

Marcin Borecki

PODSTAWOWE MODELE MECHANICZNE WSPÓŁPRACY GÓROTWÓR-OBUDOWA
KAPITAŁNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH W WARUNKACH CIŚNIEN DEFORMACYJNYCH

Streszczenie. W pracach badawczych z zakresu Mechaniki Budowy Obiektów Podziemnych szczególnie dużo uwagi poświęca się opracowaniu mechanicznych modeli współpracy gorotwór-obudowa kapitałnych wyrobisk górniczych. W referacie przedstawia się ocenę stanu badań w tej dziedzinie ze szczególnym uwzględnieniem dużych głębokości zalegania, charakteryzującym się wzmożonym ciśnieniem deformacyjnym. Modele sprężysto-plastyczne oddziaływania gorotwór-obudowa przy uwzględnieniu własności strukturalnych gorotworu oraz modele reologiczne, a szczególnie modele uwzględniające własność dziedzicznego pełzania skał, mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w projektowaniu i budownictwie górniczym na dużych głębokościach zalegania. Podkreśla się dużą przydatność empiryczno-analitycznych modeli współpracy oraz potrzebę przeprowadzenia kompleksowych badań nad określeniem reologicznych własności skał Górnośląskiego i Lubelskiego Zagłębia Węglowego.

Doświadczenia w zakresie budownictwa i eksploatacji wyrobisk górniczych na większych głębokościach zalegania wskazują, że ze zwiększaniem się głębokości stan kapitałnych i przygotowawczych wyrobisk ulega pogarszaniu się, powodując znaczny wzrost nakładów na ich utrzymanie. Często po wykonaniu remontu, a nawet kapitalnej przebudowy wyrobiska, deformacje w dalszym ciągu trwają. Zjawisko to jest w głównej mierze wynikiem niedostatecznej znajomości procesu przejawiania się ciśnienia górniczego na większych głębokościach oraz brakiem właściwych metod jego prognozowania.

Badania naprężeniowo-deformacyjnego stanu w skałach otaczających wyrobisko przeprowadza się w większości przypadków w oderwaniu od przebadania fizyko-mechanicznych własności skał otaczających wyrobisko i technicznych charakterystyk obudowy regulującej przemieszczenia skały w stronę wyrobiska. W konsekwencji mechanizm współpracy obudowy z gorotworem jest niedostatecznie poznany i niewłaściwie określony.

W większości analitycznych rozwiązań stanów naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk górniczych [1] przyjmuje się jako podstawę rozważań opis skał gorotworu jako ciągłych sprężystych ośrodków, a tylko w rzadkich przypadkach rozwiązywane są zadania naprężeniowe przy traktowaniu gorotworu jako sprężysto-plastycznego, względnie sprężysto-dziedzicznego ośrodka, przy czym z reguły nie uwzględnia się anizotropii własności fizyko-mechanicznych skały. Również deformacje pełzania skały będące podstawowym parametrem kształtującym wzrost ciśnienia górniczego na obudowę wyrobisk,

szczególnie na większych głębokościach, są pomijane, względnie opisywane modelami, które tylko jakościowo określają zjawisko pęcznienia. W ostatnich latach pojawiły się w literaturze górniczej analityczne rozwiązania, w których zastosowane modele pozwalają z pewnym stopniem przybliżenia opisywać zachowanie się skał górotworu przy wykorzystaniu teorii reologii oraz metod teorii dziedzicznego pęcznienia.

Szczególne rolę w naświetleniu poruszonych zagadnień spełniają badania empiryczne na modelach i w kopalniach, które zmierzają do określenia empirycznych zależności pomiędzy naturalnymi i górniczo-technicznymi parametrami. Niedostatek rozwiązań empiryczno-analitycznych polega jednak na zbyt wąskiej ograniczonej zakresu warunków górniczo-technicznych, dla których może być odnoszony [2], [3].

W mechanice budowy obiektów podziemnych przy analizie współpracy górotworu z obudową wyrobisk górniczych stosuje się, tzw. mechaniczne modele - stanowiące obliczeniowe schematy współpracy, których analiza matematyczna pozwala określić ilościowo podstawowe parametry dla każdego konkretnego przypadku stanu naprężeniowo-deformacyjnego w układzie górotwór otaczający - obudowa górnicza. Wybór mechanicznego modelu stanowi na obecnym etapie rozwoju mechaniki budowy obiektów podziemnych główną istotę teoretycznych badań.

W odróżnieniu od fizycznego modelowania, gdzie budowę modelu determinują zależności określane teorią podobieństwa, mechaniczne modelowanie wymaga złożonych badań teoretycznych oraz empirycznych.

Przeanalizujemy stan badań w tej dziedzinie stanowiącej istotny rozdział mechaniki budownictwa podziemnego, przy czym szczególnie podkreślone zostaną nowoczesne kierunki badań uwzględniające zjawisko ciśnienia deformacyjnego występującego na większych głębokościach eksploatacji.

Można wydzielić trzy zasadnicze grupy mechanicznych modeli współpracy obudowy górniczej z górotworem otaczającym wyrobisko górnicze, odpowiednio do trzech najogólniej wydzielonych kierunków analitycznych badań zjawiska ciśnienia górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych.

Wspomniane trzy grupy mechanicznych modeli współpracy proponuje się określić następująco:

- GRUPA I - Mechaniczne modele współpracy opisujące statyczne (siłowe) oddziaływanie górotwór-obudowa.
- Grupa II - Mechaniczne modele współpracy opisujące sprężyste oddziaływanie górotwór-obudowa.
- Grupa III - Mechaniczne modele współpracy opisujące deformacyjne oddziaływanie górotwór-obudowa, z wydzieleniem dwu podgrup:
 - IIIA - Bez uwzględnienia własności pęcznienia skały. Grupa modeli sprężyste-plastycznego oddziaływania górotwór-obudowa.
 - IIIB - Z uwzględnieniem własności pęcznienia skały. Grupa modeli reologicznych. Do tej grupy należą modele bazujące na metodach teorii reologii oraz teorii dziedziczności Boltzmann-Volterry.

