Seria: GÓRNICTWO z. 78

Nr kol. 510

Ferenc MARTOS

MODELOWE BADANIA ZJAWISK MECHANIKI SKAŁ

<u>Streszczenie</u>. Wytworzenie w górotworze nienaruszonym, niejednorodnym i anizotropowym systemu podziemnych pustek tworzących zmienny stan naprężeń w czasie i przestrzeni, doprowadzają otaczający górotwór do pewnych granicznych wartości przemieszczeń i jego wytrzymałości na rozciąganie. Znajomość spraw rządzących tymi zjawiskami stanowi jeden z podstawowych wartuków procesu optymalizacji techniczno-ekonomicznej w aspekcie bezpiecznej eksploatacji złoża.

Pomiary i obserwacje podziemne są konieczne lecz niewystarczające, natomiast studia analityczne są również w pewnym stopniu ograniczone. Syntezę zależności wyników teoretycznych i praktycznych możemy do pewnego stopnia uzyskać posługując się badaniami modeli z ekwiwalentnych materiałów.

Autor wskazuje jakie są możliwości i warunki modelowania matematycznego i fizycznego symulacji zjawisk mechaniki skał górotworu. Opisuje niezmienniki mogące stanowić warunki podobieństwa. Podaje zalecenia dla modelowania zjawisk deformacji i przemieszczeń w wyrobiskach o przekroju kołowym z obudową i bez obudowy, jak również warunki wytężenia, przemieszczeń i obrywania się skał wokół wyrobisk. Podaje również wyniki pierwszych prób modelowych wykonanych w świetle badań warunków lokalizacji pustek górniczych oraz badań kontrolowanego zawału po wybraniu złoża.

Warunki podobieństwa

Na zachodzące w mechanice skał zjawiska główny wpływ wywierają następujące czynniki:

- Wymiary geometryczne (1), przemieszczenia (kierunek wektora w) określone w przestrzeni poprzez współrzędne (x, y, z).
- 2. Prędkość (V).
- 3. Działanie sił, charakterystyczne reakcje.
- 4. Gęstość lub ciężar objętościowy (g lub 👘).
- 5. Lepkość dynamiczna (μ).
- Kohezja (C) i tarcie wewnętrzne (φ) przede wszystkim na granicy pę knięcia.
- 7. Przyspieszenie ziemskie (g) i wynikające stąd ciśnienie skał.

Znajomość powyższych czynników pozwala na zapis tych procesów w formie macierzy w układzie następujących fizycznych jednestek.

	1	v	P			с		5
с	1	1	1	-3	-1	-1	0	1
G	0	0	1	1	1	1	0	0
s	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-2

Powyższa macierz jest macierzą złożoną. Ponieważ nie można określić wyznaczników większych od 3 potęgi wymiary każdego czynnika są rzędu ($\Delta = 3$).

Ilość współczynników charakteryzujących proces jest n = 8.

Z tej przyczyny ilość grup bezwymiarowych ułożona wg Langhaara równa jest:

$\mathbf{d} = \mathbf{n} - \Delta = 5$.

Wiadomym jest, że im większa jest ilość proporcji niezmienników, które chcemy zdefiniować, tym trudniej zapewnić podobieństwo między modelem i rzeczywistością lub przybliżyć jego warunki.

Z powodów racjonalnych usunięto z macierzy kelumnę g - procesy rzeczywisty i modelowy mają praktycznie to samo pole grawitacji.

W wyniku tego uproszczenia n' = 7 oraz

$$\mathbf{d}^{\mathbf{y}} = \mathbf{n}^{\mathbf{y}} - \Delta = 4 \cdot \mathbf{e}$$

Wobec tego, do podobieństwa mechanicznego i energetycznego dochodzimy przestrzegając proporcji czterech niezmienników (niemniej w praktycznym modelowaniu materii skalnej nie jest to warunek wcale łatwy).

Konieczne warunki podobieństwa to:

1. Podobieństwo geometryczne tj. stały charakter liniowy wymiarów lub proporcji wektorów przemieszczeń

$$\frac{\mathbf{I}_{1}}{\mathbf{I}_{2}} = \frac{\mathbf{Y}_{1}}{\mathbf{I}_{2}} = \frac{\mathbf{Z}_{1}}{\mathbf{I}_{2}} = \frac{\mathbf{I}_{1}}{\mathbf{I}_{2}} = \frac{\mathbf{W}_{1}}{\mathbf{W}_{2}} = \lambda = \text{constant.}$$

2. Podobieństwo kinetyczne - podobieństwo wymaganych prędkości. Wycho dząc z proporcji czasów, która powinna być stała

$$\frac{t_1}{t_2} = \tau = const$$

dochodzimy do stałej proporcji przyspieszenia (a) czyli:

$$\frac{v_1}{v_2} = \lambda \cdot \tau^{-1}$$
 i $\frac{a_1}{a_2} = \lambda \cdot \tau^{-2}$.

