ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: GÓRNICTWO z. 254 Nr kol. 1563

Ewa NAHORNIAK, Jarosław BRODNY
Politechnika Śląska, Gliwice

OBLICZENIA ODRZWI OBUDOWY CHODNIKOWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienie projektowania odrzwi obudowy chodnikowej wykorzystując do obliczeń numerycznych oprogramowanie MSC/NASTRAN oparte na metodzie MES. Istotą modelu obliczeniowego jest przyjęcie charakterystyk sprężysto-plastycznych stali, z jakich wykonano odrzwia i przeprowadzenie nieliniowej analizy wytrzymałościowej. Otrzymane wyniki obliczeń porównano z wynikami badań stanowiskowych odrzwi obudowy chodnikowej otwartej stosowanej w górnictwie podziemnym złożonej z łuków stalowych wykonanych z kształtowników o profilu V. Omówiono aktualnie stosowaną metodę stanów granicznych analizy wytrzymałościowej oraz przeprowadzono symulację obliczeniową.

DETERMINING OF LOAD CARRYING CAPACITY OFSTEEL ARCHING

Summary. The paper presents problems involving the design of arch timbering doors, applied in underground mining, made of steel V-shaped arches (profiles).The currently applied method for strength analysis is the limit states method, however, a computer simulation was carried out on the modelled timbering using the finite elements method by the help of MSC/NASTRAN program for numerical calculations. The necessity of the calculating program is to have the elastic-plastic characteristic for steels from which timbering were used, and to carry out non-linear strength analysis. Obtained results were compared with test-stand studies.

Wstęp

W warunkach kopalń węgla kamiennego stalowa obudowa chodnikowa stanowi podstawowy środek zabezpieczenia i utrzymania wyrobisk chodnikowych. Od jej wytrzymałości i jakości wykonania w dużym stopniu zależy stan tych wyrobisk oraz bezpieczeństwo ludzi tam pracujących. Dlatego też wymagania stawiane obudowie chodnikowej, mającej na celu zarówno ochronić ludzi, jak i zapewnić możliwości transportu,

wentylacji, zasilania itp., ciągle wzrastają. Oprócz tych warunków technicznych, szczególnie w ostatnich latach dużą rolę zaczęły odgrywać warunki ekonomiczne eksploatacji, co jeszcze bardziej wzmogło oczekiwania dotyczące poprawnego doboru i stosowania obudów korytarzowych.

W warunkach kopalń węgla kamiennego wyrobiska chodnikowe są zabezpieczane i utrzymywane stalową obudową odrzwiową. Pod pojęciem odrzwiowej obudowy chodnikowej rozumie się całokształt środków służących do zabezpieczenia i utrzymania wyrobisk chodnikowych. Są to odrzwia obudowy stalowej (łuki), jak i akcesoria (rozpory, okładziny, stopy) oraz ręczna lub mechaniczna wykładka. Podstawowym elementem stalowej obudowy odrzwiowej jest kształtownik. Parametrami charakteryzującymi kształtownik jest jego przekrój poprzeczny i materiał, z jakiego został wykonany (tabela 1). Stosowana powszechnie w latach powojennych obudowa tego typu, była wykonywana z kształtowników typu TH, DS, i MD. Z uwagi na pogarszające się warunki górniczo-geologiczne, w latach 1979-1984 zostały one zastąpione przez kształtowniki korytkowe typu V o wielkościach V21, V25, V29, V36, i V44.

Obecnie do produkcji elementów odrzwi obudowy chodnikowej stosowane są głównie kształtowniki o przekroju korytkowym typu V (rys.1). Typoszereg kształtowników V obejmuje 6 wielkości V16.5, V21, V25, V29, V36, i V44, gdzie liczby oznaczają masę jednostkową w kg/m. Znaczne zróżnicowanie przekroju kształtowników daje możliwość wykonania obudowy o różnej wytrzymałości i jej dostosowania do warunków górniczo-geologicznych oraz techniczno-eksploatacyjnych.

