

Stanisław Prusek, Marek Rotkegel*, Krzysztof Skrzyński**

PROCES PROJEKTOWANIA OBUDOWY WYROBISK KORYTARZOWYCH Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU CAD

1. Wprowadzenie

Obecnie proces projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych staje się coraz bardziej złożony. Na taki stan rzeczy wpływ mają zarówno trudne warunki geologiczno-górniczne, dla których należy obliczyć wartości obciążeń działających na obudowę, jak również duże zróżnicowanie stosowanych typów i odmian obudowy. Zadaniem projektanta jest na ogół dobranie do określonej sytuacji górniczej optymalnego rozwiązania w zakresie obudowy. Optimum doboru polega na uwzględnieniu parametrów technicznych obudowy, a także aspektu ekonomicznego. Konstrukcja obudowy zapewniać musi funkcjonalność danego wyrobiska i bezpieczeństwo pracy, przy zachowaniu opłacalności ekonomicznej całego przedsięwzięcia. Przedstawione w referacie oprogramowanie autorskie i komercyjne wykorzystywane jest dla realizacji szeregu prac związanych z doбором obudowy dla określonych warunków naturalnych. Ponadto opisane programy są niezwykle pomocne w procesie projektowania nowych rozwiązań obudowy i jej akcesoriów, umożliwiając między innymi optymalizację konstrukcji z jednoczesnym zachowaniem wszystkich wymogów w zakresie bezpieczeństwa.

2. Przebieg procesu projektowania obudowy

Odrzwia obudowy wyrobisk korytarzowych, poczynając od momentu rozpoczęcia ich zabudowy przez cały okres użytkowania, stanowią istotną część układu, w skład którego

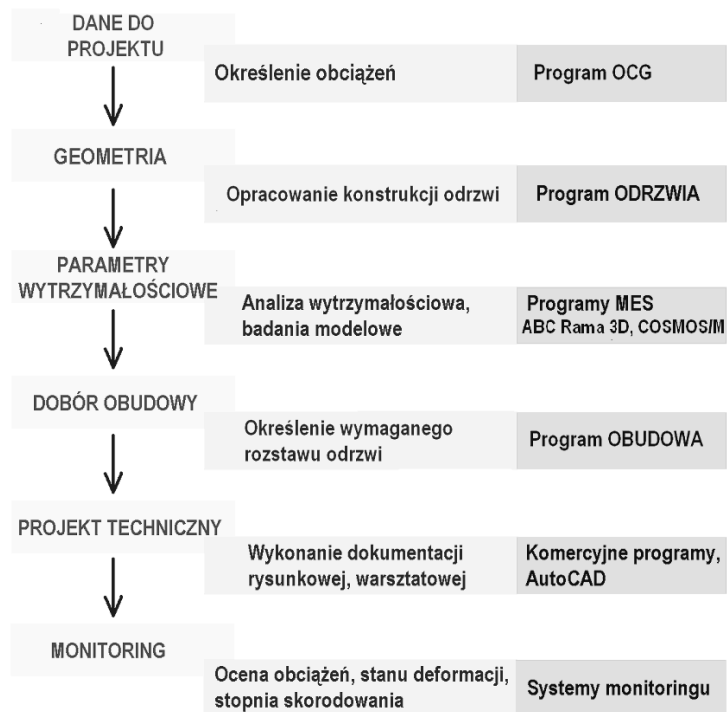
* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

oprócz człowieka wchodzi wszelkie urządzenia znajdujące się w wyrobisku w trakcie jego normalnego użytkowania [2]. Zatem w trakcie projektowania obudowy istotny jest wybór kształtu oraz dobór jej wymiarów poprzecznych do przekroju wyrobiska korytarzowego. Jak podaje norma [15], przy projektowaniu odrzwi należy uwzględniać między innymi rodzaj i wymiary przewidywanych środków transportowych, liczbę i wielkość rurociągów, lutniociągów oraz rodzaj dodatkowego wyposażenia wyrobiska. Na szczególną uwagę zasługuje zapewnienie odstępów ruchowych określonych w normie [16]. W przypadku obudowy podatnej dodatkowym czynnikiem, który należy uwzględnić, jest zmiana przekroju w wyniku wystąpienia zsuwów.