3. Podobieństwo dynamiczne zapewnione poprzez stałą proporcję sił

$$\frac{P_1}{P_2} = \mathcal{K} = \text{const.}$$

W układzie tych trzech warunków można dołączyć czwarty warunek wspólny, może on dotyczyć dowolnej własności materii np. gęstości. Stąd otrzymamy:

4. Podobieństwo materiałowe, gdzie stałą jest proporcja powstałych parametrów takich jak: gęstość lub ciężar objętościowy.

$$\frac{g_1}{g_2} = o = const.$$

co dla wartości g = g/g daje

$$\alpha = \pi \cdot \tau^2 \cdot \lambda^{-4}$$

Po transformacji otrzymamy jedną z możliwych form równoważnika Newtona:

$$\frac{P_1}{g_1 \cdot l_1^2 \cdot v^2} = \frac{P_2}{g_2 \cdot l_2^2 \cdot v_2^2} = N = const$$

stanowiącą relację wyjściową tj. numeryczne wyrażenie niezmienne w przypadku różnych wartości jednostek miary.

Podobieństwo mechaniczne zjawisk mechaniki skał po zastąpieniu stosunku powierzchniowych sił dowolnie przez naprężenia (G, I lub E) można wyrazić w formie:

$$\frac{G_1}{g_1 \cdot v_1^2} = \frac{G_2}{g_2 \cdot v_2^2} = S = const.$$

Wprowadzając, z punktu widzenie praktycznagą, w miejsce gęstości. war tości ciężaru objętościowego przy jednoczesnym pominięciu wpływu grawitacji tj. gdy $g_1 = g_2 = g$ nowe wyrażenie traci swoją jednorodność wymiaru. Mimo to korzystając z prawa regulującego proces model wania strate jednorodności wymiarowej jest jedynie pozorna, ponieważ w rzeczywistości grawitacja jest czynnikiem aktywnym, a więc można ją odnaleźć w liczniku każdej strony równania

$$\frac{G_1}{v_1^2} = \frac{G_2}{v_2^2} = S = \text{const.}$$

Materiał modelowy składał się z piasku kwarcowego o dużych ziarnach i innych dodatków, w wyniku których dobrano ciężar objętościowy zbliżony do naturalnych skał osadowych.

W ten sposób możemy założyć następujące uproszczenie:

Skąd otrzymamy

i

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2}$$

Ponieważ zarówno w naturze, jak i modelu zachodzą procesy ruchów, dodatkowo należy zastrzec warunek, aby proporcje odpowiednich energii były stałe tj.

$$\frac{m_1 \cdot g_1 \cdot l_1}{m_2 \cdot g_2 \cdot l_2} = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{m_2 \cdot V_2^2}$$

$$\frac{v_1^2}{s_1 \cdot l_1} = \frac{v_2^2}{s_2 \cdot l_2} = Fr = const.$$

co stanowi niezmiennik Freuda.

Po przekształceniu otrzymujemy ten sam rząd wielkości (g₁ = g₂ = g)tzn

$$\frac{1_1}{1_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2}$$

lub

$$\frac{\frac{1}{1_2}}{\frac{1}{1_2}} = \frac{\frac{6_1}{6_2}}{\frac{6_2}{1_2}} = \frac{v^2}{v_2^2} =$$

Z drugiej strony wychodząc z relacji

$$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = \lambda$$

2

Otrzymać można

$$\frac{1}{1_2} = \lambda ; \quad -\frac{0_1}{0_2} = \lambda ; \quad \frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\lambda} ; \quad \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\lambda}$$

λ stanowi więc proporcję skali modelu tj. stosunek między wymiarami liniowymi modelu i obiektu naturalnego. Przytoczone warunki podobieństwa są najprostsze z możliwych. Niemniej biorąc pod uwagę, że prawie każdy z nich stanowi zbiór charakterystycznych współczynników odpowiedni ich dobór praktyczny nie jest łatwy.

Proporcja $G_2/G_2 = \lambda$ w pełnym znaczeniu. nie tylku określa proporcję dowolnej charakterystyki wytrzymałościowej (ściskanie, rozciąganie, przegięcie, ścinanie itp.) lecz również moduły sprężystości (E_1/E_2) i jednocześnie wszystkie wielkości wyrażone w kp/cm².

Powstałe niezmienniki w podobny sposób zawierają nie tylko jeden lecz zespół charakterystycznych współczynników z wyjątkiem czasu. Wobec powyższego dla osiągnięcia warunków podobieństwa wydających się pozornie prostych nie należy zapominać do dokładnym doborze i podobieństwie odpowiednich zełożeń.