W literaturze radzieckiej [4] spotyka się inny podział, uwzględniający nieco inne założenia. W przedstawionym wyżej układzie przyjęto jako kryterium podziału mechanizmu oddziaływania skały otaczającej wyrobisko na jego obudowę przy traktowaniu górotworu jako ośrodka ciągłego. Nie uwzględniono możliwych rozwiązań dla górotworu jako ośrodka sypkiego. Znane są w tym zakresie prace badawcze (J. Litwiniszyn i inni) rozpatrujące górotwór jako ośrodek luźny i opisujące jego zachowanie przy wykorzystaniu metod statyki matematycznej. Należałoby w przyszłości przyjąć jeszcze IV grupę modeli współpracy i dopracować odpowiednie rozwiązania dla ośrodków sypkich.

1. Mechaniczne modele współpracy siłowego (statycznego) i sprężystego oddziaływania (Grupa I i II)

Modele statycznego współdziałania górotwór-obudowa obejmują modele mechaniczne bazujące na hipotezach opisujących mechanizm ciśnienia górnich na obudowę jako statyczne (aktywne) oddziaływanie odprężonych skał otaczających wyrobiska na ich obudowę.

Najbardziej uogólniającym modelem tej grupy może być mechaniczny model oddziaływania skały odprężonej, określony w literaturze radzieckiej jako "model sztywno-plastyczny" [4]. Charakteryzuje on taki przypadek współpracy górotworu z obudową kiedy oddziaływanie skał strefy odprężonej, wytworzonej wokół wyrobiska, znacznie przewyższa oddziaływanie masywu nieodprężonego, które może być dlatego pominięte w rozważaniach. Przemieszczenia skały do wyrobiska są wynikiem jej własnego ciężaru. Masyw górotworu za granicą strefy odprężonej nie bierze praktycznie udziału we współpracy z obudową, może więc być traktowany jako sztywny. Schemat obliczeniowy modelu przypisuje strefie odprężonej cechy strefy plastycznej.

Obciążenie obudowy jest wywołane ciężarem skały przemieszczającej się do wyrobiska wielkość obciążenia obudowy P uzyskuje się przez rozwiązanie równania równowagi elementarnej objętości skały położonej w pionowej osi przekroju wyrobiska, przy założeniu spełnienia warunku Coulomba-Mohra na granicy strefy sprężysto-plastycznej.

Ogólne rozwiązanie, przy przyjęciu niespoistości materiału ($k = 0$) w strefie odprężonej, przedstawione jest we formie:

$$P = \gamma \cdot R \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{\sin \varphi - 1} \quad (1)$$

gdzie:

- P - obciążenie obudowy,
- γ - ciężar objętościowy skał,
- R - promień wyrobiska,
- φ - kąt tarcia wewnętrznej skały.

Wielkość obciążenia obudowy jest niezależna od mechanicznej charakte-

rystyki obudowy i od technologii jej wykonania, jak również jest niezależną od głębokości. O wielkości obciążenia decyduje jedynie szerokość wyrobiska (R) oraz w ograniczonym stopniu kąt tarcia wewnętrznego skały φ . Do tej grupy modeli współpracy należą rozwiązania wykorzystujące hipotezę sklepienia ciśnienia według schematów Protodiakonowa, Sałustowicza, R. Kwapika, P.M. Cymbarewicz i innych oraz hipotezę spełzania skał stropowych według A. Birbeumera, K. Terzaghi i innych, jak również według rozwiązania Berezancewa, rozwiązania dla szybów N.S. Bułyczewa i szeregu innych badaczy przyjmujących założenie statycznego obciążenia obudowy. Zależność przedstawiona w równaniu (1) stanowi najogólniejszą formę rozwiązania wszystkich przytoczonych hipotez tej grupy.

Rozwiązania systemów obliczeniowych współpracy obudowy z górotworem uzyskiwane przy zastosowaniu modeli mechanicznych tej grupy uwzględniające jedynie statyczne obciążenie obudowy, mają wąskie zastosowanie w nowoczesnym budownictwie górniczym, a szczególnie na większych głębokościach eksploatacji charakteryzujących się wszechstronnym ciśnieniem deformacyjnym.

Podstawę teoretyczną dla schematów obliczeniowych II grupy modeli współpracy opisujących sprężyste oddziaływanie górotworu przy wykorzystaniu metody teorii sprężystości, przy założeniu zarówno jednorodności i izotropowości ośrodka, jak również przy założeniu anizotropowości (ośrodki ortotropowe, transversalnie-izotropowe).

Podkreślić należy szczególnie prace G.H. Sawina (1931 r) i S.G. Lechnickiego (1938 r) oraz późniejsze opracowania Sałustowicza i innych. Uzyskane rozwiązania, przy założeniu wprowadzenia obudowy natychmiast po odkryciu skały w przodku wskazują na zależność obciążenia obudowy od głębokości oraz od własności wytrzymałościowych (grubość, moduł sprężystości) obudowy wyrobiska. Opracowania te odegrały poważną rolę w rozwoju teoretycznych metod obliczeń stanu naprężeniowo-deformacyjnego wokół wyrobisk drażnionych w skałach jednorodnych i zwiezłych.

Sprężysty model współpracy może być wykorzystywany dla określania współpracy obudowy z górotworem w przypadkach kiedy skała w najbliższym otoczeniu wyrobiska nie jest w pełni odprężona, względnie kiedy wyrobisko obudowane ulega wpływowi drażenia wyrobiska sąsiedniego albo wpływom robót wybierkowych. Podkreślić należy również inne, szczególne przypadki zastosowania tego modelu współpracy, jak:

- o określanie charakteru współpracy obudowy z górotworem w przypadkach niejednorodności górotworu,
- określanie zależności naprężeń normalnych i stycznych na kontakcie obudowa-skała,
- określanie charakteru współpracy górotwór-obudowa wyrobisk o przekroju niekożowym.

Analiza sprężystego modelu współpracy wykorzystana została w metodzie N.N. Fetijewoj [6] obliczania obudowy zamkniętej nieokrągłego przekroju

dla wyrobisk korytarzowych. Prace analityczne i eksperymentalne w tym zakresie są kontynuowane w ostatnich latach, również prowadzi się badania w polskich ośrodkach naukowych, jak np. zastosowanie eksperymentalnych metod elasto-ptycznych dla określania stanów naprężeniowych w otoczeniu wyrobisk, zastosowanie cyfrowych metod obliczania, a szczególnie metody elementów skończonych w określaniu stanów naprężeniowych i deformacyjnych.

Reasumując należy jednak podkreślić możliwość zbyt wąskiego wykorzystania sprężystych modeli współpracy dla rozwiązania stanu naprężeniowo-deformacyjnego wokół wyrobisk górniczych w karbońskich uwarstwionych skałach osadowych, dla których charakterystyczne są niesprężyste deformacje, przebiegające w czasie, tym bardziej na większych głębokościach eksploatacji.