Proces projektowania obudowy, według opracowanej w GIG metodyki, można podzielić na osiem zasadniczych etapów:

- 1) Zebranie danych, niezbędnych do określenia obciążenia obudowy przez górotwór, takich jak na przykład:
 - usytuowanie projektowanego wyrobiska,
 - właściwości górotworu otaczającego projektowane wyrobisko,
 - występowanie zaszłości eksploatacyjnych,
 - występowanie zaburzeń tektonicznych,
 - oddziaływanie wstrząsów górotworu;
- 2) Określenie wymagań wynikających z warunków techniczno-technologicznych określonego wyrobiska, a w szczególności:
 - przekroju poprzecznego,
 - czasu użytkowania,
 - przeznaczenia wyrobiska.
- 3) Obliczenia spodziewanych obciążeń obudowy.
- 4) Sformułowanie na podstawie poprzednich trzech etapów założeń dla konstrukcji obudowy, z których podstawowe to:
 - wielkość kształtownika elementów obudowy,
 - gatunek stali, z którego będą wykonane kształtowniki,
 - rodzaj i typ akcesoriów.
- 5) Opracowanie konstrukcji odrzwi obudowy.
- 6) Analiza wytrzymałościowa obudowy.
- 7) Wprowadzenie ewentualnych zmian do konstrukcji i ponowna analiza wytrzymałościowa.
- 8) Analiza ekonomiczna przedsięwzięcia.

Tok postępowania w procesie projektowania obudowy oraz stosowane w poszczególnych etapach oprogramowanie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Tok postępowania w procesie projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych

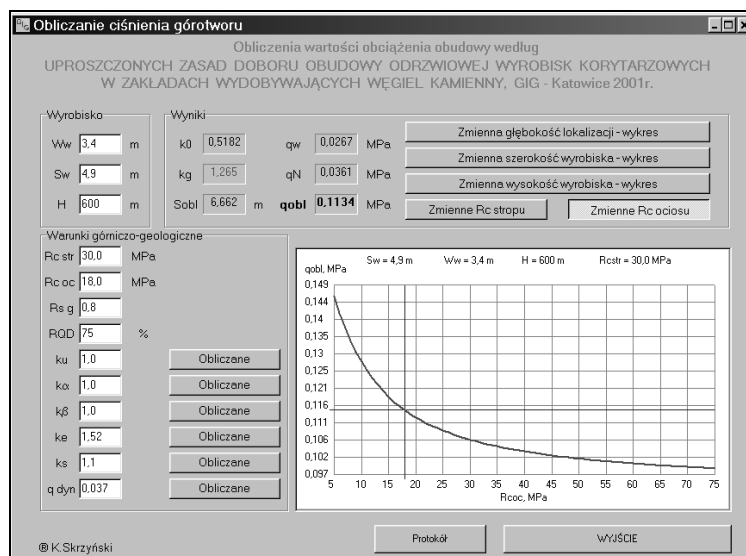
3. Obciążenie obudowy

Podstawą prawidłowego zaprojektowania konstrukcji jest znajomość wielkości obciążenia obudowy przez górotwór. W pakiecie programów wspomagających projektowanie obudowy do określenia wielkości obciążenia obudowy przez górotwór stosowany jest autorski program OCG v1.52, stworzony za pomocą języka programowania DELPHI.

Program, oparty na metodyce przedstawionej w [1], oblicza wartość obciążenia obudowy przez górotwór na podstawie danych uwzględniających szereg wielkości, takich jak na przykład:

- gabaryty obudowy;
- głębokość lokalizacji wyrobiska;
- parametry fizyko-mechaniczne otaczających skał;
- zaszłości eksploatacyjne;
- zaburzenia tektoniczne oraz wielkość spodziewanych obciążeń dynamicznych.