Należy podkreślić w dalszym ciągu doniosłą rolę, jaką często spełniają badania mechaniki skał, na bazie zredukowanych modeli, szczególnie próby badań zjawisk przemieszczeń lub ciśnień powstałych w wyrobiskach wybierkowych, które prowadzi się w celu obserwacji materiałów w stanie przekroczenia granicy sprężystości, spękanych lub zdruzgotanych, zachowujących się jak zespół bloków lub ruchomych ziarn. Podobnie w modelach teoretycznych odpowiednim przypadkom stanów odpowiadają określenia "sprężysty-plastyczny-lepki", a akcentuje się szczególnie rolę lepkości. W teoretycznym formowaniu tych zjawisk w macierzy wymiarowej przyjęto de rezwiązań pedobieństwa współczynnik lepkości dynamicznej (μ). Stanowi to jedną z dalszych charakterystyk materiału uwzględnianą w badaniach bardziej złożonych.

Jak widzimy układ niezmienników o czterech członach może być uzupełniany o człon piąty - w miarę możliwości jego praktycznego wykorzystania. Wobec powyższego przedstawiony powyżej warunek upraszczający staje się małc znaczący.

Wychodząc z wartości dynamicznej lepkości (możemy już przypuszczać że T1 ≠ T2) i wymiarowych proporcji, wprowadzamy mastępujące zależności:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \pi \cdot \tau \cdot \lambda$$

W wyniku transformacji i potraktowania P/1² jako współczynnika o charakterze naprężeń w postaci zależności

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{6_1}{6_2} \cdot \frac{t_1}{t_2} = \lambda \sqrt{\lambda} = \sqrt{\lambda^3}$$

może stanowić piąty warunek podobieństwa wyrażający i odpowiadający skali podobieństwa.

W dalszym ciągu opracowania przytoczono kilka przykładów prób modelowych, z których uzyskano interesujące praktyczne wnieski.

Próby modelowe imitujące wyrobisko kołowe

Ogólnie wiadomym jest, że w górnictwie węgierskim eksploatowane złoża charakteryzują się słabą wytrzymałością odkrytych płaszczyzn skał otaczających.

W nich to ped wpływem ciśnienia nadkładu na skutek wykonywanych wyrobisk następuje zachwianie równowagi stanu naprężeń.

Naprężenia w skałach otaczających przekraczają wartości wytrzymałości powodując pęknięcia lub prowadzą do stanu granicznego pełzania. Wysoka zawartość wody intensyfikuje przebieg tych procesów.

Nie zagłębiając się w szczegóły można zauważyć, że od lat pięćdziesiątych mastąpił bardzo szybki wzrost ilości wyrobisk drążonych w przekroju kołowyw.

Wyrobiska o tym profilu z punktu widzenia mechaniki górotworu są bardziej korzystne od poprzednich profili trapezoidalmych obudowanych drewnem.

Modelowe badania zjawisk mechaniki skał

drzwiami.

Wyrobiska kołowe w zależności od ich czasu użytkowania budowane są albo ze sklepieniem betonowym w przypadku ich dłuższego eksploatowania albo z żelaznymi odrzwiami w większości wyrobisk o krótkim przeznaczeniu.

Przy zastosowaniu żelaznych okrągłych odrzwi parametry techniczne, ekonomiczne i bwzpieczeństwa obudowy powinny wynikać między innymi z dwóch czynników: ciężaru właściwego elementów kołowych i wzajemnych między nimi odstępów tj. liczbą odrzwi zabudowanych na 100 m długości wyrobiska.

Łatwo można przewidzieć, że zastosowanie odrzwi ciężkich wymaga dużej ilości stali i trudniejszej pracy przy ich zabudowie, prowadząc do wyższych kosztów. Przeciwnie, odrzwia o przekrojach słabych i lekkich mogą z kolei ulec przesadnej deformacji zagrażając bezpieczeństwu pracy. Podobne problemy mogą wystąpić również przy doborze odstępów między o-

Oprócz badań podziemnych, odrzwia poddano dodatkowym badaniom laboratoryjnym w specjalnym urządzeniu.

W celu rozwiązania kilku problemów z jednej strony zbierano dane z badań modeli zredukowanych, z drugiej porównywano je z wynikami otrzymanymi na drodze empirycznej.

Na rys. 1 przedstawiono płaski model trzech wyrobisk o jednakowych przekrojach. W wyrobisku środkowym wprowadzono sztywną obudowę stalową, w wyrobisku na lewo - stalową bardziej podatną, po prawej cbudowę sztywną murową.



Rys. 1. Model z obudową kołową

Stan naprężeń geostatycznych modelu można było kształtować i zmieniać przy pomocy hydraulicznych siłowników.

W konsekwencji pionowe obciążenie

$$P_z = \gamma \cdot z$$

mogło wzrastać w miarę, gdy przebieg zjawisk odnosił się do wyrobisk drążonych na coraz to większej głębokości (z). Skala liniowa modelu:

$$=\frac{3}{100}$$

Właściwe obciążenie początkowe wynosiło:

$$P_{z} = 0,405 \text{ kG/cm}^2$$

natomiast końcowe

$$p_{z_{p}} = 5.500 \text{ kp/cm}^{2}$$

odpowiednio dla głębokości rzeczywistej Z₀ = 60 m i Z₀ = 810 m.

Pomijając pozostałe dane i steny pośrednie, na rys. 2 przedstawiono graficznie rezultaty końcowe.

