ta zmusiła do szukania materiału zastępczego. Wybór padł na utwardzacz do mas formierskich szybkowiązających U-10.

W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań materiałów ekwiwalentnych na bazie szkła wodnego utwardzanych utwardzaczem U-10 w porównaniu z charakterystykami dotychczas stosowanych mas utwardzanych chromalitem. Dokonano także oceny przydatności masy zawierającej utwardzacz U-10 do wykonywania modeli górotworu.

Omawiany materiał ekwiwalentny zastosowany będzie w modelowych badaniach obudowy ohodnikowej w strefie skrzyżowania ściany z ohodnikiem przyścianowym.

## 2. Komponenty materiałów ekwiwalentnych na bazie szkła wodnego sodowego i ich charakterystyka

Materiały ekwiwalentne wykonywane na bazie szkła wodnego składają się z następujących składników:

- Lepiszczce: szkło wodne sodowe,
- wypełniacz: piasek kwarcowy, względnie mieszanina piasku kwarcowego i kruszywa lekkiego,
- utwardzacz: ohromalit lub utwardzacz U-10,
- woda ze środkiem powierzchniowo czynnym lub bez niego.

Dobierając odpowiednio procentowy udział składników możemy otrzymać samoutwardzalną masę o żądanych parametrach fizyko-mechanicznych. Dla przeprowadzenia wstępnych badań porównawczych wykonano szereg próbek o różnej zawartości lepiszcza (szkła wodnego sodowego) przy zastosowaniu jako wypełniacza piasku kwarcowego, a jako utwardzacza ohromalitu i utwardzacza U-10.

### 2.1. Opis składników zastosowanych w badanych masach

#### 2.1.1. Szkło wodne sodowe

Jest to mieszanina krzemianów sodowych. Szkło wodne jako sól słabego kwasu i mocnej zasady ma odczyn zasadowy, rozkłada się pod wpływem działania kwasów (nawet bardzo słabych np. kwasu węglowego). Jest to produkt objęty normą PN-53/C-84104.

#### 2.1.2. Piasek kwarcowy

Piasek stosowany jako wypełniacz w masach szybkowiązujących musi być jednorodny i czysty - bez zanieczyszczeń gliniasto-ilastych. W zależności od przyjętej skali modelowania należy stosować piasek o odpowiednim uziarnieniu:

- drobnodziarnisty (średnica ziaren 0,12 - 0,21 mm) dla modeli o wysokiej skali modelowania,
- grubodziarnisty (średnica ziaren 0,8 - 0,85 mm) dla modeli o niższej skali modelowania.

#### 2.1.3. Chromalit

Jest to uszlachetniony produkt uboczny otrzymywany przy wytwarzaniu żelazochromu. Po rozdrobnieniu stosuje się go jako utwardzacz przy produkcji

samoutwardzalnych mas formierskich. Objęty jest normą branżową BN-71/4021-31. Ostatnio produkcja chromalitu została wstrzymana.

Współdziałanie szkła wodnego sodowego z chromalitem opiera się na zjawisku żelowania krzemianu sodowego w obecności krzemianu dwuwapniowego (główny składnik chromalitu), woda ze szkła wodnego zostaje przyłączona przez krzemian dwuwapniowy powodując jego utwardzenie.

Chromalit umożliwia regulację czasu wiązania mieszaniny, wytrzymałości mechanicznej oraz konsystencji mieszaniny.

#### 2.1.4. Utwardzacz U-10

Jest to pył samorozpadowy otrzymywany przy produkcji tlenku glinu metodą zasadowo-spiekową. Stosowany jest jako utwardzacz ciekłych i sypkich mas formierskich. Objęty jest normą branżową BN-79/4021-32.