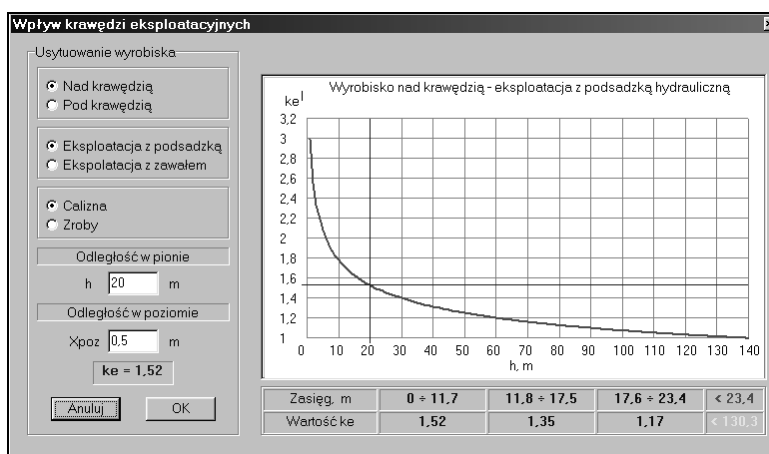
Na rysunku 2 przedstawiono główny panel programu.



Rys. 2. Główny panel programu OCG v1.52 służącego do obliczeń wartości obciążenia obudowy

Oprócz wyniku w postaci wartości obciążenia wyrażonej w MPa program generuje na ekranie wykresy dające możliwość śledzenia zmian obciążenia przy zmianach na przykład gabarytów wyrobiska lub wielkości charakteryzujących warunki geologiczno-górnictwo-geologiczne.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykładowo panele służące do wprowadzania danych niezbędnych dla obliczeń wpływu krawędzi eksploatacyjnych oraz uskoków na wartość obciążenia obudowy wyrobiska korytarzowego.



Rys. 3. Panel programu OCG v1.52 — pakiet danych dla obliczenia wpływu krawędzi eksploatacyjnych na wartość obciążenia obudowy

Rys. 4. Panel programu OCG v1.52 — pakiet danych dla obliczenia wpływu uskoku na wartość obciążenia obudowy

4. Geometria obudowy

Najczęściej w polskim górnictwie węgla kamiennego stosuje się odrzwia obudowy wykonane z elementów łukowych lub kombinacji elementów łukowych i prostych [8]. Projektowanie odrzwi, nawet przy zastosowaniu specjalistycznych programów (jak np. AutoCAD), jest czasochłonne, bowiem najczęściej składa się z tworzenia kolejnych przybliżeń, polegających na zmianie promienia i długości elementów łukowych, aż do uzyskania wynikającej z założeń geometrii (wysokość i szerokość odrzwi oraz pole powierzchni przekroju). W obliczeniach należy uwzględnić promienie i długości elementów łukowych odrzwi, długości zakładek w złączach oraz wielkość kształtownika.

W celu usprawnienia obliczeń geometrii oraz wielokrotnego przyspieszenia tego procesu stworzono za pomocą pakietu DELPHI [9] program ODRZWIA [3].

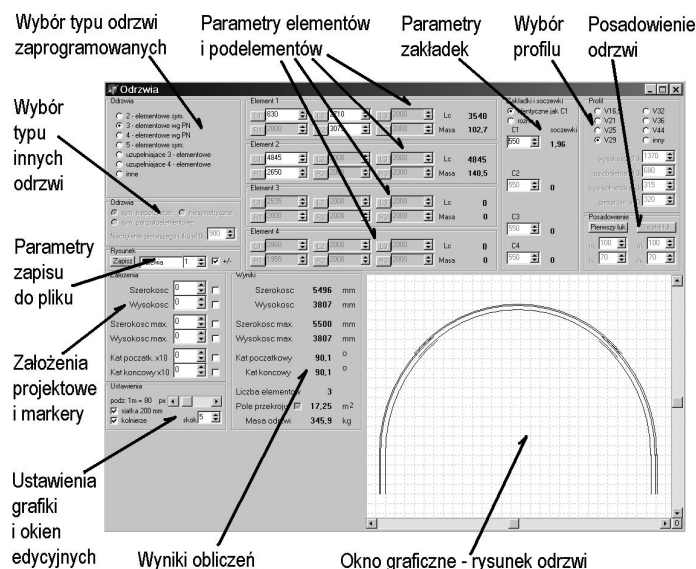
Program zawiera bazę danych, w której zawarto:

- parametry geometryczne kształtowników;
- promienie i długości elementów łukowych odrzwi według [11, 12].