Początkowo dokładność pomiarów obarczona była błędem średnim $\mu = 0,03$ mm (następnie dokładność wzrastała w sposób istotny). Wykazano to na modelu z wyrobiskiem środkowym obudowanym odrzwiami metalowymi sztywnymi.

Określono deformacje profilu w zależności od ciśnienia jak również pcrównywano elementy obudowy o różnej sztywności przy jednakowym poziomie ciśnienia i głębokości.

Model ten w poszczególnych przypadkach wykorzystano również do uzyskania informacji o odległości i wzajemnych wpływach między wyrobiskami w celu ustalenia bezpiecznej odległości między nimi.

W naszym przypadku odległość L, między wyrobiskami wyrażoną średnicą wyrobiska (d) można ująć nierównością.

 $4,2 d < L_{y} < 6,3 d$

Wówczas minimalna odległość między osiami wyrobisk w warunkach naturalnych przy d = 3 m powinna wynosić ok. 15 m.

Duże obciążenie w modelach odpowiadające rzeczywistym głębokościom rzędu 800 m - odpowiada warunkom naturalno-górniczym występującym w Zagłębiu Macsek. W obszarze tym, przecznice i wyrobiska kierunkowe często na skutek wybierania podpozionowego znajdują się w zasięgu bezpośrednich wpły-





Rys. 3. Podbieranie chodníka w złożu o nachyleníu 45⁰ (stan początkowy)



Rys. 4. Szkic modelu przygotowanego do podbierania chodnika

wów pustek powstałych po wybranym złożu powodujących znaczne ruchy górotworu. Zjawisko to analitycznie jest trudne do rozwiązania, można je jednak rozwiązać poprzez badania modelowe, których wyniki można przybliżyć w oparciu o porównania wypadkowych wyników pomiarów w kopalniach.

Rys. 3 przedstawia model z wyrobiskiem kołowym o średnicy 3,6 m wydrążonym w stropie ponad podkładem o grubości 1 m i nachyleniu 45° oddalonym w rzeczywistości od podkładu o 15,5 m, który poddano ekwiwalentnemu obciążeniu odpowiadającemu głębokości 400 m.

ys. 4 przedstawia przekrój geologiczny warstw bezpośrednich nad i pod wyrobiskiem z dokładnym ich zwymiarowaniem oraz podaniem wertości wytrzymełości na sciskanie (jednoosiowe) i ciężarów objętościowych.

Skala liniowa modelu wynosi:

$$\lambda = \frac{1}{50}$$

fys. 5 obrazuje model przed eksploatacją złoża wraz z punktami pomiarowymi i niezależnym od modelu układem współrzędnych odniesienia.

Pys. 6 przedstawia fazę po przejściu nad chodnikiem frontu ściany zawałowej przesuwającej się w górę.

Prędkose urabiania odpowiadała praktycznie 1,3 m/dzień, a długość wybranego pokładu 72,5 m.

Uwzglę miając względne wyniki oceny wielkości deformacji dla wyrobiska, na rys. 7 przedstawiono jedynie wielkości dotyczące jednostkowych podłuźnych zmian w prostopadłych średnicach jego przekroju.

W fazie początkowej eksploatacji można zauważyć lekkie wydłużenie zarówno osi pionowej jak i poziomej.

Przekrój poprzeczny uwolniony od obciążenia w pewnej mierze poszerze się i rozciąga. Kozciąganie jest w tym czasie rzędu wielkości 10-15%. Z chwilą, gdy front urabiania odpowiednio dojdzie do prostopadłej wykreślonej od środka syrobiska do pokładu, powraca ono prawie do stanu początkowego. Jeśli natomiast urabianie postępuje dalej w sposób cias?v wówczas następuje szybki przyrost deformacji. Oś pionowa silnie się wydłuża (87,7%, os pozioma natomiast ulega nieco mniej skróceniu (76,3%), tzn. że okrągły przekrój wyrobiska przekształca się w pionową elipsę.

Badania modelowe potwierdziły słuszność teorii, uzyskano dodatkowe wartości ilościowe zależności z możliwością dokładnego zapisu stopnia dystorji osi wyrobiska (średnic).

Zauważono, że ruchy spowodowane urabianiem cienkiej warstwy były przez wyrobisko znoszone, a więc jego odległość od pokładu nie było niebezpieczna. Całkowite deformacje po wybraniu warstwy i ustaleniu stanu równowagi ubjawiały się w lekko eliptycznym przekroju wyrobiska.

Powyższe zjawisko wpływa na wybór optymelnej odległości wyrobiska kreunkowego od pokładu.



Rys. 5. Podbieranie chodnika w złożu o nachyleniu 45"



Rys. 6. Podbieranie chodnika w złożu o nachyleniu 45°



Rys. 7. Zmiany jednostkowe o długości średnicy wyrobisk

W przypadku zbyt małej odległości, wyrobisko się silnie deformuje, a w przypadku zbyt dużej odległości przecznicy pomocniczej - znacznie się wydłuża,

Oczywistym jest, że wartość optymalną możemy uzyskać w zależności od charakterystyk skał, grubości wybieranego pokładu, metody urabiania i wielu innych czynników.