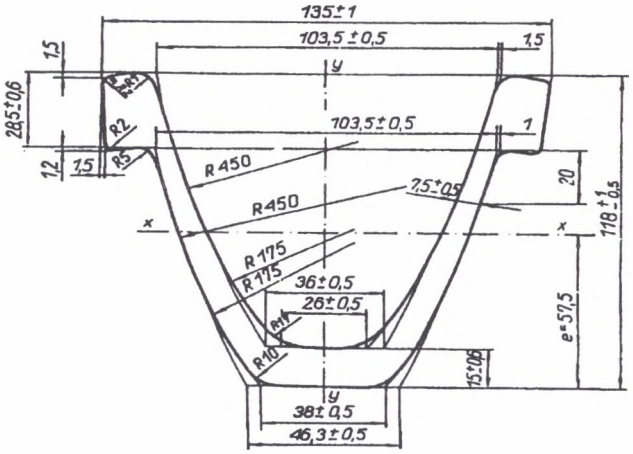
Kształtowniki te wykonuje się głównie ze stali węglowej zwykłej jakości St55 i o podwyższonej zawartości manganu 31Mn4. Kształtowniki (łuki) mogą również zostać wykonane ze stali trudno rdzewiejącej o podwyższonej wytrzymałości 15HG2VCu. Zastosowanie tej stali powoduje wzrost wytrzymałości obudowy oraz odporności na korozję w wodzie kopalnianej o 50%. W tabeli 1 podano własności mechaniczne stali, z jakich obecnie wykonuje się kształtowniki.

Tablica 1

Własności mechaniczne stali stosowanych na profile

Gatunek stali	Granica plastyczności R_e [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]
St55	340	550
31Mn4	350	550
15HG2VCu	460	600 - 800

Odrzwia obudowy otwartej przeznaczone są do zabezpieczania wyrobisk, w których obciążeniami głównymi są obciążenia stropowe.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny kształtownika V25
Fig. 1. Section of the door profile V25

2. Wyznaczanie nośności odrzwi tzw. „metodą stanów granicznych"

Odrzwia obudowy łukowej poddane obciążeniu oraz podparciu osiągają nośność graniczną z chwilą przejścia elementów łuku w łańcuch sprężysto-plastyczny. Można więc założyć, że konstrukcja traci swą stateczność, jeżeli liczba przegubów plastycznych w konstrukcji pod wpływem obciążeń zewnętrznych jest większa o jeden od stopnia statycznej niewyznaczalności. W celu wyznaczenia nośności granicznej odrzwi obudowy chodnikowej przyjęto konstrukcję odrzwiową otwartą jednokrotnie statycznie niewyznaczalną. Do analizy przyjęto model odrzwi obudowy chodnikowej łukowej otwartej wykonanej z kształtownika V25.

Są dwie metody analitycznego wyznaczania nośności odrzwi obudowy chodnikowej: metoda projektowania na dopuszczalne naprężenia i metoda projektowania na dopuszczalny udźwig (metoda nośności granicznej).

Obecnie najczęściej stosowana metoda wyznaczania nośności stalowych odrzwi obudowy ŁP (łuków podatnych) polega na wyznaczeniu wartości sił wewnętrznych, wyszukaniu przekroju o maksymalnym wytężeniu, a następnie porównaniu stanu naprężenia z warunkami wytrzymałości granicznej kształtownika [3]. Jest to tzw. metoda nośności

granicznej (w rzeczywistości jest połączeniem metody projektowania na dopuszczalne naprężenia oraz metody nośności granicznej).

Wyznaczenie sił wewnętrznych wykonuje się dla różnych konfiguracji obciążenia odrzwi metodą na dopuszczalne naprężenia. Siły wewnętrzne i przemieszczenia łuków obudowy wyznaczono przy następujących założeniach [2]:

- odrzwia pracują w fazie sprężystej,
- układ odrzwi jest płaski i ma pionową oś symetrii,
- obciążenia działają w płaszczyźnie symetrii odrzwi,
- analizuje się działanie sił pionowych,
- pomija się wpływ tarcia odrzwi o podłoże.