2. Mechaniczne modele współpracy deformacyjnego oddziaływania górotwór - obudowa

Stany naprężeniowo-deformacyjne wytwarzające się wokół wyrobisk górniczych na większych głębokościach z dostatecznym przybliżeniem opisują mechaniczne modele współpracy obejmujące modele deformacyjnego oddziaływania górotwór-obudowa.

Bazą wyjściową mechanicznych modeli współpracy tej grupy jest hipoteza deformacji. Zgodnie z hipotezą ciśnienie obudowy wyrobiska jest rezultatem przemieszczenia (deformacji) konturu wyrobiska, które w określonym momencie czasu wchodzi w kontakt z obudową powodując dalszy stały wzrost reakcji obudowy, aż do ustanowienia się równowagi. W zależności od konstrukcji i materiału obudowy, a także od momentu założenia obudowy w przodku stan równowagi obudowa-górotwór, może być uzyskiwany przy różnych wielkościach ciśnienia skały na obudowę. W zależności od uwzględnienia lub pomijania własności pełzania skały proponujemy wyróżnić dwie podgrupy modeli deformacyjnych, a mianowicie:

- modele sprężysto-plastycznego oddziaływania górotwór-obudowa, oraz
- modele reologiczne.

3. Modele sprężysto-plastycznego oddziaływania górotwór-obudowa Podgrupa IIIA

Podstawowym rozwiązaniem tej grupy jest model sprężysto-plastyczny współpracy górotwór-obudowa, przyjmuje on górotwór jako ośrodek jednorodny izotropowy bez uwzględnienia własności pełzania. Opisuje on takie przypadki współpracy górotworu z obudową wyrobiska, kiedy niesprężyste deformacje skały wokół wyrobiska, nie powodując naruszenia ich ciągłości, odkształkają się bez spękania.

Pierwszy model typu sprężysto-plastycznej współpracy górotworu z obudową wyrobiska (szybu) przedstawił i opracował R. Fenner w 1938 r., rozpatrując górotwór jako ośrodek niespoisty ($k=0$) z tarciem wewnętrznym [7]

H. Labasse uogólnił rozwiązanie Fennera na górotwór posiadający określoną spoiistość ($k \neq 0$) [8].

Rozwiązanie dla określania wielkości obciążenia obudowy otrzymało formę:

$$p = (\lambda \cdot \gamma \cdot H + k \cdot \operatorname{ctg} \varphi)(1 - \sin \varphi) \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)^\alpha - k \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (2)$$

Rozwiązanie Fenner - Labasse znalazło szerokie zastosowanie w praktyce i w dalszych badaniach.

Znaczny postęp w badaniach sprężysto-plastycznych modeli współpracy nastąpił dzięki pracom K.W. Ruppeniejta. Jego badania wykorzystujące hipotezę nieściśliwości skały w strefie plastycznych deformacji oraz warunki ciągłości przemieszczeń na granicy odkształceń sprężysto-plastycznych, pozwoliły na sformułowanie zależności określającej wielkość obciążenia obudowy w zależności od przemieszczeń skały na konturze wyrobiska [9].

Tę zależność można przedstawić w następującej formie:

$$p = (\lambda \cdot \gamma \cdot H + k \operatorname{ctg} \varphi) \frac{\beta+1}{2} \left(\frac{R}{2G_u} \sin \varphi\right)^{\frac{\alpha}{2}} - k \operatorname{ctg} \varphi \quad (3)$$

Oznaczenia przyjęte w równania (2) i (3):

- p - obciążenie obudowy,
- λ - współczynnik ciśnienia bocznego w górotworze niensruszonym.
Autorzy zalecają $\lambda = 1$ dla większych głębokości.
- γ - ciężar objętościowy,
- H - głębokość zalegania,
- k - współczynnik spoiistości skały,
- φ - kąt tarcia wewnętrznego,
- $\alpha = \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$
- R - promień wyrobiska,
- G - moduł sztywności obudowy.

Według Ruppeniejta ciśnienie górotworu na obudowę zależy od głębokości założenia wyrobiska, podatności obudowy, przekroju wyrobiska oraz fizyko-mechanicznych własności skały. Jednak przyjęte założenie ciągłości przemieszczeń na granicy sprężysto-plastycznych odkształceń opisuje tylko takie realne skały, które w pobliżu kontura wyrobiska nie ulegają spękanom. Poza tym schemat obliczeniowy modelu nie uwzględnia peźnienia górotworu. Z tych względów rozwiązanie umożliwia uzyskanie wyników zbliżonych do rzeczywistości w wąsko określonych warunkach geomechanicznych w skałach możliwie jednorodnych i skłonnych do plastycznych odkształceń.

Na podkreślenie zasługuje empiryczno-analityczne rozwiązanie modelu sprężysto-plastycznego według Z. Zasławskiego przy wykorzystaniu wyników badań przeprowadzonych w kopalniach Zagłębia Donieckiego. Wykorzystując znane w literaturze rozwiązania sprężysto-plastycznego zadania przy warunku idealnej plastyczności w strefie niesprężystych deformacji i wprowadzając w to rozwiązanie empiryczne współczynniki otrzymane w kopalniach donieckich, uzyskał Zasławski zależności pozwalające obliczać radialne przemieszczenia skał na konturze kapitalnych wyrobisk poziomych oraz podporność obudowy w zależności od przemieszczeń ociosów wyrobiska i podatności obudowy [10].

Zaproponowane przez Zasławskiego zależności pozwalają na uzyskiwanie dostatecznej dokładności przy obliczeniu przemieszczeń i podporności podatnej obudowy wyrobisk kapitalnych w skałach średniej zwięzłości i zwięzłych ($R_c \geq 3000 \text{ N/m}^2$) w warunkach geomechanicznych kopalń donieckich. W pracach Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej podano adaptację rozwiązań Zasławskiego dla warunków Zagłębia Górnośląskiego [11].

Nasonow L.N. zaproponował empiryczno-analityczny model dla skał mniejszej zwięzłości typu gliniastych i ilastych łupków z zastosowaniem obudów sztywnych [12].

Analityczne rozwiązanie sprężysto-plastycznego modelu współpracy wyrobisk korytarzowych przedstawił A. Sałustowicz [13], określając ciśnienie na obudowę jako funkcję odkształcenia sprężystego i plastycznego jak również jako funkcję sztywności obudowy. J. Dziunikowski przedstawił rozwiązanie modelu sprężysto-plastycznego dla szybów [14].