Spośród bardzo dużej ilości badań modeli wykonanych z wyrobiskami kołowymi wybrano i przedstawiono ostatecznie jedno.



Rys. 8. Model do wyrobisk kierunkowych i przecznic podbieranych

Rys. 8 przedstawia model, w którym możemy rozróżnić dwie warstwy nachylone pod kątem 45°, trzy piętra w każdym z nich wyrobisko kołowe drążone w warstwie, następnie dwa wyrobiska kierunkowe drążone w stropie, odpowiednie w spągu w różnych odległościach. Piętra założono na głębokości 500, 550 i 600 m poniżej powierzchni i grubości warstw odpowiednio 1,5 i 2,0 m.

Średnica wyrobisk drążonych w węglu wynosi 4 m, a wyrobisk kierunkowych prowadzonych w stropie i w spągu 4,5 . Wyniki uzyskane z tego modelu dostarczyły bardzo dużą ilość danych pozwalając na ocenę różnych wariantów. Z braku możliwości ich przedstawienia przytoczono jedynie rezultat wyników końcowych ustalający optymalną wartośc 8 m między wyrobiskami, a spągiem i 15 m dla wyrobisk drążonych w stropie. Wartosci te sażdorazowo uzyskiwano z pomierów wzdłuż linii prostopadłej do złoża, przy zechowaniu stałej prędkości urabiania. Strefa silnych spękań ponad przodkiem osiągała wysokość od 10 do 12 m.

Badania modelowe współpracy górotworu z obudową w długich ścianach

Od lat sześćdziesiątych głównym przedmiotem modernizacji kopalń była realizacja wysokiej koncentracji robót [3]. Długość frontów urabiania i ekstrakcji złoża była w wielu przypadkach ograniczona warunkami tektonicznymi.

W wyniku tego wzrost postępu tj. wzrost produkcji dziennej nastąpił dzięki kompleksowej mechanizacji procesów urabiania. Rozpowszechniło się stosowanie różnych typów stojaków z zasilaniem hydraulicznym, a następnie obudów zmechanizowanych.

Formułując nowe przepisy dla obudowy nie można było polegać jedynie na pomiarach wykonywanych w kopalniach [4] - sprowadzających się na ogół do pomiaru konwergencji, lecz należało je również przeprowadzać w warunkach laboratoryjnych przy pomocy ekwiwalentnych modeli.

Pomiary zarówno w kopalniach jak i modelowe wykonywano w celu wyciągnięcia statystycznych związków (korelacji) między reakcją stojaków, szybkością urabiania, własnościemi skał, mechanizmem działania procesu technologicznego, procesu produkcji lub różnymi fazami tego procesu, przemieszczeniami płaszczyzny stropowej względem spągu, ociosów, lub przodka i różnych współczynników charakteryzujących ten ruch zarówno w czasie, jak i przestrzeni.

Uzyskane wyniki pomiarowe skorelowane dały możliwość wyboru optymalnej vartości zagęszczenia stojaków oraz ułożenia kilku niezbędnych dla praktyki prawideł.

Stwierdzono, że przed ukończeniem fazy ekstrakcji niezbędną rolę z punktu widzenia technologii urabiania i bezpieczeństwa pracy odgrywa odległość między początkiem zabudowy i przodkiem - wynika stąd konieczność jak najszybszego przesuwania obudowy.

Zauważono również na podstawie badań, że w operacji urabiania długich ścian można wyeliminować drewniane stosy, czego dotychczas nie stosowano.

Można tutaj przypomnieć prace wykonane między 1952 i 1958, a następnie od 1964 stanowiące ostatnią fazę współpracy inżynierów eksploatatorów i konstruktorów maszyn nad nowymi rozwiązaniami nowoczesnymi w skali światowej węgierskiej zmechanizowanej obudowy osłonowej. Aktualnie wiele zestawów tej obudowy pracuje w warunkach Zagłębia Ruhry.

Dla ilustracji przeprowadzonych w tym celu badań posłużono się jednym z przykładów pomijając wstęp i ich szczegóły.

Na rys. 9 przedstawiono model po urobieniu partii pokładu. Prędkość urabiania w odniesieniu do warunków rzeczywistych wynosiła 1,25 - 2,50 -- 5,0 m/dzień.



Rys. 9. Pomiar konwergencji modelu z materiałów ekwiwalentnych



Rys. 10. Pomiar konwergencji modelu (stan końcowy z zaznaczeniem periodycznych uskoków)

Reakcja obudowy w ścianie,w danym przypadku trzy rzędy stojaków, miała wartość stałą. Niezbędne obciążenie uzyskano przy pomocy widocznej na rys. 9 przeciwwagi.

Zauważyć można również na nim bardzo widoczne spękania w stropie.

