

Kazimierz PODGÓRSKI**Stanisław DUŻY****Henryk KLETA**Instytut Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego
i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice**KOMPUTEROWY SYSTEM DO OCENY
WARUNKÓW TECHNICZNO–GEOMECHANICZNYCH
UTRZYMANIA KAPITAŁNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH**

Streszczenie. W artykule przedstawiono opracowany komputerowy system do oceny warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania kapitałnych wyrobisk górniczych. Ocenę warunków utrzymania, w opracowanym systemie, można przeprowadzić na podstawie metod analitycznych oraz numerycznych. Wykorzystane metody analityczne obejmują zalecane i obowiązujące za sprawą aktów normatywnych lub wytycznych metody obliczeniowe, a w przypadku gdy pewne zagadnienia nie są objęte aktami normatywnymi, wykorzystano rozwiązania własne, opracowane w Instytucie Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Modelowanie numeryczne można realizować za pomocą programów "COSMOS" (metoda elementów skończonych) oraz "BEASY" (metoda elementów brzegowych).

COMPUTER SYSTEM FOR EVALUATION OF TECHNOGEOMECHANICAL CONDITIONS OF MAIN ROADS MAINTENANCE

Summary. The paper presents elaborate computer system for evaluation of technogeomechanical conditions of main roads maintenance. The evaluation of maintenance conditions in this system can be carried out on the basis of analytical and numerical methods. Analytical methods which have been used include recommended and obligatory computational methods as stated in normative documents and guidelines. If the methods have not been included in any normative documents our own solutions have been worked

out at the Institute of Geomechanics, Underground Engineering and Land Surface Protection at the Silesian Technical University in Gliwice.

Numerical simulation can be put into practice by means of "Cosmos" (Finite Elements Method) and "Beasy" (Boundary Elements Method) software.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОРНОКАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Резюме. В работе представлена разработанная компьютерная система для оценки технико-геомеханических условий поддержания горнокапитальных выработок. В разработанной системе оценка условий поддержания может быть сделана на основании аналитических и численных методов. Используемые методы включают также расчетные методы, рекомендуемые и обязывающие, согласно с нормативными актами или указаниями; в случае, когда эти нормативные акты не охватывают некоторых вопросов, были использованы собственные решения, разработанные в Институте Геомеханики, Подземного Стрительства и Охраны Поверхности Силезского Политехнического Института в городе Гливице.

Численное моделирование можно осуществлять при помощи программы: "Космос" (метод конечных элементов), а также "BEASY" (метод крайних элементов).

1. WPROWADZENIE

Podstawowym celem kapitalnych wyrobisk górniczych jest udostępnienie złoża kopaliny użytecznej oraz zapewnienie jak najlepszych warunków do jej eksploatacji. Kapitalne wyrobiska górnicze użytkowane są w długim okresie czasu, bowiem swoją funkcję powinny spełniać w ciągu całego okresu istnienia poziomu, a niejednokrotnie i kopalni. Stąd utrzymanie stateczności tych wyrobisk, w całym okresie ich użytkowania posiada podstawowe znaczenie dla efektywnej i planowej działalności górniczej. Do kapitalnych wyrobisk górniczych zalicza się szyby, wloty do podszybi, wyrobiska komorowe, udostępniające wyrobiska korytarzowe oraz połączenia wyrobisk. Wymienione wyrobiska różnią się szeregiem czynników, które w istotny sposób wpływają na zachodzący, w otoczeniu wyrobisk, proces deformacji masywu skalnego objawiający się ich zaciskaniem. Wielkość i przebieg w czasie procesu zaciskania wy-

robisk jest ściśle związany z budową górotworu, własnościami skal otaczających wyrobisko, rodzajem wyrobiska i jego gabarytami, technologią drążenia oraz rodzajem i parametrami zastosowanej obudowy.

2. METODY OCENY WARUNKÓW UTRZYMANIA KAPITALNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH

Pod pojęciem stateczności wyrobisk najczęściej rozumie się warunki utrzymania funkcji danego wyrobiska i wynikających stąd jego wymiarów. Utrzymanie, ze względów ruchowych, odpowiednich gabarytów wyrobiska wymaga, już na etapie jego projektowania, uwzględnienia warunków techniczno-geomechanicznych wpływających na proces deformacji masywu w jego otoczeniu.

W literaturze podawanych jest wiele metod określania warunków współpracy obudowy kapitalnych wyrobisk górniczych, które ze względu na sposób rozwiązania zagadnienia można podzielić na metody analityczne oraz metody numeryczne.