Za pomocą programu możliwe jest konstruowanie odrzwi składających się z różnej liczby elementów łukowych. Odrzwia mogą być zarówno symetryczne, jak i niesymetryczne. Elementy łukowe projektowanych odrzwi mogą być typowe (czytane z bazy) lub projektowane przez użytkownika. Na rysunku 5 przedstawiono panel programu ODRZWIA.

Projektant może dowolnie zmieniać długości i promienie elementów odrzwi, przy czym każdy z elementów może posiadać trzy różne promienie krzywizny i trzy odpowiadające im długości. Wyłączenie okna edycyjnego promienia (R1, R2 lub R3) powoduje traktowanie wybranej części elementu jako odcinka prostego, co pozwala na zaprojektowanie zdecydowanej większości stosowanych obudów. Możliwe jest również zdefiniowanie długości zakładek elementów oraz wybór wielkości kształtownika odrzwi.

Program umożliwia natychmiastową weryfikację konstrukcji przez projektanta poprzez jej ciągły podgląd.



Rys. 5. Panel programu ODRZWIA wspomagającego projektowanie obudowy

Wyniki działania programu mogą być przedstawione w postaci wydruku zawierającego między innymi: szerokość i wysokość projektowanych odrzwi, kąt pochylenia łuku ociosowego, pole przekroju odrzwi w świetle, całkowitą masę odrzwi. Na żądanie projektanta program generuje rysunek w formacie dxf, akceptowanym przez programy CAD, który może służyć jako podstawa do przygotowania dokumentacji konstrukcyjnej obudowy.

5. Nośność obudowy

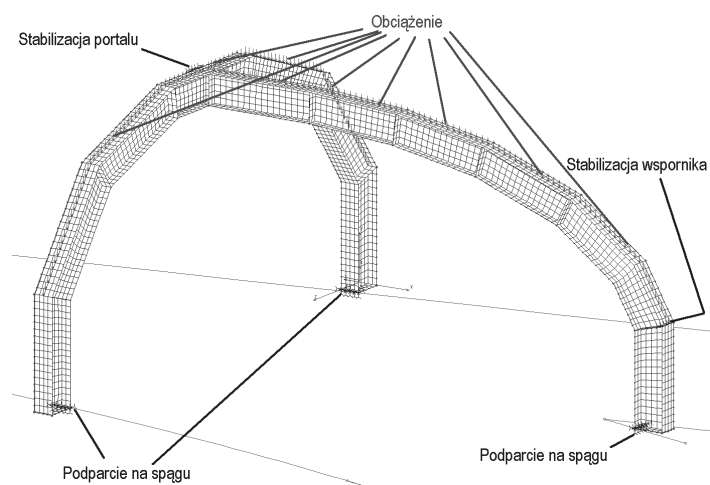
Podstawowym warunkiem prawidłowego zaprojektowania obudowy przy znanej wielkości działającego na nią obciążenia jest, oprócz geometrii (kształtu i gabarytów), znajomość jej nośności.

Do obliczeń nośności wykorzystywane są dwa programy działające w oparciu o metodę elementów skończonych. W obydwóch do budowy modeli mogą być wykorzystywane wyniki (pliki w formacie .dxf) działania programu ODRZWIA.

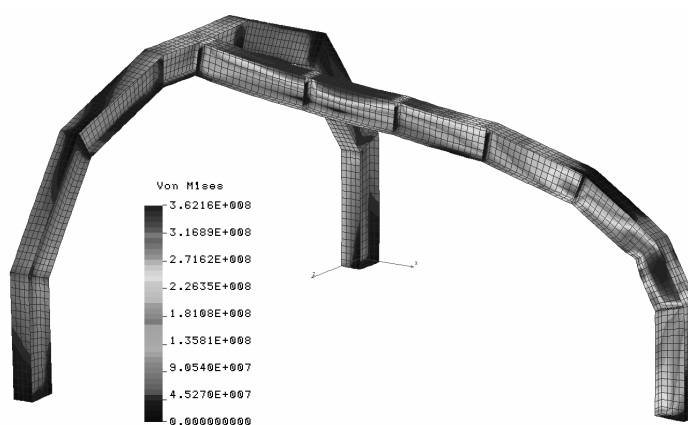
Pierwszym z programów wykorzystywanych w GIG do analizy wytrzymałościowej konstrukcji jest program COSMOS/M [7] firmy Structural Research and Analysis Corporation. Z punktu widzenia użytkownika modelowanie w systemie COSMOS/M sprowadza się do wprowadzenia geometrii całego badanego układu oraz określenia parametrów poszcze-

gólnych jego części. Parametrami tymi są własności materiałowe, parametry przekrojowe, a w przypadku analizy nieliniowej krzywe materiałowe. Geometrię układu można zadać tworząc ją w module GEOSTAR bądź importując trójwymiarowy rysunek w formacie dxf, np. z programu AutoCAD bądź też ODRZWIA.