Na rys. 10 widać dokładnie periodyczność powstałych uskoków z możliwością cceny odległości i charakterystycznego kąta nachylenia w odniesieniu do założonych warunków.

Porównując i analizując otrzymane wyniki uzyskano pewne wnioski, takie jak:

 a) konwergencja osiąga optymalną wartość w zależności od prędkości urabiania. W przypadku badanym najmniejsza konwergencja wystąpiła przy prędkości 2,5 m/dzień,

b) w przypadku, gdy w stopie występuje węgiel, a skały spągowe mają tą samą wytrzymałość wówczas od 82-95% całkowitej konwergencji wynika z osiadania stropu, natomiast 5-18% z wyciskania spągu,

c) zarówno w stropie, jak i spągu zachodzą przemieszczenia poziome, przy czym ruch spągu jest bardziej równomierny,

d) wraz ze wzrostem prędkości urabiania zmniejsza się w stropie kąt nachylenia spękań.

e) powstałe przez rozdzielenie warstw wzdłuż płaszczyzn ułożenia pustki Webera mogą często stanowić zbiorniki dla wody powodując potencjalne źródło zagrożenia.

W miarę ich coraz szerszego zalegania zmniejsza się ich wysokość. Napełnione wodą powodują swoiste obciążenia rozłożone na bardzo rozległym obszarze powierzchni,

f) ze wzrostem prędkości powiększa się od strony zawału długość strefy parcia.

Oprócz wyżej wymienionych wniosków można było uzyskać wiele innych, po dobnego charakteru równie ważnych z punktu widzenia technologii optymalnego urabiania. Niezależnie od nich uzyskano wiele ciekawych danych ilościowych zależności np. wartość konwergencji jako funkcji odległości od frontu urabiania, czasu, prędkości czy reakcji stojaków.

Modelowanie szczelinowania złoża przy pomocy środków wybuchowych

Celem wybuchów szczelinujących głębokie formacje geologiczne jest wzrost przepuszczalności skał dla łatwiejszego wyprowadzenia płynnych złóż i gazu do szybów wydobywczych. Waga problemu na Węgrzech w odniesieniu do źródeł energii, jej wydajniejszej produkcji jest olbrzymia.

Problemy dotyczące produkcji dystrybukacji źródeł energii stały się bleżącymi sprawami.

Modelowe badania zjawisk mechaniki skał

W przybliżeniu jedna trzecia głębinowych sondaży, mimo iż przechodzą one przez produktywne piętra czy formacje złóż, wykazuje ich jałowość.

Dzieje się to na skutek tego, że w wierconych otworach lub w ich sąsiedztwie zalegają zwarte nieprzepuszczalne skały posiadające zbyt niską nasiąkliwość, utrudniają penetrację cieczy. W wielu takich przypadkach nie polepszają sytuacji nawet zastosowane konwencjonalne metody otwarcia formacji. W podobnych przypadkach należy wykonać 1 lub więcej sondaży dodatcowych.

Z powyższych przyczyn na Węgrzech wyłączonych jest z eksploatacji wiele milionów ton ropy i wiele setek milionów m³ gazu ziemnego.

W prelekcji dotyczącej "Rozruchu materiałów i energii" zorganizowanej 8 i 9 kwietnia 1971 r. przez Sekcję Nauk Górniczo-Geologicznych, następnie konferencji [5, 6] 11 maja 1972 r.poinformowano po raz pierwszy o próbach wybuchów jakie zostały wykonane seryjnie w celu wzrostu produktywności szybów naftowych i gazu ziemnego. Od tego czasu nastąpił progresywny ciągły rozwój tych prac zarówno na płaszczyźnie technicznej, jak i technologicznej. Niedawno wykonano podobne wybuchy w sondażach poszukiwawczych wody gruntowej. Wiele dokonanych dotychczas wybuchów dało bardzo dobre oczekiwane rezultaty.

Podkreślając wagę badań poszukiwawczych wykonywanych w naturze, zapoczątkowano dodatkowo badania na modelach. Zjawiska modelowe tym razem okazały się dużo bardziej skomplikowane od omawianych już w tej pracy.

Procesy powstawania pustek i szczelinowania skały w tym przypadku są inicjowane jedynie przez dynamiczną akcję materiałów wybuchowych.Sieć spękań powstaje przez ekspansję gazu w wyniku eksplozji, a następnie w wyniku korozji kwasowej staje się ona przepuszczalna. Badania tego problemu są w toku. Celem pierwszych prób modelowych było przybliżenie pewnych jakościowych charakterystyk powstających zjawisk, znalezienie nieutajonego rysunku zależnosci o charakterze informacyjnym i statystycznym między energią wybuchu i rozkładem sieci spękań.