Obecnie zasady doboru konstrukcji obudowy poszczególnych wyrobisk objęte są aktami normatywnymi (wytyczne i normy branżowe), które oparte są na pewnych, wyidealizowanych modelach teoretycznych współpracy obudowy z górotworem i nie zawsze nadają się do zastosowania w określonych złożonych warunkach.

2.1. Metody analityczne

Ze względu na różnorodny charakter współpracy obudowy kapitalnych wyrobisk górniczych z otaczającym je górotworem istniejące metody analityczne oceny warunków utrzymania tych wyrobisk rozpatruje się oddzielnie dla poszczególnych rodzajów wyrobisk.

2.1.1. Szyby i szybiki

Do projektowania oraz oceny warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania wyrobisk pionowych w Polsce powszechnie stosuje się metodę podaną w normach branżowych. Metoda ta dotyczy szybów i szybików o przekroju kołowym głębionych lub pogłębianych [6]. Stosowana może być w warunkach, gdy szyb lub szybik nie jest poddany wpływowi eksploatacji górniczej.

W przypadku gdy wyrobisko poddane jest wpływowi eksploatacji górniczej najczęściej stosowane są metody obliczeniowe oparte na modelach sprężystych lub sprężysto-plastycznych i uwzględniające niesymetryczny charakter obciążenia obudowy.

2.1.2. Wloty do podszybia

Wloty do podszybia są szczególnym przypadkiem połączenia wyrobisk. Występuje tu koncentracja naprężeń w wyniku wzajemnego oddziaływania szybu i wyrobisk podszybia. Do określania warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania wyrobiska stosuje się generalnie dwa sposoby [7], a mianowicie: w sposobie pierwszym warunki utrzymania wlotu do podszybia określa się na podstawie zależności podanych w aktach normatywnych dotyczących wyrobisk korytarzowych i komorowych, a wzajemne oddziaływanie wyrobisk uwzględnia się poprzez współczynnik koncentracji naprężeń będący m.in. funkcją gabarytów analizowanych wyrobisk oraz odległości analizowanego przekroju wlotu od naroża połączenia. Do określania warunków utrzymania wlotu do podszybia podana jest w literaturze analityczno-empiryczna metoda obliczania współpracy obudowy z górotworem dla wlotu do podszybia opracowana na podstawie modelu współpracy obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych z górotworem wg Zasławskiego. Wymienione powyżej metody nie uwzględniają możliwości dokonywania oceny warunków utrzymania wlotu do podszybia w warunkach oddziaływania eksploatacji górniczej.

2.1.3. Wyrobiska korytarzowe

Do wyrobisk kapitalnych zaliczane są wyrobiska korytarzowe charakteryzujące się długim okresem użytkowania. Są to główne wyrobiska udostępniające na poziomie. Do oceny warunków techniczno-geomechanicznych stosowana jest metoda opracowana w OBR-BG "Budokop" i wykorzystana w "Wytucznych projektowania i obliczeń statycznych długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych" [9]. Metoda ta pozwala na określanie wielkości obciążenia statycznego obudowy wyrobiska dla modelu sprężystego, sprężysto-plastycznego i sprężysto-plastyczno-spełanego zlokalizowanego w górotworze nie objętym wpływem eksploatacji górniczej.

2.1.4. Wyrobiska komorowe

Wyrobiska komorowe również należą do wyrobisk o długim okresie ich użytkowania. Są to bowiem wyrobiska w przeważającej większości użytkowane w całym okresie istnienia poziomu, a nawet kopalni. Do oceny warunków techniczno-geomechanicznych stosowana jest, podobnie jak w przypadku wyrobisk korytarzowych, metoda opracowana w OBP-BG "Budokop" i wykorzystana w "Wytucznych projektowania i obliczeń statycznych długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych" [9].

2.1.5. Połączenia wyrobisk korytarzowych i komorowych

Połączenia wyrobisk korytarzowych i komorowych są wyrobiskami, w których występuje wzajemne oddziaływanie wyrobisk. Do oceny warunków techniczno-geomechanicznych ich utrzymania aktualnie wykorzystuje się dwie metody.

W metodzie pierwszej [11], opracowanej w Instytucie Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej stosowany jest model deformacyjno-naprężeniowy górotworu oparty na podstawowych równaniach teorii sprężystości i plastyczności uwzględniający możliwość tworzenia się wokół wyrobiska stref zniszczenia plastyczności i sprężystej. Do uwzględnienia wzajemnego oddziaływania wyrobisk wykorzystuje się współczynnik koncentracji naprężeń będący funkcją rodzaju połączenia, gabarytów łączących się wyrobisk oraz odległości analizowanego przekroju od naroża.