#### 2.1.5. Woda

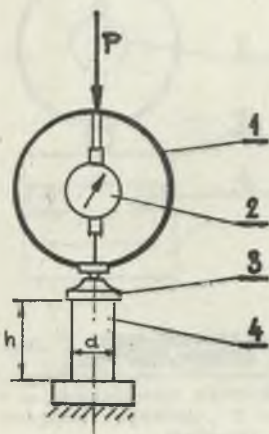
Do badań prowadzonych w warunkach laboratoryjnych stosuje się wodę wodociągową. Wyklucza się stosowanie wody o dużej zawartości siarczanów i chlorków, ze względu na koagulację sodowego szkła wodnego. W celu zwiększenia płynności i plastyczności wykonywanej masy może być stosowane dodawanie środka powierzchniowo-ozynnego zmniejszającego napięcie powierzchniowe. Pozwala to na uniknięcie dodawania nadmiaru wody.

### 3. Badania laboratoryjne materiałów ekwiwalentnych na bazie szkła wodnego sodowego

W celu przeprowadzenia badań wytrzymałościowych materiału modelowego wykonano szereg próbek foremnych o kształcie cylindrycznym i prostopadłościennym o różnej zawartości lepiszcza i następnie określono podstawowe własności wytrzymałości: na ściskanie i zginanie. Materiał modelowy utwardzany utwardzaczem U-10 wykonano w dwóch wersjach - o zawartości 3% i 6% wody.

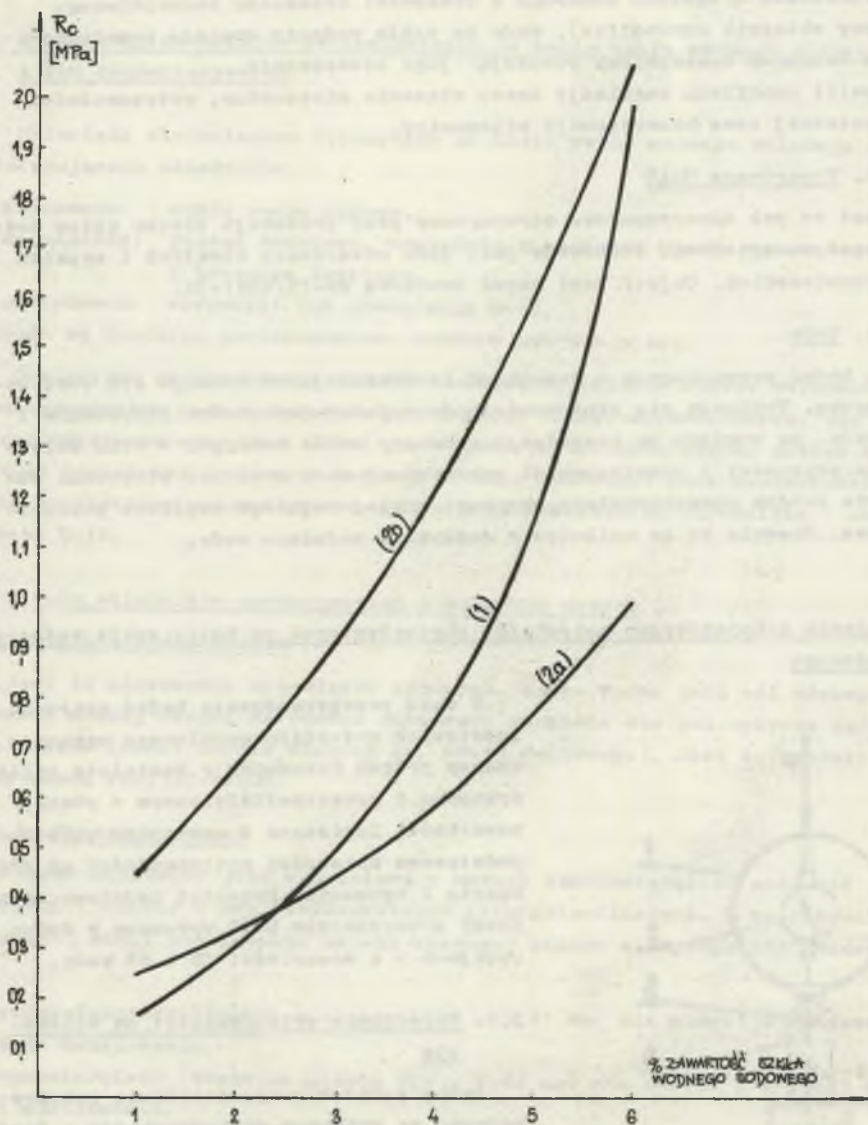
#### 3.1. Określenie wytrzymałości na ściskanie