W wyniku akcji deformacyjnej fali uderzeniowej o ciśnieniu (p_0) działającym na dno otworu naprężenia rozciągające o kołowym przebiegu (6_n) zapoczątkowują proces tworzenia spękań. Głębokość zasięgu spękań w skałach sprężystych o słabej wytrzymałości na rozciąganie nie jest zbyt duża. Mimo to strefa spękań w obrębie szybu 35 w Bajesa osiągęła, a nawet przekroczyła granicę koła o promieniu 30 m, co oznacza znaczny efekt ekspansji gazu i innych czynników. Prawa podobieństwa ważne dla modeli przedstawionych wcześniej wymagają korekty i dalszego rozwinięcia formy. Wynika to z faktu niemożliwości stosowania w modelu tego samego materiału wybuchowego jak w warunkach naturalnych mimo, że można dobrać prawie te same charakterystyki detonacji (stosując ładunki graniczne z punktu widzenia przebiegu detonacji bez zakłóceń). Prędkość detonacji staje się silnie zredukowana i nie można jej kontrolować w myśl praw modelowych.

Nie mówiąc już o parametrach temperatury i ciśnień powstających na głębokościach 2000 i 3000 m.

Z tych to przyczyn w pierwszej fazie przeprowadzone próby i badania miały na celu ukształtować krzywą naprężeń procesu wynikłą z dynamicznego zadziałania w materiale sprężystym. Skierowanie dostatecznej ilości energii, na punkt z góry ustalony w otworach o małej średnicy można uzyskać jedynie przez wzrost długości ładunku. Powiększenie natomiast efektu wybuchu może nastąpić przez jednoczesne odpalanie ładunku z dwóch jego końców, lub przy większej ilości ładunków, dodatkowo w płaszczyznach podziałowych ładunku (n_n) w zależności od ilości inicjujących detonatorów (n_d) wg relacji

$$n_{d_t} = n_{n_s} + 1$$

W każdym z wierzchołków ładunku należy stosować detonatory pojedyncze, a w jego przekrojach pośrednich detenatory podwójne lub bliźniacze.

Do wykonania zdjęć wypadkowych naprężeń stosuje się bardzo złożone aparatury. Przebieg procesu wynosi 240 μ s (1 μ s = 10⁻⁶ s), aby go ująć na zdjęciu wymagana jest bardzo duża szybkość ujęć 100000-200000 ujęć/sek

Niezbýdnym jest również zapewnienie źródła światła w takim natężeniu, aby emitowane światło po przejściu filtrów niezbędnych do jego spolaryzowania dało na filmie dostrzegalny obraz przy czasie ujęcia 5-6 μ s. Odpowiednie nasilenie światła można uzyskać z płonących pod wpływem napięcia włókien (Al, Cu).

Budowa modelu i elementy osprzętu każdorazowo stanowią efekt długich badań i problemów związanych z synchronizacją operacji i mogą być przedmiotem odrębnych specjalistycznych badań.

Pla informacji można podać, że aby zapewnić rozruch aparatu tak, aby wszystkie procesy osiągnęły optymalne parametry stanu gotowości do zdjęć, oświetlenie i wybuch odbywać się musi w przedziale 100 s. Impuls źródła światła przekazywano przy pomocy tyrystorowego detonatora uruchamianego undukcyjnie prądem ładowania źródła światła.

Poniżej podano schematycznie rysunki przedstawiające ujęcia analizowąnych zdjęc.

kys. 11 obrazuje izochromy powstałe w różnych momentach wybuchu mikroładunku o długości 1 cm przedstawiając 8 charakterystycznych stanów z 40 ujęć. Podobne fazy przedstawiono na rys. 12 przy wybuchu ładunku o długości 2 cm przy dwukrotnie większej energii w porównaniu z ładunkiem poprzednim.

Rys. 13 ukazuje wpływ ładunku o długości 4 cm.

W wyniku szczegółowej analizy stwierdzono, że:

a) szczytowe wartości naprężeń układają się zawsze w płaszczyźnie pro-Opadłej do podłużnej osi ładunku,











27



Modelowe badania zjawisk mechaniki skał

b) naprężenia szczątkowe w materiale modelu informują również o punktach maksymalnego wytężenia prostopadle do osi pionowej przekroju owalu wywołanego przez wybuch, dając obraz w formie zżelowanej,



Rys. 19. Stan końcowy w świetle spolaryzowanym (widok z góry) dla przypadku modelu walcowego o ładunku $\frac{1}{d} = 16$ c) przez wzrost długości ładunku zwiększa się zasięg pustki i strefy szczelinowatej. Jednak za wcześnie jeszcze na formułowanie praw rządzących tymi zjawiskami.

Rys. 14 - przedstawiono proces tworzenia się strefy szczelin w czasie. Dalej przedstawiono kilka zdjęć modeli w fazach końcowych. Można na nich wyraźnie dostrzec obszary szczelin i spękań jak również strefy krytycznych naprężeń powstałych w wyniku wybuchu.

Rys. 15 obrazuje stan końcowy utormowany w wyniku wybuchu ładunku długości 1 cm, a rys. 16 podobny stan dla ładunku długości 4 cm. Rys. 17, 18, 19 ukazuje modele walców.