Rozkład sił wewnętrznych uzależniony jest od następujących czynników:

- kształtu i wielkości odrzwi,
- parametrów geometrycznych przekroju poprzecznego kształtownika,
- parametrów wytrzymałościowych materiału,
- rozkładu obciążeń czynnych,
- charakterystyki odporu górotworu.

Rozpatrywane były układy usztywnione bez uwzględniania zsuwów na złączach. W celu wyznaczenia nośności granicznej odrzwi wykorzystano tzw. metodę stanów granicznych. W tym celu przyjęto (jako dający najlepsze przybliżenie do rzeczywistości) model ciała sztywno-plastycznego.

Warunek granicznej wytrzymałości kształtowników korytkowych obudowy przyjęto w postaci [2]:

$$\frac{M_g}{W_x} + \frac{N_0\, m_w}{A_s} \le R_e\,(m+n) \tag{1}$$

gdzie:

A_s – powierzchnia przekroju kształtownika,

M_g – moment zginający w przekroju,

N_0 – siła osiowa w przekroju,

W_x – wskaźnik wytrzymałości na zginanie,

R_e – granica plastyczności stali,

m_w – współczynnik wyboczenia wg PN-8018-03200,

m – współczynnik wzmocnienia przekroju przy zginaniu plastycznym (dla kształtownika korytkowego m =1,4),

W_{xp} – wskaźnik wytrzymałości kształtownika na zginanie plastyczne.

$$m = \frac{W_{xp}}{W_x}; \quad n = \frac{R_m - R_e}{R_m}$$

gdzie:

n – współczynnik wzmocnienia materiału przy zginaniu plastycznym,

R_m – wytrzymałość stali na rozciąganie.

Podstawiając do (1) uprzednio wyznaczone wartości M_g i N_o , wyznacza się tzw. graniczną wartość obciążenia ciągłego q_{gr} oraz wartość tzw. siły granicznej P_{gr}. Obliczone w ten sposób tzw. obciążenie graniczne jest zaniżone w stosunku do rzeczywistej nośności granicznej odrzwi. Utrata nośności w przekroju krytycznym odrzwi obudowy otwartej, które są układem jednokrotnie statycznie niewyznaczalnym, nie jest równoznaczna z utratą nośności całego układu.

Symulacja komputerowa

W niniejszym artykule przedstawiono przykład użycia programu komputerowego MSC/NASTRAN wykorzystującego do obliczeń oprogramowanie oparte na metodzie elementów skończonych. Najważniejszym etapem analizy wytrzymałościowej z zastosowaniem tej metody jest poprawne przygotowanie modelu obliczeniowego. Jego poprawność i zgodność z rzeczywistymi warunkami pracy modelowanej konstrukcji determinuje jakość uzyskanych wyników.

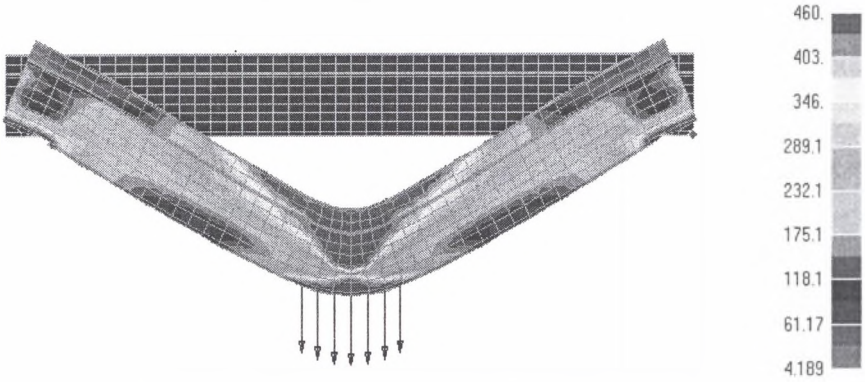
Tworzenie modelu obejmuje następujące etapy:

- budowę modelu geometrycznego odrzwi obudowy,
- opracowanie modelu dyskretnego,
- opis własności materiałowych,
- założenie wariantów obciążenia i podparcia,
- obliczenia wytrzymałościowe MES konstrukcji w zakresie nieliniowości.