Próbkę jednoosiowego ściskania przeprowadzono na próbkach cylindrycznych o średnicy  $d = 40$  mm i wysokości  $l = 80$  mm. Próbkę obciążano poprzez dynamometr pierścieniowy (rys. 1). Wielkość siły obciążającej próbkę określono z charakterystyki dynamometru na podstawie wielkości ugięcia



Rys. 1. Schemat obciążenia próbki przy badaniu na ściskanie

1 - dynamometr pierścieniowy, 2 - osiowy przemieszczenie, 3 - osiowy zegarowy, 4 - płyta dociskowa, 4 - próbka



Rys. 2. Zmiana wytrzymałości na ściskanie  $R_c$ ) materiału modelowego  
 1 - materiał modelowy utwardzany chromalitem, 2 - materiał modelowy utwardzany utwardzaczem U-10,  
 a - zawierający 3% wody, b - zawierający 6% wody

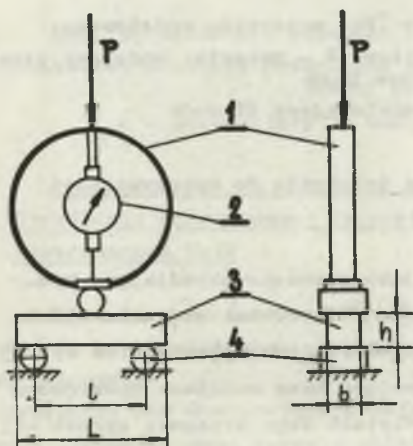
pierścienia wskazującej przez czujnik zegarowy z dokładnością do 0,01 mm. Na podstawie otrzymanej siły krytycznej ( $P_{kr}$ ) powodującej zniszczenie próbki i geometrycznych wymiarów próbki określono wytrzymałość na ściskanie  $R_0$  badanego materiału. Otrzymane wyniki pozwoliły wykreślić krzywe (rys. 2) obrazujące zależność wytrzymałości na ściskanie ( $R_0$ ) od procentowej zawartości lepiszcza dla próbek utwardzanych obromalitem (krzywa 1) oraz utwardzaczem U-10 (krzywa 2a i 2b).

W przedstawionym zakresie zawartości lepiszcza charakter przebiegu krzywych dla obu mas jest podobny.

Wartości maksymalne dla krzywych 1 i 2b są zbliżone, natomiast wartości minimalne są wyższe dla mas utwardzanych utwardzaczem U-10. Prócz tego widoczna jest znaczna różnica wytrzymałości dla materiałów utwardzanych utwardzaczem U-10 w zależności od zawartości wody (krzywa 2a i 2b).