System COSMOS/M jest przede wszystkim wykorzystywany do obliczeń wytrzymałościowych konstrukcji przestrzennych, wykonanych z elementów o przekrojach takich jak dwuteowniki i profile zamknięte stosowane w obudowach odgałęzień. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono model konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia wyrobisk oraz wyniki obliczeń — w postaci mapy rozkładu naprężeń.



Rys. 6. Sposób podparcia i obciążenia modelu konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia



Rys. 7. Rozkład naprężeń w modelu konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia

Określenie wytrzymałości (lub nośności) konstrukcji sprowadza się do porównania wartości maksymalnych naprężeń w niej występujących pod wpływem działania zadanego obciążenia z wartością naprężeń dopuszczalnych. Wartość naprężeń dopuszczalnych jest określona przez parametry geometryczne i wytrzymałościowe przekroju poprzecznego elementów konstrukcji oraz własności mechaniczne materiału (stali) [6], z którego są wykonane.

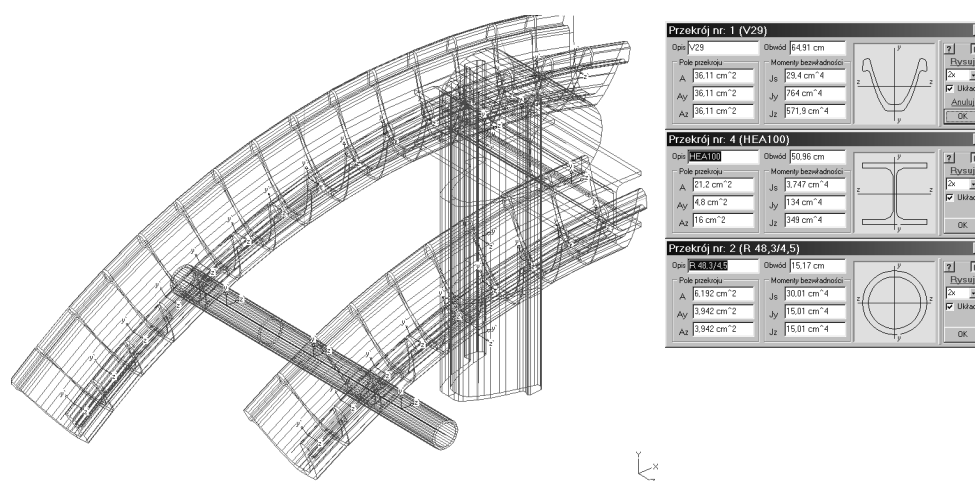
Drugim z programów wykorzystywanych do analizy wytrzymałościowej konstrukcji jest program ABC Rama 3D firmy Pro-Soft Gliwice [10]. Za pomocą tego programu przeprowadzane są obliczenia wytrzymałości odrzwi obudowy z kształtowników V w układzie płaskim i przestrzennym.

W celu uproszczenia budowy modelu, biblioteka programu została wzbogacona o dane kształtowników na obudowy górnicze (typu V i KS/KO) [13] oraz kształtowniki, z których wykonywane są rozpory i elementy wzmacniające obudowę (podciagi, stojaki itp.).