Rys. 17 i 18 ujmuje walce w pozycji pionowej, natomiast rys. 19 obrazuje ujęcie górnej płaszczyzny.

W pierwszym przypadku długość ładunku wynosiła 1 cm, w drugim 4 cm.

Na zewnątrz strefy szczelin i spękań wyraźnie widoczne są punkty kon-

centracji naprężeń. Łatwe do rozróżnienia są również radialne szczeliny powstałe na skutek naprężeń rozciągających.

Przeprowadzone badania należy traktować jako jedną z faz badawczych tego problemu, dlatego też jest zbyt wcześnie na wyciąganie definitywaych wniosków. Mimo to główne wyniki uzyskane z badań zgodne są z założeniemi teoretycznymi i praktycznymi.

Należałoby jeszcze raz podkreślić w tym przypadku niezbęjną roly sodelowych badań w poznawaniu naukowych procesów. Model podobnie jak wszystkie formuły koncepcyjne stanowi pewną abstrakcję. Dlatego też posługiwanie się nim jest istotne dla końcowych sformułowań idei i związków naukowych.

Strefa zjawisk, dla których stosowano badania modelowe jest dostatecznie szeroka i pozwala na rozeznania bardziej złożone.

Dlatego też uważam skromnie, że mimo wszystko w przeprowadzonych badaniach przyczyniono się do poszerzenia dziedziny znajomości ogólnej przedmiotu wydającego się pozornie znanym. LITERATURA

- MARTOS F.: Fejtesekkel kapcsolatos kozentyomas es kozetmozgas vizgalata modellezes ujtan. Banyaszati Lapok Vol. 87 No 4 (1954) p.169-182.
- [2] MARTOS F.: A foldalatti koncentriacio kialakitasanak lehetosegei es feltetei a hazai szenbanyaszatban. Banyaszati Lapok Vol. 96 No. 11 (1963) p. 827-831.
- [3] MARTOS F.; ZOLTAN T.: Nehany adat a mellekkozetek es a biztositoszerkezetek egyutmokodesenek torvenyszerusegeihez. Benyaszati Lapok, Vol. 97 No 11 (1964) p. 736-741.
- [4] MARTOS F.: A szilars asvanybanyaszat hatasa a felszinre es a felszinkozeli aramlasara.
 2° Enquete d'Ecoulement des Materiaux et d'Energie, Budapest, 1971, Akademiai Kiado 1972 p. 149-175.
- [5] MARTOS F.: Fold alatti nagyrobbantasok nehany kozetmechanikai es robbantastechnikai problemaja. BKL BANYASZAT Vol. 105 nr 9 (1972) p.557--580 (Conference tenue a la seance du 11 mai 1972 de la Section des Sciences Geologiques et Minieres de Academie des Sciences de Hongric).

ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛЯХ ЯВЛЕНИЙ МЕХАНИКИ ПОРОД

Резюме

Образование в ненарушенном, неоднородном и анизотропном горном массиве системы пустоты, образующей переменное состояние напряжений во времени и пространстве, приводят, окружая, горный массив к некоторым предельным величинам перемещений и его выдержки на растяжение. Знание проблем управляющих этими явлениями, это один из основных условий процесса технико-экономической оптимализации в аспекте безопасной разработки месторождения. Измерения и подземные наблюдения обязательны, но недостаточны, а и аналитические исследования тоже в какой-то степени ограничены.

Синтез зависимости теоретических и практических результатов, можем в какой-то степени получить, пользуясь исследованиями на моделях из эквивалентных материалов.

Автор указывает, какие возможности и условия математического и физического моделирования симуляции явлений механики горного массива. Описывает постоянные, которые могут определять условия подобия. Даёт указания для моделирования явлений деформации и перемещений в выработках круглого сечения с крепью и без крепи, как и условия напряжения, перемещения и обрушения породы вокруг выработок. Даёт результаты первых испытаний на моделях выполненных на основе условий локализации пустоты и исследований контролированного завала после выемки залежи. MODEL INVESTIGATIONS OF ROCK MECHANICS PHENOMENA

Summary

In intact, heterogeneous, and anisotropic rocks there forms underground void system which evokes a variable stress state in time and space causing the burrs (rocks) to reach certain boundary displacement values and their tensile strength. The knowledge of forces governing these phenomena is one of the basic conditions necessary in the process of technical and economical optimization as far as the aspect of safe seam working is concerned.

The underground measurements and observations are necessary but insufficient; the analytical studies, however, are also limited to a certain extent. The synthesis of dependences between theoretical and practical results may be achiewed to a certain extent utilising the investigations of models of equivalent materials.

The author points to the possibilities and modelling conditions of mathematical and physical simulation of rock mechanics phenomena. He describes invariants which may constitute similarity conditions. The author also gives recommendations for modelling the phenomena of deformation and displacements in the workings with circulary cross - section with or without lining as well as the conditions of effort displacement, and falling of rocks surrounding a working. He also presents the results of first model tests made in terms of mining void location investigations and the investigations of controlled caving after working out a seam.