### 3.2. Określenie wytrzymałości na zginanie

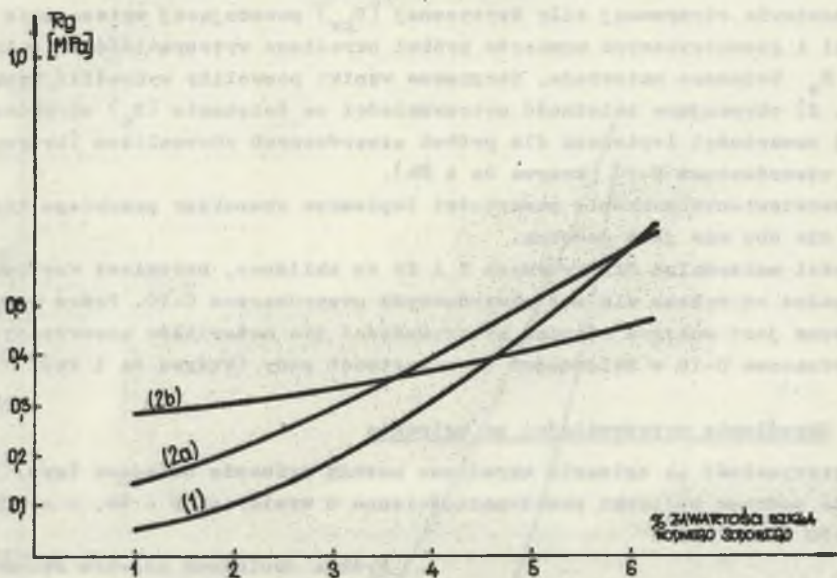
Wytrzymałość na zginanie określono metodą zginania beleczek (rys. 3). Próbie poddano beleczki prostokątne o wymiarach  $b = 40$ ,  $h = 40$ ,  $L = 160$  mm.



Rys. 3. Schemat obciążenia próbki przy badaniu na zginanie

1 - dynamometr pierścieniowy, 2 - czujnik zegarowy, 3 - próbka, 4 - podpory

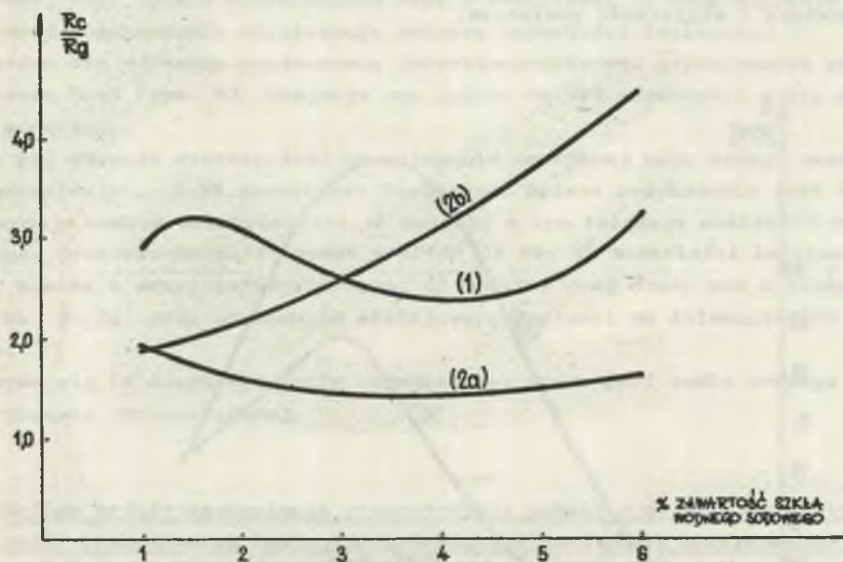
Próbki obciążano poprzez dynamometr pierścieniowy, którego ugięcie wskazywał czujnik zegarowy z dokładnością do 0,01 mm. Wielkość siły  $P_{kr}$  niszczonej próbki określono, podobnie jak w punkcie 3.1 z charakterystyki dynamometru. Wyznaczone na jej podstawie wartości wytrzymałości na zginanie  $R_g$  pozwoliły zbudować wykres (rys. 4). Przedstawia on zmianę wytrzymałości na zginanie  $R_g$  w zależności od procentowej zawartości lepiszcza w masie dla próbek utwardzanych chromalitem (krzywa 1) oraz utwardzaczem U-10 (krzywe 2a i 2b). W przedstawionym zakresie zawartości lepiszcza (1-6%) szkła wodnego sodowego) przyrosty wytrzymałości na zginanie są wyraźnie mniejsze dla masy utwardzanej utwardzaczem U-10. Ponadto wyraźnie ujawnia się wpływ zawartości wody.