W metodzie drugiej [10], opracowanej w OBP-BW "Budokop", wykorzystuje się metodę obliczania obciążania obudowy jak dla wyrobiska pojedynczego, a wzajemne oddziaływanie wyrobisk uwzględnia się poprzez podział połączenia na trzy strefy różniące się odległością od naroża. Dla każdej strefy wykonuje się obliczenia przyjmując stałe parametry.

2.2. Metody numeryczne

Dla dokonania oceny warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania kapitalnych wyrobisk górniczych największe perspektywy posiadają metody numeryczne. Pozwalają one bowiem na tworzenie modeli współpracy obudowy wyrobisk z górotworem z uwzględnieniem budowy warstwowej górotworu, tektoniki, wzajemnego oddziaływania wyrobisk na siebie, czy wpływu eksploatacji górniczej. Ponadto metody numeryczne pozwalają na modelowanie przestrzenne układu wyrobisk i warstw górotworu, co ma szczególnie duże znaczenie przy obliczeniach dotyczących połączeń wyrobisk oraz wlotów do podszybi.

Wśród najbardziej efektywnych metod numerycznych wyróżnić można metodę elementów skończonych oraz metodę elementów brzegowych. Metody te pozwalają na stworzenie komputerowego modelu struktury obiektu poddanego działaniu różnych obciążeń (ciśnienia, drgania, obciążenia termiczne itp.).

Metoda elementów skończonych pozwala w stosunkowo prosty sposób na zamodelowanie i analizę materiału konstrukcyjnego obiektu. Opiera się na podziale obiektu na dowolną liczbę elementów, z których każdy posiada skończoną liczbę stopni swobody. Chcąc wiernie przedstawić analizowaną konstrukcję, należy ją tak podzielić na elementy skończone, aby w pełni zamodelować jej wszystkie własności materiałowe. Aktualnie metoda elementów skończonych jest coraz częściej stosowana w modelowaniu i projektowaniu inżynierskim. Istnieje wiele programów obliczeniowych opartych na metodzie elementów skończonych, spośród których wymienić można m.in. program "COSMOS".

Metoda elementów brzegowych również opiera się na podziale obiektu na dowolną liczbę elementów, z których każdy posiada skończoną liczbę stopni swobody. W celu zamodelowania analizowanej konstrukcji dzieli się ją na elementy oraz strefy, dla których własności materiałowe mogą się różnić. Spośród obecnie istniejących programów obliczeniowych opartych na metodzie elementów brzegowych wymienić można program "BEASY".

3. ZAŁOŻENIA KOMPUTEROWEGO SYSTEMU DO OCENY WARUNKÓW UTRZYMANIA KAPITAŁNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH

Przy opracowaniu komputerowego systemu oceny warunków utrzymania kapitałnych wyrobisk górniczych przyjęto wiele założeń, do których można zaliczyć:

- możliwość modelowania zjawisk geomechanicznych zachodzących w otoczeniu wyrobisk przy użyciu nowoczesnych metod numerycznych, takich jak metoda elementów skończonych i metoda elementów brzegowych,
- możliwość zastosowania dotychczas obowiązujących w praktyce projektowej aktów normatywnych,
- możliwość wykorzystania wyników dotychczasowych badań zjawisk deformacyjnych zachodzących w otoczeniu wyrobisk,
- możliwość wariantowego przyjmowania warunków technicznych w kapitałnych wyrobiskach górniczych,
- możliwość uwzględnienia własności górotworu otaczającego analizowane wyrobisko,
- otwartość systemu umożliwiająca jego rozbudowę,
- łatwość w posługiwaniu się systemem w części dotyczącej posługiwania się metodami analitycznymi.

4. CHARAKTERYSTYKA KOMPUTEROWEGO SYSTEMU DO OCENY WARUNKÓW UTRZYMANIA KAPITAŁNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH

Opracowany system komputerowy do oceny warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania kapitałnych wyrobisk górniczych charakteryzuje się pełną cechą tzw. przyjazności dla użytkownika. W trakcie korzystania z systemu komputerowego użytkownik prowadzony jest za pomocą charakterystycznych makiet i menu dla poszczególnych rodzajów wyrobisk i etapów oceny warunków utrzymania wyrobisk.