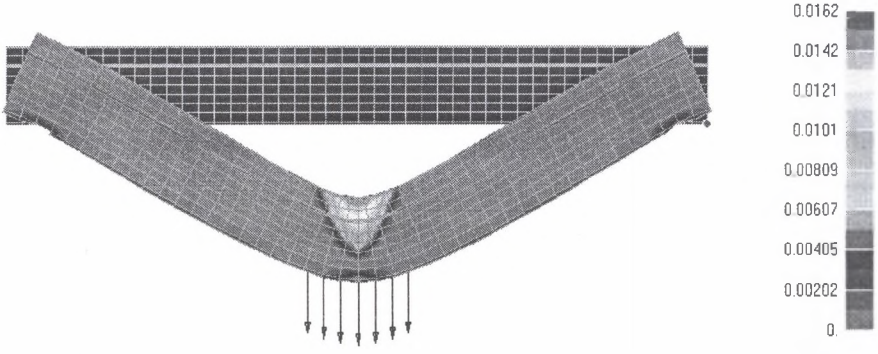
W pierwszym etapie analizie poddano prosty odcinek wykonany z kształtownika V25. Geometrię profilu V25 wykonano w systemie AUTOCAD, natomiast model obliczeniowy w systemie MSC/Nastran. Składa się 2745 węzłów i 1848 elementów typu bryłowego. Wariant podparcia i obciążenia modelu przyjęto zgodnie z PN-86/G-1500/09.

Na rysunku 2 przedstawiono rozkład naprężeń i odkształcenie poszczególnych elementów modelu prostego odcinka belki wykonanego z kształtownika V25 i ze stali

15GH2VCu. Na rysunku 3 przedstawiono odkształcenia plastyczne dla modelu prostego odcinka belki wykonanego z kształtownika V25.



Rys. 2. Rozkłady naprężeń i odkształceń kształtownika o profilu V25
Fig. 2. The distribution of the stress state and deformation of the door profil V25



Rys. 3. Rozkład odkształceń plastycznych
Fig. 3. The distribution of plastik deformation

Następnym etapem była budowa modelu geometrycznego odrzwi wykonanych z kształtownika V25 w systemie MSC/Nastran. Utworzony w ten sposób model poddano dyskretyzacji elementami skończonymi. Składa się on z 7776 węzłów i 5396 elementów 8-węzłowych typu bryłowego.

W bazie materiałowej zdefiniowano własności (tabela 1) i charakterystyki sprężysto-plastyczne trzech rodzajów stali, z jakich obecnie wykonuje się odrzwia obudowy chodnikowej. Symulację przeprowadzono dla przypadku obciążenia odrzwi obudowy chodnikowej obciążeniem stropowym - obciążeniem ciągłym symetrycznym działającym na długości równej L_m ($L_m = 0{,}42$ S).

Dla tego przypadku zostaną wyznaczone graniczne wielkości tych sił (powodujące powstanie dwóch przegubów plastycznych).

Wyniki obliczeń

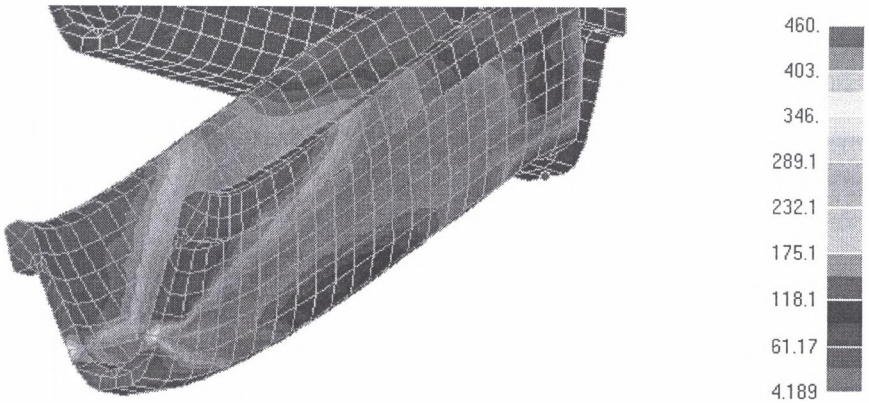
W tablicy 4 przedstawione zostały wartości obciążeń granicznych uzyskanych w wyniku symulacji komputerowej przy obciążeniu ciągłym stropowym odrzwi obudowy chodnikowej. Wyniki obliczeń metodą nośności granicznej mogą być wykorzystane do optymalizacji konstrukcji odrzwi obudowy chodnikowej. W kolumnie pierwszej przedstawiono wartości obciążeń obliczone dotychczas stosowaną metodą, a w następnych kolumnach wartości obciążeń granicznych uzyskane dla wcześniej zdefiniowanych stali w tabeli 1.