Rys. 4. Zmiana wytrzymałości na zginanie ( $R_g$ ) materiału modelowego  
 1 - materiał modelowy utwardzany chromalitem, 2 - materiał modelowy utwardzany utwardzaczem U-10  
 a - zawierający 3% wody, b - zawierający 6% wody

### 3.3. Określenie stosunku wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na zginanie $R_o/R_g$

Stosunek  $R_o/R_g$  może być traktowany jako parametr określający kruchość materiałów. Zależność stosunku  $R_o/R_g$  od procentowej zawartości lepiszoza dla badanych materiałów ekwiwalentnych przedstawiono na rys. 5. Największą wartość omawianego parametru osiąga masa modelowa utwardzona utwardzaczem U-10 o zawartości wody 6%. Wartość tego stosunku wynosi ok. 4,5, co odpowiada potrzebom modelowania większości skał karbońskich, bez konieczności sztucznego powiększenia kruchości układanych warstw modelowych.



Rys. 5. Zależność stosunku  $R_c/R_g$  od zawartości lepiszcza

1 - materiał modelowy utwardzany chromalitem, 2 - materiał modelowy utwardzany utwardzaczem U-10

a - zawierający 3% wody, b - zawierający 6% wody

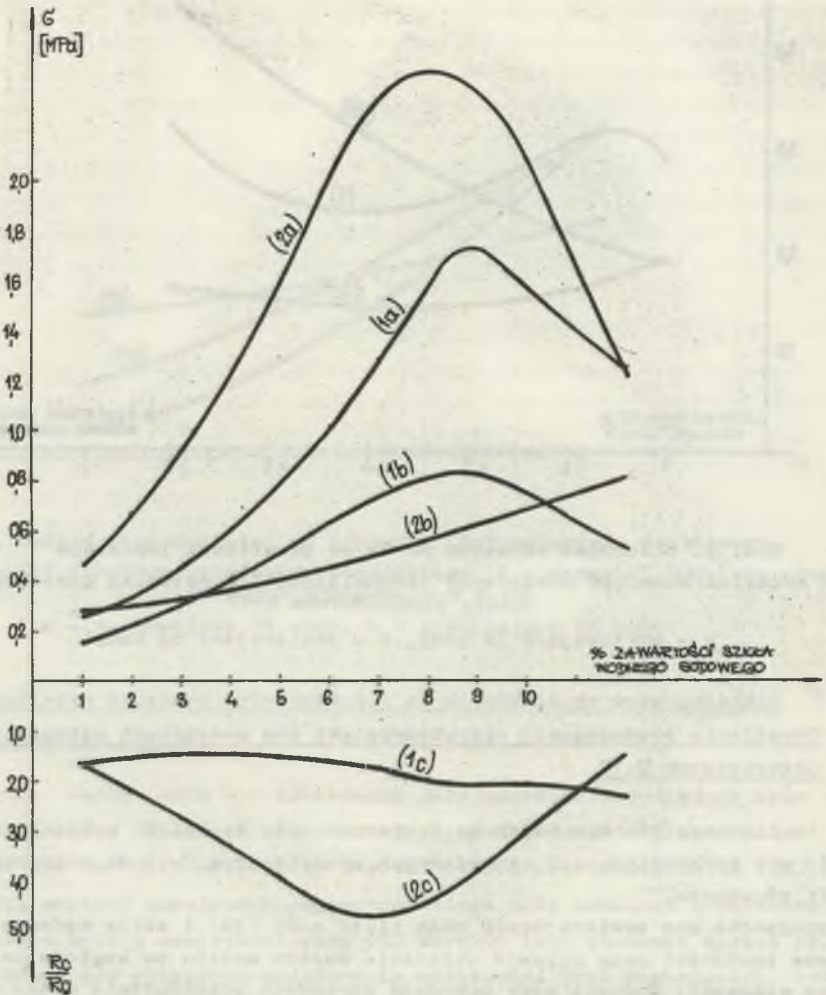
#### 4. Określenie rozszerzonej charakterystyki mas modelowych utwardzanych utwardzaczem U-10

Analiza wyników zawartych na wykresach rys. 2, 4 i 5 wykazuje przydatność mas szybkowiązących utwardzanych utwardzaczem U-10 do wykonywania modeli górotworu.