Po uruchomieniu systemu na ekranie monitora pojawia się makieta główna systemu informująca o systemie, a po naciśnięciu dowolnego klawisza pojawia się menu główne systemu. Menu główne systemu służy do wyboru rodzaju wyrobiska, a mianowicie:

"szyb", "wlot do podszybia", "wyrobisko komorowe", "wyrobisko korytarzowe", "połączenie wyrobisk" oraz "koniec pracy programu". Po dokonaniu wyboru określonej opcji związanej z rodzajem wyrobiska menu rozwija się o dodatkowe menu, na podstawie którego następuje wybór podstawowych metod obliczania stateczności wyrobisk. Użytkownik ma tu do wyboru metodę analityczną, metodę elementów skończonych lub metodę elementów brzegowych.

Zastosowane w omawianym systemie metody analityczne oparte są na wybranych rozwiązaniach stosowanych powszechnie lub obowiązujących w dotychczasowej praktyce projektowej oraz własnych rozwiązaniach. Dla modelowania współpracy obudowy wyrobisk kapitalnych z górotworem przewidziano, w omawianym systemie komputerowym, zastosowanie metody elementów skończonych przy użyciu programu "COSMOS" amerykańskiej firmy Struktural Reserch and Analysis Corp., a zastosowanie metody elementów brzegowych możliwe jest przy zastosowaniu programu "BEASY" angielskiej firmy Compiutational Mechanics BEASY Ltd.

Wybór opcji "Metoda elementów skończonych" powoduje uruchomienie programu "COSMOS", o ile jest on zainstalowany na danym komputerze i określona jest na etapie instalacji omawianego systemu ścieżka dostępu.

Wybór opcji "Metoda elementów brzegowych" powoduje uruchomienie programu "BEASY", o ile jest on zainstalowany na danym komputerze i określona jest na etapie instalacji omawianego systemu ścieżka dostępu.

Po wyborze metody analitycznej na ekranie monitora menu zostaje rozwinięte i pojawiają się opcje umożliwiające wybór kolejnych etapów. Standardowo możliwość wyboru obejmuje następujące opcje: "przygotowanie danych", "edycja danych", "obliczenia", "edycja wyników", "drukowanie wyników" oraz "wyjście do menu wyższego". Wybór opcji "Przygotowanie danych" umożliwia przygotowanie pliku z danymi wejściowymi do obliczeń przy wykorzystaniu odpowiednio przygotowanego programu opracowanego w formie konwersacyjnej. Opcja "Edycja danych" pozwala na przeglądanie danych na ekranie monitora oraz na wydrukowanie ich na papierze. Opcja "Obliczenia" uruchamia odpowiedni dla poszczególnych obiektów program obliczeniowy. Opcja "Edycja wyników" umożliwia przeglądanie na ekranie monitora wyników przeprowadzonych obliczeń. Opcja "Drukowanie wyników" uruchamia odpowiednią nakładkę umożliwiającą drukowanie pliku zawierającego wyniki obliczeń na drukarce. Opcja "Wyjście do menu wyższego" umożliwia wyjście do menu pozwalającego na wybór metody obliczeniowej.

Wymienione opcje będące do wyboru w ramach metod analitycznych występują w przypadku wszystkich rodzajów wyrobisk, jedynie w przypadku wyboru opcji "Połączenia wyrobisk" pojawia się dodatkowo pośrednie menu umożliwiające wybór odpowiedniego rodzaju połączenia wyrobisk.

5. PODSUMOWANIE

Ocena warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania kapitalnych wyrobisk górniczych jest istotnym zagadnieniem zarówno na etapie projektowania wyrobiska, jak i w trakcie jego użytkowania. Zdarza się często, że wyrobisko użytkowane jest przez pewien, niekiedy bardzo długi okres, po którym dopiero zaczynają objawiać się wzmożone przemieszczenia obrysu wyrobiska lub uszkodzenia obudowy i zachodzi konieczność ich napraw, a czasem nawet i przebudowy.

Obecnie obowiązujące akty normatywne (normy branżowe, normy polskie, wytyczne itp.) obejmują zagadnienia związane z projektowaniem wyrobisk w warunkach praktycznie nowo budowanych kopalń, ponieważ nie uwzględniają one zmiany stanu naprężenia w górotworze objętym wpływem eksploatacji górniczej.

Przedstawiony powyżej komputerowy system do oceny techniczno-geomechanicznych warunków utrzymania kapitalnych wyrobisk górniczych w ramach opcji "Obliczenia analityczne" uwzględnia wszystkie obowiązujące obecnie akty normatywne, a w przypadku gdy nie istnieją, wykorzystano rozwiązania własne.