Do omawianej podgrupy modeli należą również "s p r e ż y s t o k r u c h e m o d e l e w s p ó ł p r a c y" traktujące górotwór jako ośrodek idealnie kruchy, dla którego granica sprężystości odpowiada granicy wytrzymałości. Opisują one w dużym przybliżeniu zachowanie się skał karbońskich wokół wyrobisk górniczych posiadających właściwości zbliżone do skał kruchych. Jako podstawowe rozwiązanie modelu współpracy w tym zakresie można wskazać rozwiązanie M. Libermana [15] który przyjął założenie, że strefa zruszonej skały wokół wyrobiska odpowiada idealnemu ośrodkowi sypkiemu bez kohezji ($k=0$), przypisując mu kąt tarcia wewnętrznego równy kątowi strefy niezruszonej.

W przypadkach znacznych przemieszczeń skały spękanej do wyrobiska mogą wytworzyć się zjawiska sprzyjające powstawaniu zawałów skały zruszonej. Dla przeciwdziałania tym zjawiskom M. Liberman przyjął warunek określający optymalną wielkość obciążenia obudowy. Mianowicie nie może ono być mniejsze od ciężaru skały w strefie spękanej. W rezultacie takiego założenia otrzymał nieliniową zależność dla określenia optymalnej wielkości obciążenia obudowy.

Jądro jego równania określa minimalną wartość obciążenia obudowy.

Oceniając praktyczną przydatność mechanicznych modeli współpracy grupy sprężysto-plastycznego oddziaływania górotwór-obudowa, należałoby uwzględnić następujące uwagi:

- przytoczyliśmy tylko wybrane, charakterystyczne rozwiązania modeli z licznych opracowań szeregu badaczy (patrz [4]); pozostałe nie wnoszą dodatkowych istotnych zmian w określaniu podstawowych parametrów współpracy,

- przemieszczenia konturu wyrobiska obliczane na podstawie przedstawionych rozwiązań są równe na całym obwodzie wyrobiska, w wyniku przyjętego założenia, że granicę pomiędzy strefą sprężystą i strefą odkształceń niesprężystych stanowi około o określonym promieniu.

Liczne obserwacje i pomiary kopalniane wykazują, że przemieszczenia konturu na obwodzie wyrobiska są różne. Przemieszczenia w kierunku prostopadłym do uławicenia skał są dwa do pięć razy większe od przemieszczeń w kierunku uławicenia skał. Poza tym należy podkreślić, że wyliczone wielkości przemieszczeń są znacznie mniejsze od wielkości mierzonych w kopalni.

- głębokość strefy odkształceń niesprężystych wytwarzającej się wokół wyrobisk korytarzowych, zależy między innymi od fizyko-mechanicznych własności skał, głębokości zalegania, poprzecznego przekroju wyrobiska, kąta nachylenia warstw. Dla zilustrowania tego złożonego zjawiska przytoczę jako przykład wyniki pomiarów kopalnianych wykonanych w kopalniach donieckich w pojedynczych wyrobiskach korytarzowych zlokalizowanych na większych głębokościach w skałach uwarstwionych.

Otóż głębokość strefy skał zruszonych wynosi 8-12 m w kierunku prostopadłym oraz 3-6 m w kierunku równoległym od uławicenia. W skałach zwięzłych głębokość strefy jest znacznie mniejsza i jej kształt zbliża się do kształtu koła.

- wielkości parametrów określające kohezję (k) oraz kąt tarcia wewnętrznego (φ) są określane na podstawie badań na jednoosiowe ściskanie próbek skał monolitycznych. Podczas, gdy w strefie odkształceń niesprężystych wokół wyrobiska korytarzowego skały znajdują się w stanie zruszonym przy zachowaniu objętościowego stanu naprężenia.

Dla przybliżenia wyników do rzeczywistości należałoby te wielkości określać, albo na drodze pomiarów w kopalniach, albo na drodze badań próbek skalnych w warunkach trójosiowego stanu naprężeń wg (np. schematu Chobbsa).

- Jak już wyżej wspomniano rozwiązania tej podgrupy modeli nie uwzględniają własności pełzania skały; określają one wielkości graniczne parametrów, bez kalkulacji wpływu czasu na ich kształtowanie się.

Przytoczone uwagi charakteryzujące niedokładność prezentowanych metod określania podstawowych parametrów współpracy zostały uwzględnione w pewnym stopniu w rozwiązaniu W.T. Głuszko, który badał określenie podatności i obciążenia obudowy kapitalnych wyrobisk z uwzględnieniem szczelinowości skały. Na bazie rozwiązania Rupieniejta przedstawił on [16] anali-

tyczno-empiryczną zależność dla określania wielkości przemieszczeń konturu wyrobiska w zależności od nachylenia warstw skalnych oraz od głębokości strefy spękań, wprowadzając odpowiednie empiryczne zależności.

Przemieszczenie konturu wyrobiska z uwzględnieniem strefy spękanych skał proponuje określać według następującej zależności:

$$U = \frac{\alpha \cdot R}{4 \cdot d} (P + K \operatorname{ctg} \varphi) (r_0^2)^{\frac{\alpha+2}{2}}, \quad (4)$$

gdzie:

obok znanych określeń:

$$r_0 = r_0 \cdot f(\theta),$$

r_0 - głębokość strefy spękania,

$f(\theta)$ - funkcja określana empirycznie zależna od współczynnika charakteryzującego zmienność granicy strefy spękania skały wokół wyrobiska. Wartość jego określona została na podstawie pomiarów dla skał gliniasto-piaszczystych łupków na większych głębokościach zalegania jako $n = 2,4$, co oznacza, że głębokość strefy spękań prostopadle do uwarstwienia jest 2,4 razy większa od głębokości strefy równoległe do ukławicenia.

Propozycja rozwiązania modelu współpracy według W.T. Głuszko przy uwzględnieniu wpływu szczelinowatości skały na kształtowanie się parametrów współpracy, przybliży znacznie schemat obliczeniowy modelu do rzeczywistych warunków. Wskazuje jednak na potrzebę przeprowadzenia złożonych badań in situ i eksperymentalnego określenia niezbędnych parametrów dla różnych układów geotechnicznych.