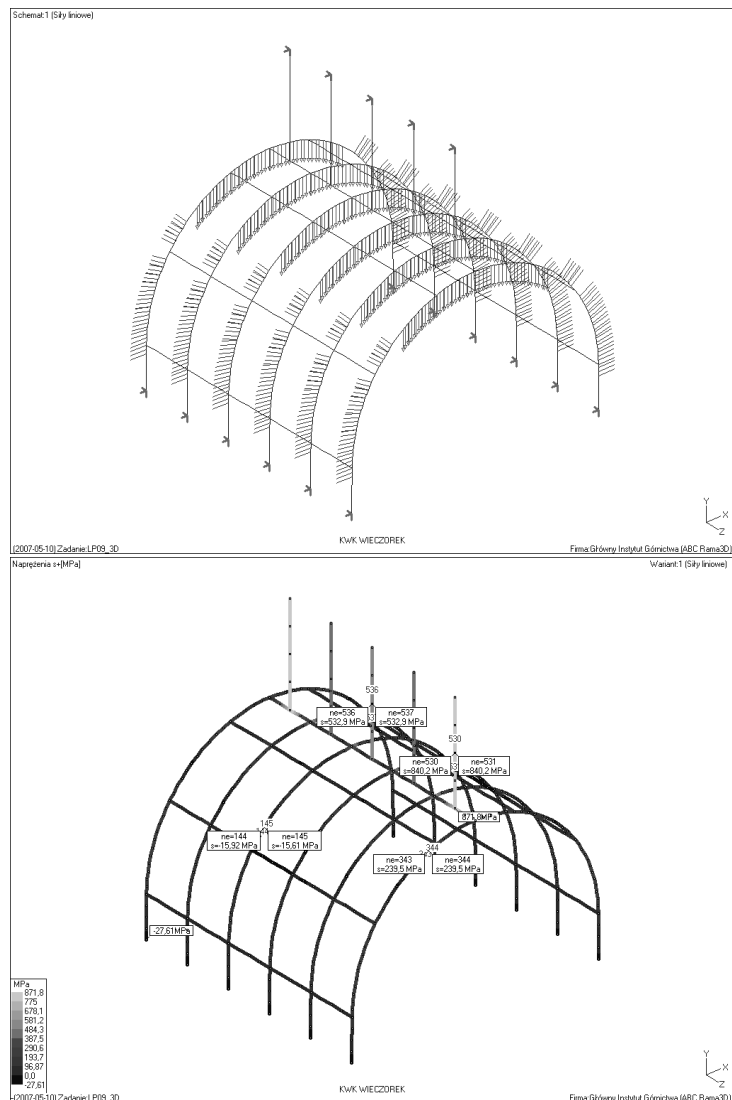
Program posiada możliwość odwzorowania odporów biernych określonych w [4] oraz modelowania złącz ciernych przez podpory nieliniowe. Podobnie jak w programie COSMOS/M, jako podstawę do tworzenia geometrii modelu można wykorzystać wyniki działania programu ODRZWIA (pliki .dxf).

Najczęściej stosowanym schematem obciążenia i posadowienia odrzwi jest układ odwzorowujący posadowienie i obciążenie odrzwi w stanowisku badawczym GIG (zgodne z [14]).

Na rysunku 8 przedstawiono przykładowo fragment modelu obudowy, usytuowanie kształtowników w odrzwiach oraz ich opis, zaś na rysunku 9 przedstawiono sposób posadowienia i obciążenia odrzwi oraz wyniki obliczeń w postaci mapy rozkładu naprężeń w modelu ugiętym.