W przypadku mas zawierających małą ilość wody (3%) i szkła wodnego (1-4%) pewne trudności może sprawić układanie warstw modelu ze względu na krótki czas wiązania. Dodanie wody powoduje wprawdzie przedłużenie czasu wiązania, ale równocześnie wpływa na parametry wytrzymałościowe masy. W przypadku masy zawierającej zwiększoną ilość wody (6%) dalsze jej dodawanie w celu wydłużenia czasu wiązania nie powoduje widocznej zmiany parametrów. Jednak, ze względu na wykonywanie modelu o objętości znacznie większej niż badane próbki, dodanie zbyt dużej ilości wody może zróżnicować wytrzymałość warstw modelu z powodu nierównomiernego odparowywania wody z całego modelu.

Własności fizyko-mechaniczne omawianej masy szybkowiążącej charakteryzują się wysoką stabilnością - nie ulegają zmianie przy zmianach wilgotności

i temperatury otoczenia. Pozwala to na przygotowanie modeli i prowadzenie badań w pomieszczeniach nie posiadających urządzeń utrzymujących stałą temperaturę i wilgotność powietrza.



Rys. 6. Charakterystyki mas szybkowiązających utwardzanych utwardzaczem U-10  
 1 - masa zawierająca 3% wody, 2 - masa zawierająca 6% wody  
 a - wytrzymałość na ściskanie  $R_c$ , b - wytrzymałość na zginanie  $R_g$ , c -  
 stosunek  $R_c/R_g$



Przedstawiony na wykresach (rys. 2,4 i 5) zakres zawartości lepiszcza (1-6% szkła wodnego sodowego) nie charakteryzuje w wystarczający sposób badanej masy. Niska wytrzymałość masy o zawartości 3% wody sugeruje możliwość rozszerzenia użytecznego zakresu zawartości lepiszcza. Dlatego też wykonano rozszerzoną charakterystykę mas utwardzanych utwardzaczem U-10 (rys. 6), Obejmuje ona zakres do 12% zawartości szkła wodnego sodowego.

Jak się okazuje wytrzymałość na ściskanie omawianej masy osiąga wartość maksymalną przy 8-9% zawartości lepiszcza. Dalejsze zwiększenie jego ilości powoduje spadek wytrzymałości. W związku z tym istotnie możliwość rozszerzenia praktycznie użytecznego zakresu do ok. 9% zawartości lepiszcza. Jak wynika z charakterystyki (rys. 6) możliwy jest dobór mas o różnym stosunku  $R_c/R_g$  przy utrzymaniu stałej wytrzymałości na ściskanie lub zginanie.

Odbywa się to drogą ustalenia odpowiedniej zawartości szkła wodnego i wody w masie szybkowiążącej.

#### 5. Ogólne zasady technologii przygotowania modelu z materiałów ekwiwalentnych wykonanych na bazie szkła wodnego utwardzanych utwardzaczem U-10

Przygotowanie modelu górotworu z mas utwardzanych utwardzaczem U-10 nie różni się w zasadniczy sposób od prac z wykorzystaniem mas utwardzanych chromalitem.

Wykonanie masy sprowadza się do ujednorodnienia mechanicznego dwóch składników:

- składnika stałego - zawierającego w odpowiednich proporcjach wypełniacz (piasek kwarcowy lub mieszanina piasku kwarcowego i kruszywa) i utwardzacz U-10,
- składnika ciekłego - zawierającego odpowiednie ilości szkła wodnego sodowego i wody (ewentualnie z dodatkiem środka powierzchniowo-czynnego).