Tabela 2

Porównanie wyników

Nośność odrzwi w stosunku do obliczeniowej [%]			
Obliczeniowa	Otrzymana w wyniku symulacji		
Stal St55	Stal St55	31Mn4	15HG2VCu
100	118	126	142

Na rysunku 4 przedstawiono rozkład naprężeń w najbardziej wytężonym przekroju odrzwi obudowy chodnikowej.



Rys. 4. Rozkłady naprężeń w najbardziej wytężonym przekroju odrzwi
Fig. 4. Diagram of stress distribution at the mostly loaded timbering section

Podsumowanie

Warunki górniczo-geologiczne (eksploatacja na coraz większych głębokościach oraz warunki techniczno-ekonomiczne stawiają nowym konstrukcjom coraz wyższe wymagania. W celu sprostania tym wymaganiom konieczne jest użycie już w procesie konstruowania

nowoczesnych metod i narzędzi umożliwiających znaczne skrócenie czasu potrzebnego do wytworzenia nowego produktu o wysokiej jakości. Taką możliwość obecnie dają nam nowoczesne programy komputerowe, za pomocą których możliwe jest wszechstronne sprawdzenie nowej koncepcji i to jeszcze przed wytworzeniem fizycznego prototypu. W przemyśle górniczym zarówno budowa stanowisk badawczych odpowiadających rzeczywistym warunkom, jak i badania dołowe są bardzo pracochłonne i kosztowne, dlatego też wspomaganie komputerowe powinno znaleźć szerokie zastosowanie w pracach inżynierskich, gdyż daje możliwość szerokiej weryfikacji czynników wpływających na postać konstrukcyjną maszyn i urządzeń oraz dopracowanie jej przed badaniami stanowiskowymi lub badaniami w warunkach rzeczywistych.

Podsumowując otrzymane wyniki należy stwierdzić, że:

- uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają założenia, że dotychczasowe sposoby obliczenia nośności granicznej dają wyniki zaniżone w stosunku do rzeczywistej nośności odrzwi,
- zastosowanie stali 31Mn4 oraz 15HG2VCu powoduje wzrost nośności granicznej odpowiednio o 7% i 29%, co ma istotne znaczenie przy dobrze obudowy do warunków górniczo-geologicznych (możliwość znacznego zmniejszenia ciężaru odrzwi przy tej samej lub większej nośności),
- otrzymane wyniki dają podstawę do przeprowadzenia analiz wytrzymałościowych odrzwi obudowy chodnikowej otwartej i zamkniętej, obejmujących również model odporu górotworu.

LITERATURA

1. MSC/Nastran, Handbook for Nonlinear Analysis, Sang H. Lee, Editor 1992.
2. Małoszewski J. Mateja J., Rułka.: Podstawy teoretyczne projektowania i doboru obudów odrzwiowych dla wyrobisk komorowych i odgałęzień. Prace GIG, Komunikat 765, Katowice 1989.
3. Życzkowski M.: Obciążenia złożone w teorii plastyczności. PWN, Warszawa 1973.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Karol Reich

Abstract

The paper presents problems involving the design of arch timbering doors, applied in underground mining, made of steel V-shaped arches (profiles). The currently applied method for strength analysis is the limit states method, however, a computer simulation was carried out on the modelled timbering using the finite elements method by the help of MSC/NASTRAN program for numerical calculations. The necessity of the calculating program is to have the elastic-plastic characteristic for steels from which timbering were used, and to carry out non-linear strength analysis. Obtained results were compared with test-stand studies.