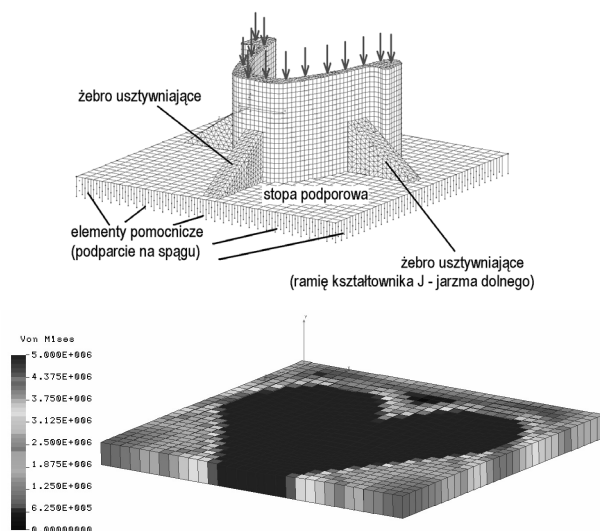


Rys. 8. Usytuowanie kształtowników w modelu obudowy oraz ich opis

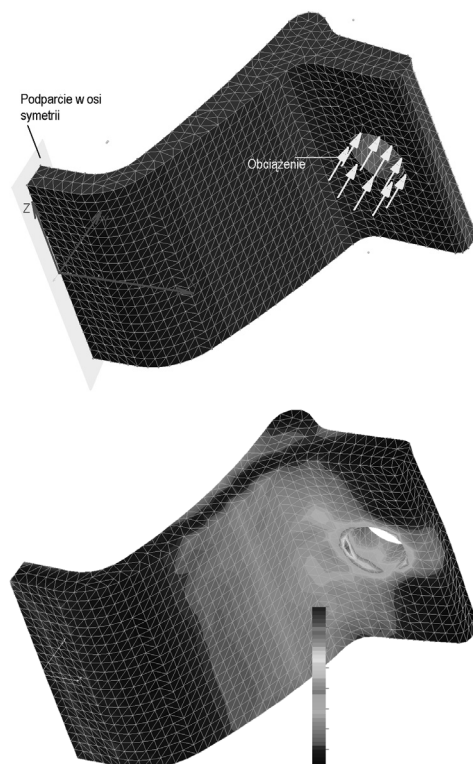


Rys. 9. Sposób posadowienia i obciążenia odrzwi oraz mapa rozkładu naprężeń w modelu obudowy

Oprócz analiz wytrzymałościowych kompletnych odrzwi obudowy prowadzone są także analizy akcesoriów. Szczególnie dotyczy to nowych konstrukcji. Na podstawie wyników obliczeń wytrzymałościowych uzyskiwane są dane dotyczące możliwości współpracy poszczególnych rodzajów i typów akcesoriów z różnymi wielkościami i rodzajami odrzwi, a także typami kształtowników. Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono modele stopy podporowej i kształtownika jarzma dolnego strzemienia SD oraz rozkłady naprężeń zredukowanych w tych modelach.



Rys. 10. Model stopy podporowej oraz rozkład naprężeń



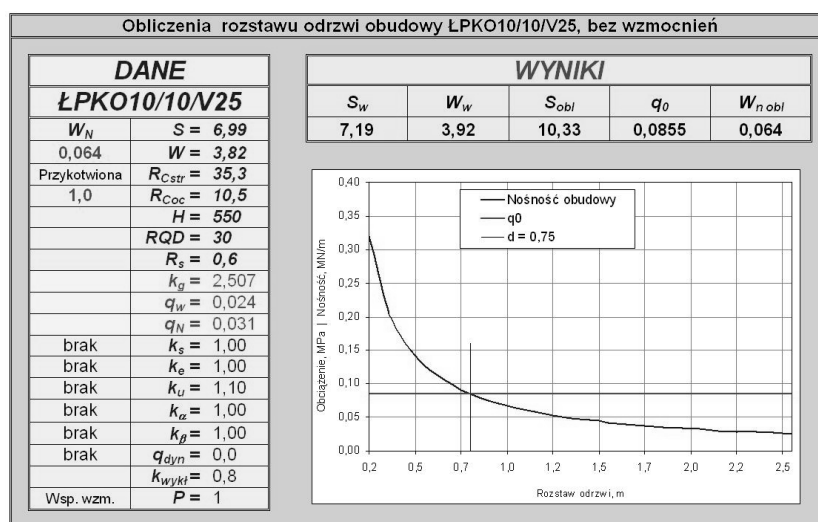
Rys. 11. Model jarzma dolnego oraz rozkład naprężeń

6. Określenie rozstawu odrzwi obudowy

W praktyce, oprócz projektowania nowych konstrukcji obudowy, przeprowadza się obliczenia w zakresie rozstawu odrzwi obudów już istniejących, a przewidywanych do zastosowania w określonych warunkach geologiczno-górnictwowych. Obliczenia takie wykonywane są za pomocą autorskiego programu OBUDOWA, opartego na szeregu zależności przedstawionych w [1]. W programie uwzględniono możliwość wprowadzenia wzmocnień obudowy podporowej za pomocą obudowy kotwionej w dwojaki sposób [5]:

- 1) poprzez przykottwienie elementów stropowych odrzwi,
- 2) poprzez uwzględnienie współczynnika wzmocnienia skotwionego górotworu.

Na rysunku 12 przedstawiono przykładowy wydruk wyników obliczeń rozstawu odrzwi dla obudowy ŁPKO10/10/V25.