Reasumując ocenę przydatności i współpracy modeli mechanicznych grupy sprężysto-plastycznego oddziaływania górotwór-obudowa zarówno, przy przypisywaniu strefy niesprężystych odkształceń cech strefy plastycznej według założeń Rupieniejta oraz idealnie plastycznej, względnie sypkiej według innych badaczy należy podkreślić przyjmowanie daleko idących uproszczeń dla opisanego zachowania się realnego masywu skalnego. Otrzymane wyniki obliczeń zbytnio różnią się od rzeczywistych wielkości zalegania, stopnia ukławicenia i nachylenia warstw skalnych oraz zróżnicowania ich własności fizyko-mechanicznych.

Mając na względzie możliwość szerszego wykorzystania tych rozwiązań w budownictwie górniczym postuluje się przeprowadzenie badań kopalnianych i modelowych celem określenia niezbędnych współczynników empirycznych w warunkach geomechanicznych określonych rejonów górniczych. Uzyskane na tej drodze empiryczno-analityczne modele współpracy uwzględniające możliwie do statecznie rzeczywiste parametry stanów naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk mogłoby wytworzyć dostatecznie dokładne podstawy prognozowania i obliczania parametrów współpracy górotwór-obudowa wyrobisk korytarzowych,

również na większych głębokościach zalegania, obok modeli reologicznych przystosowanych do rozwiązywania złożonych geomechanicznych zadań, o czym mówimy w następnym rozdziale.

Przykładem podobnych praktycznie rozwiązań modeli empiryczno-analitycznych mogą być modele współpracy Zasławskiego i Nasonowa opracowane dla kopalń Zagłębia Donieckiego.

W opracowaniach należałoby wykorzystać badania przedstawione w pracach W.T. Głuszko i innych badaczy, uwzględniających wpływ szczelinowatości na parametry współpracy.

Przeprowadzenie takiego zakresu badań ujęte jest w programie badań kompleksowych problemu "Metody i środki eksploatacji złóż na dużych głębokościach" na lata 1976-1978. Badania w tym zakresie są realizowane przez Instytut Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni - Politechnika Śląska.

4. Reologiczne oddziaływanie górotwór-obudowa Podgrupa IIIB

Zjawisko pełzania skał górotworu odgrywa szczególną rolę na większych głębokościach zalegania. Należy bowiem podkreślić, że wielkość odkształceń pełzania skał zależy w decydującym stopniu od wielkości przyłożonych obciążeń, których wartość jest związana bezpośrednio z głębokością zalegania. Jak dowodzą liczne obserwacje oraz rozważania teoretyczne górotwór pełza już na niewielkich głębokościach. W miarę wzrostu wielkości naprężeń, ze wzrostem głębokości zalegania, pełzanie intensyfikuje się coraz bardziej, odkształcenia pełzania sięgają coraz to większych wartości przekraczających często znacznie wartości odkształceń początkowych (dla $t=0$). Przemieszczające się skały wywierają na obudowę ciśnienia deformacyjne.

W tych warunkach koniecznością staje się jakościowo odmienne podejście do badań analitycznych nad określaniem stanów naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk.

Szerokie zastosowanie w tych badaniach znalazły metody, wywodzące się z teorii ośrodków ciągłych, uwzględniające w coraz szerszym zakresie, specyficzne własności skał i górotworu zarówno mechaniczne i reologiczne jak i strukturalne (anizotropia).

Na podstawie teorii sprężystości, plastyczności i reologii oraz teorii dziedzicznego pełzania skał powstało szereg rozwiązań stanu naprężenia i odkształcenia górotworu wokół wyrobisk korytarzowych - dla warunków przejawiających się w masywie górotworu na większych głębokościach we formie wzmoczonych przemieszczeń i płynięcia (pełzania) skały ku wyrobiskom.

Zjawiska te uwzględniają modele współpracy górotwór-obudowa wykorzystujące w swoich schematach obliczeniowych metody teorii reologii oraz teorii pełzania skał lepko-sprężystych względnie lepko-plastycznych.

Model e t e m o ż n a n a z w a ć r e o l o g i c z n y m i m o d e l a m i w s p ó ł p r a c y .

W modelu tego typu współpracy modeluje się górotwór za pomocą ośrodka o własnościach peźzania, natomiast obudowę jako sztywną, sprężystą albo też posiadającą własność peźzania (w zależności od realnego rozwiązania). Jako reologiczne modele górotworu może być wykorzystany szeroki arsenał ośrodków reologicznych (np. ośrodek Maxwela, Kelwina, Poyntinga-Thomsona i innych). Proponowane w tym zakresie obecnie w literaturze metody obliczeń nie zawsze mają dostateczną podbudowę teoretyczną.

Ograniczamy się do rzpatrzenia dwu grup modeli reologicznych współpracy górotwór-obudowa, a mianowicie:

- modele mechaniczne - wykorzystujące liniowe modele reologiczne,
- modele mechaniczne, bazujące na metodach teorii peźzania dziedzicznego.

Modele reologiczne współpracy górotwór-obudowa nie mogą być traktowane jako uniwersalne. Mogą być stosowane dla analizy określonych zjawisk w określonych warunkach i czasie. Uzasadnione jest stosowanie modeli reologicznych dla analizy wpływu procesów technologii wykonania wyrobiska na przebieg obciążenia obudowy w początkowym okresie jego trwania, względnie dla analizy takich procesów deformacji i współpracy obudowy z górotworem, które trwają przez cały okres istnienia wyrobiska, względnie dla innych tego typu zjawisk. Natomiast dla analizy zanikających w czasie procesów współpracy górotwór-obudowa wyrobisk kapitalnych, których okres istnienia jest z reguły dostatecznie długi, obliczanie parametrów można dokonywać dla wartości granicznych bez uwzględnienia czynnika czasu np. w oparciu o modele sprężysto-plastyczne Grupy III-A.

Obecnie scharakteryzujemy wymienione wyżej grupy modelami reologicznych oraz możliwości ich zastosowania praktycznego:

5.A. Modele mechaniczne bazujące na liniowych modelach reologicznych (Ośrodki sprężysto-lepkie i lepko-plastyczne)

W oparciu o standardowe dla teorii mechaniki ośrodków ciągłych, równania statyczne i geometryczne oraz określone równaniem stanu modelu reologicznego (Maxwela, Kelwina, Poyntinga-Thomsona, Bingham-Szwedowa) równania fizykalne rozwiązane zostało przez szereg badaczy (Sałustowicz, Maksymow, Filcek i inni). Zadania określenia stanu naprężeniowo-deformacyjnego górotworu w sąsiedztwie wyrobiska korytarzowego z uwzględnieniem czynnika czasu [17], [18], [19]. Również w pracach Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej przedstawiono rozwiązanie modelu reologicznego (Ośrodek Poyntona-Thomsona) wg M. Kwaśniewskiego [20], [11]. W oparciu o uzyskane rozwiązania stanu określone zostały parametry współdziałania obudowa-górotwór.