Ujednorodnienie obu składników odbywa się w mieszarce w czasie 3-5 minut. Tak przygotowany materiał jest gotowy do układania w przygotowanej uprzednio formie.

W celu wyeliminowania wpływu sił tarcia materiału modelowego o ściany formy, na wyniki badań laboratoryjnych, należy ściany formy posmarować olejem wrzecionowym i wyłożyć cienką folią estrafolową.

Oddzielenie kolejnych warstw modelu w celu osłabienia spójności w płaszczyznach poziomych wykonuje się przesypując je mieloną młką, suchym piaskiem lub pyłem węglowym. Duże znaczenie w procesie wykonania modeli ma intensywność ubijania masy. Wpływ ten może być w niektórych wypadkach tak znaczny, że dla uzyskania różnych parametrów wytrzymałościowych odpo-

władających imitowanym skałom nie jest konieczna zmiana receptury materiału. Wystarczy tylko odpowiednio zmienić intensywność ubijania. Z tego względu należy dążyć do uniezależnienia procesu ubijania od czynników subiektywnych. Jest to możliwe do uzyskania przez zastosowanie jako urządzenia ubijającego walca toczzonego odpowiednią ilość razy ze stałą prędkością po powierzchni ułożonej warstwy.

W celu kontroli poprawności wykonania modelu wskazane jest wykonywanie próbek z każdej stosowanej partii materiału. Poddaje się je następnie badaniom wytrzymałościowym, a uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić w jakim stopniu parametry modelu opowiadają założonym.

## 6. Wnioski

1. Masy szybkowiązające na bazie szkła wodnego utwardzane utwardzaczem U-10 spełniają wymogi stawiane przed materiałami ekwiwalentnymi. Posiadają one:
  - odpowiednie parametry wytrzymałościowe,
  - odpowiednie czasy wiązania,
  - odpowiednią konsystencję.
2. Charakteryzują się możliwością regulacji parametrów w szerokim zakresie, dzięki czemu pozwalają na odwzorowanie wzorca naturalnego w wielu skałach modelowania.
3. Masy szybkowiązające cechuje duża stabilność własności fizyko-mechanicznych niezależnie od zmian wilgotności i temperatury otoczenia.
4. Proces wykonywania mas i układania modeli charakteryzuje się dużą prostotą i małą czasochłonnością.
5. W porównaniu z masami na bazie szkła wodnego sodowego utwardzanymi obromalitem, materiały utwardzane utwardzaczem U-10 pozwalają na uzyskanie większej kruchości. Dzięki temu umożliwiają łatwiejsze odwzorowanie skał bez dodatkowych działań obniżających kruchość masy.

## LITERATURA

- [1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu - Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1973.
- [2] Chudek M., Olszowski W.: Laboratorium mechaniki górotworu - Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1972.
- [3] Straś J., Urbańczyk J.: Masy szybkowiązające jako materiały ekwiwalentne do modelowania górotworu - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Górnictwo nr 68, Gliwice 1976.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz RULKA

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1983 r.

**БЫСТРОВЯЖУЩАЯ МАССА НА ОСНОВЕ ВОДНОГО СТЕКЛА  
И ОТВЕРДИТЕЛЯ У-10 В КАЧЕСТВЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА****Р е з ю м е**

В работе дано сравнение сопротивляющих свойств быстровяжущих масс, полученных на базе водного стекла, содержащих хромалит или отвердитель У-10. Дана также характеристика исследуемого материала и возможности его применения для моделирования горообразования.

**QUICK-SETTING MIX ON THE BASIS OF WATER GLASS AND HARDENING MATERIAL U-10  
USED AS AN EQUIVALENT****S u m m a r y**

In the paper are presented some comparisons of the strength properties of quick-setting mixes made on the basis of water glass containing chromalite or hardening material U-10. Also characteristics of the investigated material and the possibilities of using it in orogen modelling are given.