Zadając sobie sprawę z uogólnień stosowanych we wszystkich metodach analitycznych oraz biorąc pod uwagę rosnące możliwości zastosowania metod numerycznych, w systemie zamieszczono opcje, które uruchamiają odpowiednie pakiety programów opartych na metodzie elementów skończonych oraz metodzie elementów brzegowych. Wykorzystanie omawianego systemu komputerowego w praktyce jest możliwe w różnym zakresie, a mianowicie w wersji prostej, ograniczonej oraz pełnej.

Instalacja pełna systemu wymaga odpowiednio rozszerzonej konfiguracji sprzętu oraz posiadania licencjonowanej wersji programów "BEASY" oraz "COSMOS". W tym przypadku wymagana konfiguracja to PC 386DX z kooprocesorem lub 486DX, min 8MB RAM, VGA Color oraz co najmniej 50 MB wolnego na dysku twardym.

Instalacja ograniczona systemu wymaga również odpowiednio rozszerzonej konfiguracji sprzętu oraz posiadania licencjonowanej wersji programów "BEASY" lub "COSMOS". W tym przypadku wymagana konfiguracja to PC 386DX z kooprocesorem lub 486DX, min 8MB RAM, VGA Color oraz co najmniej 30 MB wolnego na dysku twardym.

Instalacja w wersji prostej obejmuje tylko metody analityczne i wymagania sprzętowe są tu znacznie ograniczone. System ten w wersji prostej może być zainstalowany praktycznie na każdym komputerze typu PC.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. 1. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. "Śląsk", Katowice 1987.

- [2] Chudek M., Mateja J., Rulka K.: Podstawy teoretyczne oraz nowe zasady doboru, ustalenia obciążeń i wymiarowania obudów długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 124, Gliwice 1985.
- [3] Podgórski K., Duży S., Kleta H.: Ocena stateczności wyrobisk podszybi znajdujących się w obszarach objętych wpływem eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, zeszyt 205, Gliwice 1992.
- [4] Podgórski K., Duży S., Kleta H.: Próba opisu zaciskania wyrobisk korytarzowych przy uwzględnieniu podporności obudowy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 205, Gliwice 1992.
- [5] Podgórski K., Kleta H.: Obliczanie obudowy wyrobisk udostępniających i ich połączeń w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu. Materiały Konferencyjne, Katowice 1981.
- [6] Praca zbiorowa: Określenie odporności obudów szybowych na wpływy deformacyjnych ciśnień górotworu. Prace Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice 1988 (praca nie publikowana).
- [7] Praca zbiorowa: Określenie odporności obudowy wlotów szybowych i wyrobisk podszybia na wpływ deformacyjnych ciśnień górotworu. Prace Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice 1990 (praca nie publikowana).
- [8] Praca zbiorowa: Opracowanie systemu komputerowego do oceny warunków techniczno-geomechanicznych utrzymania kapitalnych wyrobisk górniczych. Prace Instytutu Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992 (praca nie publikowana).
- [9] Praca zbiorowa: Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Prace OZR-BG "Budokop", Mysłowice 1980.
- [10] Praca zbiorowa: Tymczasowe wytyczne doboru obudów dla komór i połączeń wyrobisk korytarzowych. Prace OBR-BG "Budokop", Mysłowice 1988.
- [11] Praca zbiorowa: Wytyczne projektowania połączeń wyrobisk korytarzowych i komorowych. Prace Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985. (praca nie publikowana).

Recenzent: Prof. dr hab.inż. Alfred **Biliński**

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1994 r.

Abstract

The paper presents an elaborate computer system for evaluation of technogeomechanical conditions of main roads maintenance. By the term main roads we mean roads of long term use such as shafts, inlets to shaft bottoms, chamber headings, dog headings and connections of headings. The evaluation of maintenance conditions in this system can be carried out on the basis of analytical and numerical methods. Analytical methods which have been used include recommended and obligatory computational methods as stated in normative documents and guidelines. If the methods have not been included in any normative documents our own solutions have been worked out at the Institute of Geomechanics, Underground Engineering and Land Surface Protection at the Silesian Technical University in Gliwice.

The paper contains critical remarks concerning the hitherto existing methods of determination of cooperation between main roads and a rock-mass.

Numerical simulation can be put into practice by means of "Cosmos" (Finite Elements Method) and "Beasy" (Boundary Elements Method) software.

The following hardware is required: computer 386DX or 486, maths co-processor, EGA or VGA colour graphics card, mouse, 8 MB of memory, minimum of 50 MB disc space, system software DOS version 3,3 or higher and computers programmes "BEASY" and "COSMOS/M".