Należy podkreślić, że model reologiczny Poyntinga-Thomsona przyjęty w niektórych rozwiązaniach lepiej aproksymuje własności reologiczne większości skał osadowych niż inne modele.

Modele np. lepko-plastycznego peźzania (płynięcia) skał (Maksymow, Krzyżanowska, Sałustowicz) zakładają nieograniczoną peźzania w czasie. Do

tego typu skał mogą być zaliczone jedynie gliny. Zastosowanie tych modeli do skał karbońskich o lepisczku spoiwym nie może mieć w ogóle uzasadnienia. Poza tym, określenie współczynnika lepkości wymaga złożonych i pracochłonnych badań. Przy czym metoda jego określania nie jest jeszcze dostatecznie ściśle opracowana.

W pracy [11] Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni przedstawiono szeroką analizę tych rozwiązań oraz zalecenia co do możliwości ich wykorzystania. Należy jednak podkreślić, że na obecnym etapie rozwoju, przedstawione rozwiązania bazujące na liniowych ośrodkach Poyntinga-Thomsona, mogą być z powodzeniem wykorzystane dla jakościowej analizy wpływu czasu na kształtowanie się obciążenia obudowy w zależności od jej sztywności względnie wpływu opóźnienia obudowy (t_0) na charakter pracy obudowy tymczasowej i ostatecznej.

Poważnym niedostatkim tej grupy modeli reologicznych jest nieuwzględnienie czynników naturalnych i strukturalnych górotworu, które jak wiadomo z praktyki decydują o rozwoju stanów deformacyjnych wokół wyrobisk. Poza tym w rozważaniach nie uwzględnia się możliwości wytwarzania się strefy spękań i jej wpływu na kształtowanie się obciążeń obudowy.

Ceniając najogólniej należy podkreślić, że modele mechaniczne współpracy bazujące na liniowych modelach reologicznych mają na obecnym etapie raczej charakter rozważań modelowych. Brak stałych reologicznych skał tym bardziej podkreśla trudność wykorzystania praktycznego tych rozwiązań. Przeprowadzenie szerszych badań eksperymentalnych mogłoby powiązać rozwiązania modelowe z rzeczywistym stanem i na tej drodze mogłyby wyjaśnić możliwość i ewentualny zakres ich praktycznego zastosowania.

4.B. Modele mechaniczne bazujące na metodach teorii pełzania dziedziczne go (izotropowe i anizotropowe ośrodki lepko-sprężyste)

Badania ostatnich 20 lat wykazały, że pełzanie ciał rzeczywistych w tym także i skał, charakteryzuje się określoną zależnością wielkości odkształcenia w danej chwili od całej poprzedzającej historii ich odkształcania (obciążenia). Własność ta nazywa się dziedzicznością. Ogólne prawo liniowego odkształcenia ośrodków dziedzicznych przedstawia równanie stanu Boltzmana-Volterry.

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t \sigma(t) \cdot L(t-\tau) d\tau \right]$$

Funkcja $L(t-\tau)$ będąca jądrem równania całkowitego nazywa się jądrem pełzania dziedziczności. Jest funkcją charakterystyczną dla danego ośrodka, wyraża wpływ własności dziedziczności materiału na jego odkształcenie w chwili t .

Dobierając jądro pełzania, można za pomocą teorii dziedziczności w sposób najbardziej dokładny i pełny opisać proces odkształcania się materiałów w

czasie. Należy podkreślić, że teoria Boltzmana-Volterry obejmuje jako szczególne przypadki prawie wszystkie lepko-sprężyste ośrodki przedstawione w poprzednim podrozdziale. Uwzględniając poza tym własności nieliniowe materiałów, uważana jest za najlepszy model matematyczny górotworu.

Możliwość zastosowania teorii dziedzicznego pełzania (sprężystej dziedziczności) dla rozwiązania zadań mechaniki górotworu po raz pierwszy eksperymentalnie uzasadnił Z.S. Jerżanow [21]. Wykazał, że odkształcenie skał górotworu do określonego stopnia obciążenia odpowiada prawu liniowego pełzania dziedzicznego z jądrem pełzania we formie funkcji (typu Abela):

$$L(t, \tau) = \delta(t - \tau)^{-\alpha},$$

gdzie:

α, δ - stałe pełzania.

Rozwiązania Jerżanowa mają dziś w zasadzie znaczenie teoretyczne. Rozwiązuje on zadanie współpracy izotropowego sprężysto-dziedzicznego górotworu z obudową sztywną w poziomych wyrobiskach korytarzowych o kształcie łukowym, eliptycznym i okrągłym. Następcy Jerżanowa (W.T. Głuszko i inni) [21], [16] rozwiązali szereg praktycznych zadań współpracy obudowy z górotworem, w których uwzględnia się uwarstwienie skał wyrażające się w anizotropii własności fizycznych górotworu, fizyczną i geometryczną nieliniowość skał, jak również uwzględnia się technologię wykonania wyrobiska (czas założenia obudowy), różne kształty przekroju wyrobiska, nierówności konturu skały itp.

Trudność rozwiązywania zadań współpracy górotwór-obudowa metodami teorii pełzania dziedzicznego polega z jednej strony na złożoności rozwiązania analogicznych zadań dla sprężystego modelu oraz z drugiej strony, głównie na rozszyfrowaniu wyrażen operatorowych zgodnie z zasadą Volterra. Określenie operatorów czasowych (E) można zasadniczo uprościć wykorzystując funkcje pełzania (albo relaksacji) (δ). We wspomnianych opracowaniach podawane są nomogramy dla obliczenia funkcji pełzania osadowych skał niektórych Zagłębi ZSRR. Funkcje te można też obliczać bezpośrednio na podstawie badań eksperymentalnych np. na drodze jednoosiowego ściskania próbek przy stałym obciążeniu.

Podajemy niektóre przykłady wykorzystania funkcji pełzania dla rozwiązania modelu współpracy obudowy z górotworem posiadającymi cechy liniowego pełzania dziedzicznego:

- obliczenie statycznego ciśnienia podziemnych wód na obudowę szybu,
- ciśnienie na obudowę szybu wierconego (wprowadzenie obudowy do współpracy poprzez tamponaż przestrzeni w obudowę z interwałem czasowym t_2 po zwierceniu szybu),
- ciśnienie na monolityczną obudowę kapitalnych wyrobisk poziomych (przekrój okrągły i inne),

- ciśnienie na segmentową (ośmio-blokową) obudowę z przekładkami między segmentami dla wyrobiska korytarzowego o przekroju okrągłym, kontakt obudowy ze skażą luźny, bez tarcia.

Oceniając praktyczną możliwość wykorzystania przedstawionych rozwiązań bazujących na modelach dziedzicznego pełzania skał należy podkreślić, że może ona zaistnieć tylko w przypadku znajomości reologicznych własności górotworu. Droga do poznania tych własności wiedzie jedynie przez laboratoria badawcze i w uzupełnieniu - pomiary kopalniane.

Niestety, z różnych powodów, przy czym nie ostatnim będzie tu brak lub unikalność odpowiedniej aparatury badawczej - badania eksperymentalne nad określeniem parametrów reologicznych skał pozostają w Polsce bardzo daleko w tyle i nie nadążają za rozwojem coraz doskonalszych metod analitycznych opisujących zachowanie się górotworu w sąsiedztwie wyrobisk górniczych. Uniemożliwia to tym samym praktyczne wykorzystanie rozwiązań teoretycznych. Prawdziwe kompleksowe - zakrojone na szeroką skalę - badania nad pełzaniem skał osadowych (łupków ilestych i piaszczystych, aleorolitów, argillitów, piaskowców, wapieni itp.) prowadzone były jak dotąd jedynie w Związku Radzieckim (w szczególności w Zagłębiu Donieckim i Zagłębiu Karagandy) pod kierownictwem Instytutu Matematyki i Mechaniki Akademii Nauk Kazachskiej SRR i Instytutu Mechaniki Geotechnicznej Akademii Nauk Ukrainskiej SRR.

W Polsce badania nad własnościami reologicznymi skał prowadzone są w wąskim zakresie od wielu lat w Instytucie Mechaniki Górniczej AGH (H. Filcek, Z. Kłeczek, A. Jaskółska) i w mniejszym zakresie w Głównym Instytucie Górnictwa (A. Kidybiński). Szczegółowy przegląd i analiza aktualnego stanu badań eksperymentalnych nad własnościami reologicznymi skał osadowych dokonany został w opracowaniu Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni [23].

4. Podsumowanie

W podsumowaniu rozdziału należałoby zwrócić uwagę na fakt, że rozwój nauki nie poszedł w kierunku oczekiwanym, mianowicie opracowania jedynej teorii ciśnienia górniczego, która by objęła wszystkie możliwe przypadki jego przejawów. Różnorodność form współpracy górotwór-obudowa odzwierciedlona została szeregiem różnych mechanicznych modeli tego współdziałania. Wprawdzie należy wyraźnie podkreślić, że każdy model przedstawia (opisuje) jedynie szczególny przypadek, względnie jedno stadium (etap) współpracy realnego górotworu z obudową, umożliwiając wykorzystanie nowoczesnego aparatu matematycznego i metod mechaniki określonych wyidealizowanych ośrodków.

- Oceniając wyniki przedstawionych hipotez trzech grup mechanicznych modeli współpracy należy zaznaczyć, że otrzymanie zadowalających ilości wyników przy pomocy schematów obliczeniowych sformułowanych przez różnych badaczy, ograniczone jest niemożnością dokładnego określenia fizyko-me-

chanicznych właściwości skał w masywie na podstawie badań laboratoryjnych. Również należy uwzględnić fakt, że konkretne rezultaty rozpatrywanych metod mogą być jedynie mniej lub więcej przybliżone na skutek złożonej idealizacji rzeczywistego masywu skały.

- Wyżej już podkreślono, że mechaniczne modele I i II Grupy (modele sztywno-plastyczne i sprężyste) nie mają pełnego uzasadnienia do wykorzystania ich dla określania stanów naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk górniczych na większych głębokościach. Z największym stopniem przybliżenia stany te opisują mechaniczne modele Grupy III, opisujące deformacyjne oddziaływanie górotwór-obudowa.

- W grupie sprężysto-plastycznych modeli współpracy uwzględniający deformacyjne oddziaływanie górotwór-obudowa wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistości można uzyskać przy wykorzystaniu empiryczno-analitycznych rozwiązań (modele Zaskławskiego, Nasonowa). Rozwiązania Zaskławskiego w adaptacji Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni mogą być wykorzystane dla określania z dostatecznym przybliżeniem stanów naprężeniowo-deformacyjnych i obciążeń obudowy podatnej w wyrobiskach kapitalnych do głębokości około 1000 m w skałach złożonych z łupków ilastych i piaszczystych oraz ze średnio związłych piaskowców.

Podkreśla się przy tym potrzebę przeprowadzenia dodatkowych badań eksperymentalnych - postulowanych już przy omawianiu poszczególnych grup modeli - zmierzających do określenia współczynników empirycznych dla określonych rejonów górniczych.

- Wpływ czynnika czasu na kształtowanie się stanów naprężeniowo-deformacyjnych w układach górotwór-obudowa wyrobisk górniczych uwzględniają reologiczne modele współpracy. Mogą one znaleźć szerokie zastosowanie w budownictwie głębokich kopalniach. Przy tym szczególną uwagę pracowników badawczych i projektantów należy zwrócić na grupę modeli opisujących górotwór, jako ośrodek sprężysto-dziedziczny przy wykorzystaniu metod teorii pełzania dziedzicznego skał i uwzględnieniu anizotropii własności fizyko-mechanicznych skał górotworu.

- W trakcie omawiania poszczególnych grup mechanicznych modeli przedstawione zostały kierunki niezbędnych badań eksperymentalnych i analitycznych umożliwiających praktyczne wykorzystanie przedstawionych rozwiązań w pracach projektowych.

Ze szczególną ostrością należałoby podkreślić potrzeby przeprowadzenia kompleksowych badań eksperymentalnych i analitycznych nad własnościami reologicznymi skał osadowych naszych zagłębi węglowych i rud metali nieżelaznych oraz przeprowadzenie kompleksowych badań eksperymentalnych i analitycznych, zmierzających do opracowania praktycznych i wiarygodnych metod prognozowania podstawowych parametrów oddziaływania górotwór-obudowa w warunkach geomechanicznych charakterystycznych dla określonych rejonów naszych zagłębi przy uwzględnieniu anizotropowości własności fizycznych i strukturalnych górotworu oraz własności pełzania skał.

LITERATURA

- [1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika Górotworu. Wydawn. Śląsk. 1972 r.
- [2] Borecki M.: Podstawowe kryteria prognozowania stateczności wyrobisk kapitalnych "Ochrona przed zawałem skał". Katowice 1973.
- [3] Rułka K., Mateja J., Słoma I., Musiał J. "Obudowe wyrobisk korytarzowych i komorowych drażonych w trudnych warunkach górniczo-geologicznych". Materiały konferencyjne. Budownictwo Górnicze - Mysłowice 1973 r.
- [4] Bułyczew N.S. i współautorzy: Raszczot kriepi kapitalnych gornych wyrobotok. Moskwa 1974.
- [5] Bułyczew N.S.: Inżyniernyj metod rozczota dawlenija sypuczich parod na kriep stwoła. 1970 (Prace WNIMI).
- [6] Potiejewa N.F.: Napriażennoje sostojanije obdiełok tonnielej niekrugłowo śleczenija. 1971 - Moskwa.
- [7] Penner R.: Untersuchungen zur Erkenntnis des Gebirgsdruckes. "Gluckauf". 1938 r. Nr 32/33.
- [8] Labasse H.: Les pressions de terrains autour des puits - Revue Universelle des Mines - T.V. 1949. Nr 3.
- [9] Ruppieniejt K.W.: Niekatoryje waproxy mechaniki gornych porod. Moskwa, Ygletiechizdat - 1954 r.
- [10] Zasławskij J.: Badania przejawów ciśnienia górniczego w kapitalnych wyrobiskach głębokich Kopalń Zagłębia Donieckiego. Moskwa. Niedra. 1966.
- [11] Borecki M. - Praca Zespołowa: Kryteria współpracy układu obudowy górotwór-obudowa oraz metody obliczania podstawowych parametrów wzajemnego oddziaływania w wyrobiskach korytarzowych na dużych głębokościach. Politechniki Śląska. Instytut Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni. Gliwice 1974 r.
- [12] Nasonow L.N.: Isledowanije projawlenija gornowo dawlenija w gorizontalnych kapitalnych wyrobotkach ugołnych szacht Moskwa. 1965.
- [13] Sałustowicz A.: Zjawiska ciśnienia górotworu w świetle mechaniki ciężkoelastycznych. Biuletyn INBPW, Komunikat 35, 1948 r.
- [14] Dziunkowski I.L.: Stan napięcia i odkształcenia górotworu sprężystoelastycznego w sąsiedztwie szybu. Z.N.AGH Kraków 1964 r.
- [15] Liberman I.M.: Dawlenije na kriep kapitalnych wyrobotok. Moskwa, "Nauka". 1968.
- [16] Głuszko W.T.: Projawlenija gornowo dawlenija w głębokich szachtach - określenie podatności i obciążenia obudowy wyrobisk kapitalnych z uwzględnieniem szczelinowatości skał. A.N. ZSRR - Kijew 1973.
- [17] Sałustowicz A.: Górotwór jako ośrodek sprężysto-lepkli. PWN Warszawa 1958. Górotwór jako ośrodek Maxwella. Warszawa 1959.
- [18] Maksimow A.P.: Wydawliwanije gornych parod i ustojcziwost podziemnych wyrobotok. Moskwa 1963.

- [19] Filcek H.: Wpływ czasu na stan naprężenia i odkształcenia górotworu w sąsiedztwie wyrobiska chodnikowego. PWN Warszawa 1963.r.
- [20] Kwaśniewski M.: Stan naprężenia odkształcenia i przemieszczenia górotworu wokół szybu w oparciu o teorię plastyczności - Ośrodek Poyntinga-Thomsona - Zeszyty Problemowe Górnictwa.
- [21] Jerżanow Z.S.: Teoria poźuczestni gornych porod i jejo prikożenija - Nauka - M. 1964.
- [22] Głuszko W.T.: Ispytanije porod na poźuczestij. Gornyj Żurnał 1961.
- [23] Borecki M., Chudek M., Kwaśniewski M.: Podstawy teoretyczne i metodyczne badania własności reologicznych skał. Prace Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Pol.Śląska - 1975. Gliwice.
- [24] Małoszewski J., Rużka K., Wypchol N. "Wpływ współpracy obudowy z górotworem na jej podporność". Przegląd górniczy 1974 nr 2.

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ГОРНАЯ ПОРОДА С КРЕПЬ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ДАВЛЕНИЙ

Р е з ю м е:

В исследовательских трудах из области Механики строительства подземных объектов особенно много внимания уделяется обработкам механических моделей взаимодействия горная порода - крепь капитальных горных выработок. В докладе даётся оценка состояния исследований в этой отрасли с особым учётом больших глубин залегания, характеризующихся повышенным деформационным давлением. Упруго-пластические модели воздействия горная порода - крепь при учетывании структурных свойств горной породы, а также реологические модели, фа особенно модели учитывающие овойство наследственного выгорания пород, могут найти практическое променение в проектировании и горном строительстве на больших залегания. Надо подчеркнуть большую пригодность эмпирических и аналитических моделей взаимодействия, а также необходимость проведения комплексных исследований определения реологических особенностей пород Верхнеслезского и Любельского угольного бассейна.

FUNDAMENTAL MECHANICAL MODELS OF ROCK-MASS - LINING
COOPERATION IN MINING WORKINGS, UNDER DEFORMING PRESSURE
CONDITIONS

S u m m a r y

In research investigations devoted to the problem of mechanics' construction of underground objects, particular attention has been turned on the elaboration of mechanical models of rock-mass - lining cooperation in mining workings.

The paper presents an estimation of investigations in this field, taking into special consideration deep depths of deposits, which are characterized by an increased deforming pressure.

Elastic-Flexible models of rock-mass lining interaction, taking into account structural properties of rock-mass, and rheological models, which take into account the hereditary ruckscreep, may be practically applied in designing and construction of coal-mines with deep lying deposits.

The paper emphasises a great usability of empirical-analytical cooperation models and the need of conducting complex research investigations on the rheological properties of rocks in Upper Silesia and Lublin Coal Basins.