Rys. 12. Wyniki obliczeń rozstawu odrzwi obudowy — panel programu OBUDOWA

7. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule proces projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych oparty jest na autorskich programach GIG oraz programach komercyjnych, takich jak: AutoCAD, ABC Rama 3D i COSMOS/M. Połączenie i wzajemne uzupełnianie się oprogramowania pozwala na skrócenie czasu projektowania i uzyskanie dokumentacji zarówno konstrukcyjnej, jak i technologicznej. Postępowanie według opisanego toku projektowania daje możliwość uzyskania wielu wariantów obudowy, spełniających wymagania określone

przez użytkownika. Wielowariantowość konstrukcji stanowi podstawę do optymalizacji obudowy i wyboru wariantu najbardziej korzystnego zarówno pod względem technicznym (nośność i wytrzymałość obudowy), jak i ekonomicznym (masa zużytej stali, robocizna przy wznoszeniu obudowy itp.).

Zastosowanie sytemu CAD jest bardzo pomocne szczególnie w przypadkach tworzenia nowych konstrukcji obudowy i jej akcesoriów, gdyż umożliwia wprowadzanie szeregu zmian i korekt w konstrukcji wraz z natychmiastową weryfikacją w zakresie sprawdzających obliczeń wytrzymałościowych. Pozwala to na szybką optymalizację konstrukcji obudowy z zachowaniem wszystkich wymogów w zakresie bezpieczeństwa.

Wszystkie programy wykorzystywane w procesie projektowania są na bieżąco aktualizowane w oparciu o wyniki badania oraz monitoringu obudowy w warunkach dołowych.

LITERATURA

- [1] *Rulka K. i in.*: Uprozczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny. Katowice, GiG, Seria Instrukcje 2001
- [2] *Prusek S., Rotkegel M., Skrzyński K.*: Komputerowe wspomaganie projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń. Przegląd Górniczy, 2, 2006
- [3] *Rotkegel M.*: Obudowa odgałęzień i skrzyżowań wyrobisk korytarzowych. Od założeń do gotowego wyrobu. Katowice, Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa. Seria Konferencje, 45. Wybrane zagadnienia z zakresu stosowania stalowych obudów chodnikowych, 2003
- [4] *Skrzyński K. i in.*: Opracowanie ujednoliconej metodyki analitycznego określania nośności i wytrzymałości odrzwi obudowy z kształtowników V, z uwzględnieniem charakterystyki sił biernych. Praca GiG o symbolu 13115009–150, 1999 (praca niepublikowana)
- [5] *Skrzyński K., Daniłowicz R.*: Określenie współczynnika wzmocnienia górotworu przy pomocy kotwi w wyrobiskach korytarzowych. Przegląd Górniczy, 4, 2003
- [6] *Kowalski E. i in.*: Określenie możliwości i celowości stosowania odrzwi obudowy chodnikowej o zróżnicowanych wskaźnikach nośności wykonanych z kształtowników typu V jednej wielkości. Praca GiG o symbolu 12010103–151, 2004 (praca niepublikowana)
- [7] COSMOS/M — User's Guide. Los Angeles, Structural Research & Analysis Corp. 1999
- [8] Huta Łabędy SA. Stalowe obudowy górnicze i akcesoria. Katalog wyrobów
- [9] *Reisdorph K.*: Delphi 4 dla każdego. Gliwice, Helion 1999
- [10] ABC Rama 3D. Gliwice, Pro-Soft. 2004
- [11] PN-93/G-15000/02: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP, z kształtowników V, typoszereg A. Wymiary
- [12] PN-93/G-15000/03: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP, z kształtowników V, typoszereg A. Łuki
- [13] PN-H93441-1: Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa. Kształtowniki typu V. Wymiary
- [14] PN-92/G-15000/05: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe otwarte. Badania stanowiskowe
- [15] PN-G-06009: 1997: Wyrobiska korytarzowe poziome i pochyle w zakładach górniczych. Odstępy ruchowe i wymiary przejścia dla ludzi
- [16] PN-G-06010: 1998: Wyrobiska korytarzowe poziome i pochyle w zakładach górniczych. Przekroje poprzeczne symetryczne
- [17] PN-90/B-03200: Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie