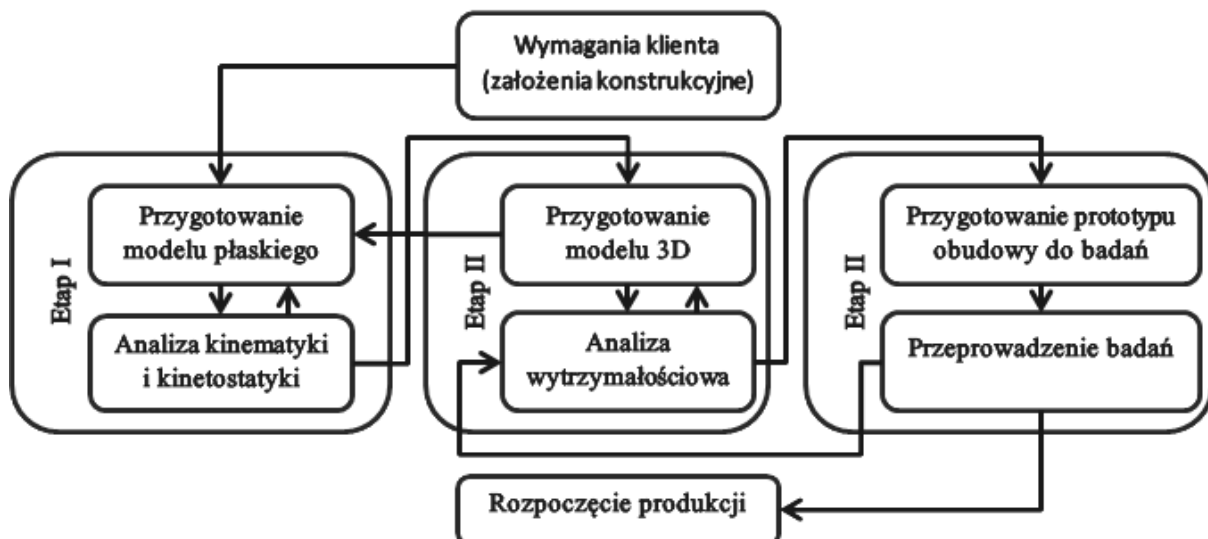


# 36

## KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA ZMECHANIZOWANYCH OBUDÓW ŚCIANOWYCH WEDŁUG METODY ZAKŁADU REMONTOWO-PRODUKCYJNEGO KW S.A.

### 36.1 WPROWADZENIE

Powstanie obudowy zmechanizowanej poprzedza proces projektowy, który można podzielić na 3 główne etapy co obrazuje diagram przedstawiony na rys. 36.1. Przed jego rozpoczęciem należy określić założenia konstrukcyjne, w praktyce będące wymaganiami klienta. To od tych wstępnych założeń zależą parametry projektowanej obudowy.



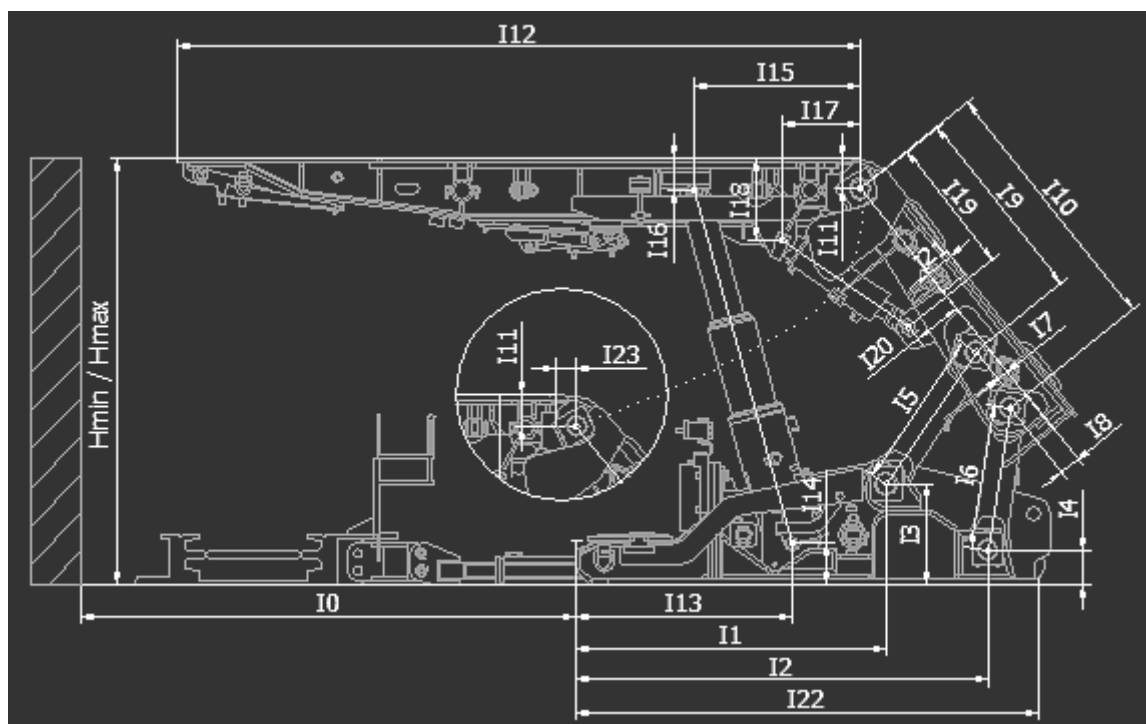
Rys. 36.1 Diagram etatów procesu projektowego obudowy zmechanizowanej

Po określeniu założeń można przystąpić do pierwszego etapu projektowania polegającego na przygotowaniu modelu płaskiego (będącego schematem statycznym łańcucha kinematycznego obudowy), który należy poddać analizie mającej na celu zbadanie jego cech geometrycznych i kinetostatycznych. Analiza ta jest konieczna i pozwala sprawdzić czy przyjęty model spełnia założenia konstrukcyjne. W przypadku

gdy wyniki analizy nie będą spełniać odpowiednich założeń cały etap należy powtórzyć wprowadzając zmiany w modelu i ponownie przeprowadzić analizę. Etap kończy się uzyskaniem schematu sekcji wraz z charakterystyką jej pracy, który wstępnie określa wymiary elementów projektowanej obudowy oraz zestawem wyników obliczeń opisujących m.in. podporność i rozkład sił wewnętrznych. Należy zwrócić uwagę na to, że o ile stworzenie ręcznie modelu działającego w określonym zakresie jest wykonalne, to jednak znalezienie konstrukcji, która spełni przyjęte założenia może być bardzo czasochłonne lub wręcz niemożliwe. Z uwagi na czasowe ograniczenie procedur obejmujących cykl projektowania, pozyskanie materiałów, planowanie produkcji, oraz realizację badań, ważne jest aby etap ten przebiegał szybko i efektywnie. To właśnie poprawieniu efektywności tego etapu procesu projektowego poświęcone jest niniejsze opracowanie.

Nowoczesne podejście do zagadnienia projektowania obudów zmechanizowanych nie może obejść się bez pomocy projektowania wspomaganego komputerowo oraz komputerowych metod obliczeniowych, których przykładem realizacji są:

- Autodesk Inventor – oprogramowanie umożliwiające zamodelowanie projektowanego urządzenia w 3D, a następnie na podstawie tego modelu wykonanie rysunków wykonawczych, złożeniowych, poglądowych i innych,
- Ansys – środowisko inżynierskie umożliwiające m.in. obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji (statyka i dynamika) w oparciu o Metodę Elementów Skończonych (MES).



Rys. 36.2 Rysunek pomocniczy przedstawiający oznaczenia nadane poszczególnym wymiarom łańcucha kinematycznego obudowy

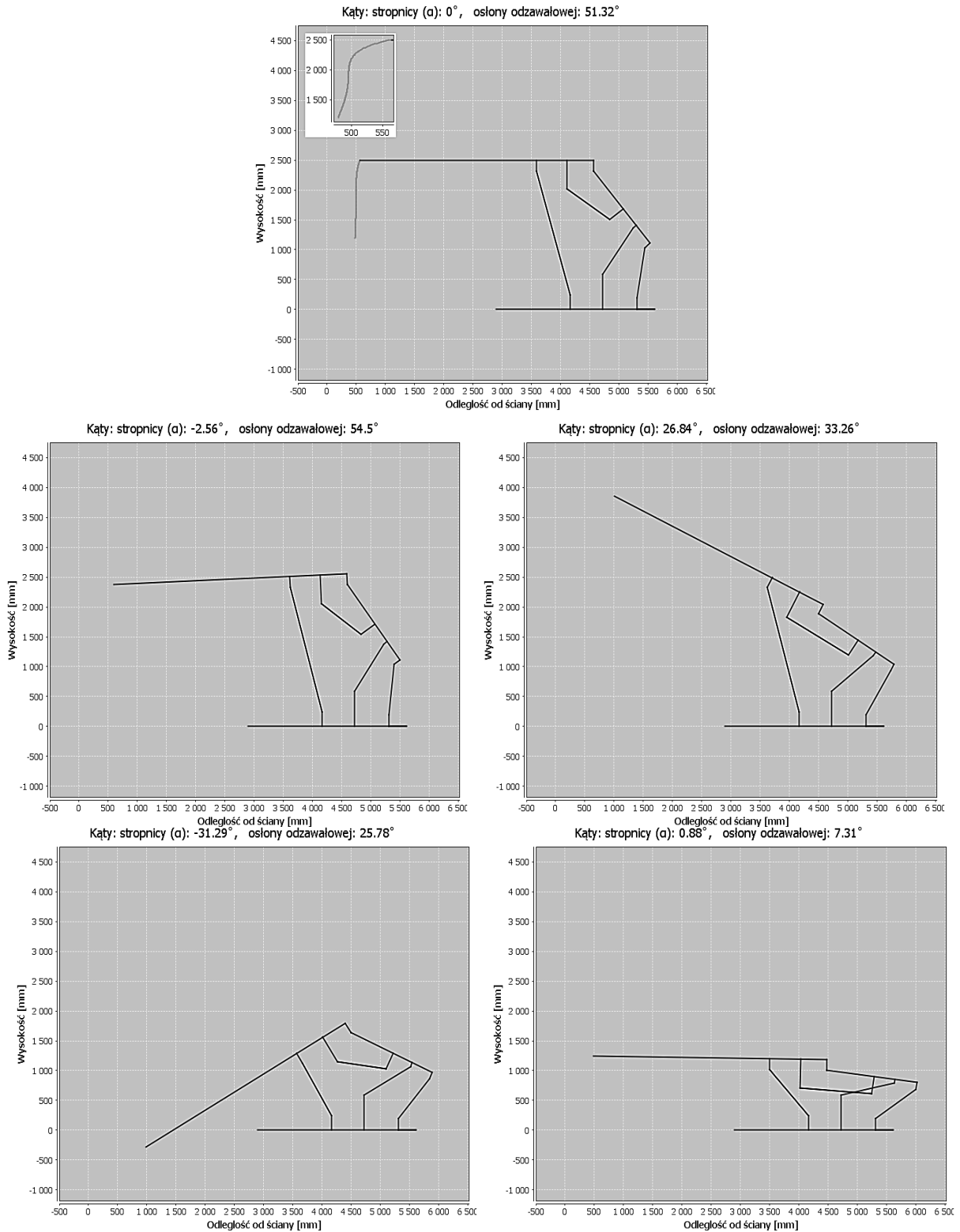
Zakład Remontowo-Produkcyjny poszukiwał na rynku oprogramowania, które wspierałoby proces projektowania kinematyki obudowy oraz łatwo i szybko umożliwiałoby przeprowadzenie obliczeń sił występujących w obudowach ścianowych. Niestety obecny rynek nie oferuje takiego narzędzia lub informacja o nim jest słabo dostępna. Z uwagi na ten fakt podjęto próbę stworzenia takiego oprogramowania w oparciu o doświadczenia własne. Podstawowym założeniem była prostota obsługi i możliwość wykonywania analizy cech geometrycznych oraz sił wewnętrznych dla dowolnego modelu zmechanizowanej obudowy podporowo osłonowej w pełnym zakresie jej pracy (rys. 36.2). Podjęte prace umożliwiły powstanie prototypu narzędzia, które nazwano „PrsLab” (skrót od ang. – Powered Roof Support Laboratory). Opracowany program obliczeniowy spełnił przyjęte założenia a w ocenie autorów jest możliwość rozbudowy jego możliwości obliczeniowych.

### 36.2 WSPIERANIE PROJEKTOWANIA Z UŻYCIEM „PrsLab”

Pierwszym etapem projektowania jest zapoznanie się z podanymi przez klienta wymaganiami, które musi spełniać obudowa [2, 5, 6], takimi jak: zakres pracy, odsłonięcie stropu, parametry podpornościowe [4] czy krzywa lemniskatowa. Pod względem analizy strukturalnej, sekcję obudowy można w uproszczeniu traktować jako mechanizm płaski o 2 stopniach swobody, zbudowany z ośmiu członów sztywnych połączonych dziewięcioma parami przesuwными. Konstruktor musi zaprojektować model łańcucha kinematycznego, który należy przeanalizować z uwagi na jego kinematykę i kinetostatykę [3]. Model ten jest niezbędny do przeprowadzenia obliczeń związanych z wyznaczeniem podporności i sił działających w obudowie. „PrsLab” umożliwia szybko i łatwo przeprowadzić ten proces.

Dane modelu należy podać w postaci wymiarów poszczególnych elementów konstrukcji tj. stropnicy, spągnicy, łączników przedniego i tylnego oraz osłony odzawałowej, których oznaczenie przedstawia rys. 36.2. Projektując nową obudowę wymiary te należy oszacować (w przypadku modernizacji konstrukcji wstępne wymiary są znane), mając na uwadze zakres roboczy. Oprócz zakresu roboczego należy także podać krok dla obliczeń geometrycznych, od którego zależy na jakich pośrednich wysokościach zakresu pracy zostaną one wykonane. Proces obliczeniowy rozpoczyna się od wyznaczenia i sprawdzenia geometrii łańcucha kinematycznego. Może on zostać automatycznie przerwany w sytuacji gdy nie uda znaleźć się rozwiązania lub uzyskane rezultaty przekroczą pewne graniczne dopuszczalne wartości. W takim przypadku należy wprowadzić korekty i ponowić obliczenia. Obliczenia geometryczne realizowane są dla 3 przypadków: stropnicy poziomej oraz wychylonej pod kątem dodatnim (wychylenie w górę) i ujemnym (wychylenie w dół), gdzie dodatkowo można wybrać opcję obliczeń z lub bez uwzględnienia minimalnej i maksymalnej długości podpory. Opcja uwzględniająca zdefiniowany zakres podpory pozwala uzyskać dane pełnej geometrii pracy układu wraz z minimalnymi i maksymalnymi kątami jakie będzie mogła osiągnąć stropnica podczas pracy w zdefiniowanym zakresie. Z kolei analiza wyników uzyskanych bez uwzględniania podpory pomaga dobrać jej odpowiedni zakres.

Rezultaty obliczeń geometrycznych dostępne są za pomocą danych liczbowych (koordynaty punktów; kąty: stojaka, łączników, stropnicy, długości: stojaka, podpory itp. – wszystko w zależności od wysokości sekcji) oraz graficznej reprezentacji modelu płaskiego, co zostało pokazane na rys. 36.3.



**Rys. 36.3** Przykłady wizualizacji pracy obudowy w podanym zakresie z uwzględnieniem długości podpory

Wykonane obliczenia pozwalają również wyznaczyć kształt ścieżki odsłonięcia stropu, która również została zaznaczona na rys. 36.3.

Po udanym wyznaczeniu geometrii łańcucha kinematycznego następuje wyznaczenie parametrów fizycznych. Do ich wyznaczenia, wymagane jest, wprowadzenie danych podpornościowych stojaka i podpory, współczynnika tarcia stropu, oraz siły zewnętrznej  $Q$  (parametr opcjonalny). Dane te w połączeniu z danymi geometrycznymi, pozwalają wyznaczyć podporność i siły wewnętrzne działające w obudowie, dla różnych wariantów, jak uwzględnienie kąta stropnicy, tarcia, lub siły zewnętrznej oddziaływującej na osłonę odzawałową. Algorytm wykonujący obliczenia został zaimplementowany na podstawie wzorów wyprowadzonych w oparciu o literaturę [1].

Aplikacja pozwala również:

- wyznaczyć naciski średnie oraz metodą Jackson'a dla stropnicy i spągnicy,
- wyznaczyć momenty zginające i siły poprzeczne dla stropnicy, spągnicy i osłony odzawałowej,
- wyznaczyć naprężenia w stropnicy, spągnicy, osłonie odzawałowej, łącznikach przednim i tylnym
- określić stabilność sekcji,
- wyznaczyć stosunek podziału długości stropnicy.

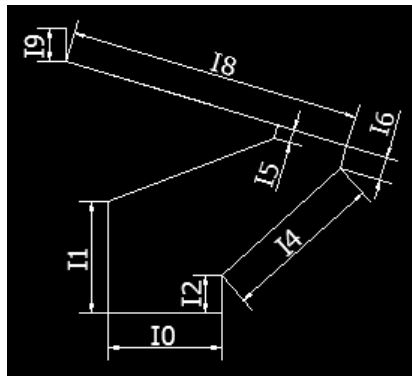
Dla większości uzyskanych danych istnieje możliwość reprezentacji w postaci wykresów. Program umożliwia też łatwe wyciągnięcie wartości minimalnych i maksymalnych tam gdzie jest to potrzebne.

Na podstawie analizy uzyskanych danych projektant może stwierdzić czy zaproponowany przez niego model obudowy będzie spełniał podstawowe założenia konstrukcyjne czy też może konstrukcja wymaga zmian. W razie potrzeby dane wejściowe można łatwo zmienić i szybko powtórzyć proces obliczeniowy. Dodatkowo program pozwala wygenerować gotowy, odpowiednio przygotowany, raport z obliczeń wymagany przez jednostki badawcze, a sam model konstrukcyjny może zostać wyeksportowany do formatu DXF, który obsługiwany jest przez praktycznie każde oprogramowanie typu CAD.

### 36.3 OPTYMALIZACJA UKŁADU LEMNISKATOWEGO

Jednym z założeń konstrukcyjnych jest dopuszczalna szerokość ścieżki odsłonięcia stropu. W większości przypadków przyjmuje się, że jej akceptowalna szerokość nie powinna przekraczać  $100\text{ mm}$  (gdzie w idealnej sytuacji byłaby ona linią pionową). Stworzona aplikacja wyposażona została w dodatkowy moduł umożliwiający automatyczną optymalizację układu lemniskatowego. Do jej przeprowadzenia należy wprowadzić model wejściowy układu lemniskatowego, którego przykład został przedstawiony na rys. 36.4.

Dla każdego z wymiarów należy zdefiniować jego dopuszczalny zakres zmienności podczas optymalizacji. Również oczywistą daną wejściowym jest zakres pracy modelu.



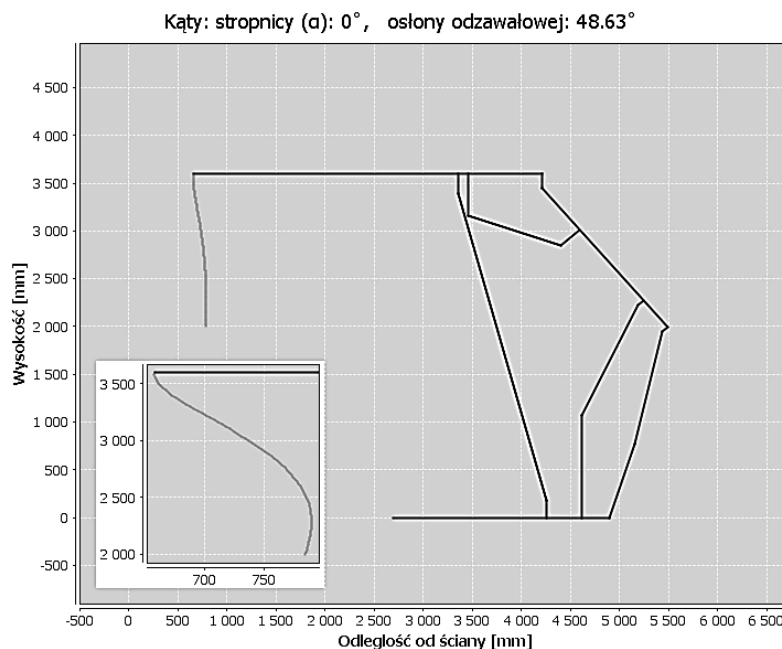
Rys. 36.4 Model bazowy do optymalizacji układu lemniskatowego oraz jego wymiarowanie

Proces optymalizacji układu polega na takim dobraniu wymiarów konstrukcji aby otrzymana w rezultacie ścieżka otwarcia stropu spełniała odpowiednie wymagania. Zaimplementowany algorytm poszukuje rozwiązań, które spełniają wybrane przez projektanta założenia na które składają się: jej szerokość, odpowiedni zwrot (obojętny lub rosnący), oraz położenie w przestrzeni. Dodatkowymi wytycznymi są ograniczenia dotyczące zakresów kątowych osłony odzawałowej oraz łączników przedniego i tylnego.

Rezultatem procesu optymalizacji jest lista znalezionych rozwiązań posortowana ze względu na szerokość uzyskanej ścieżki otwarcia stropu. Zadaniem projektanta jest ich analiza i wybór najbardziej odpowiedniego.

### 36.4 PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA

Do prezentacji zastosowania opisywanego oprogramowania przyjęto przykładowy model łańcucha kinematycznego obudowy, którego graficzną reprezentację przedstawiono na rys. 36.5.



Rys. 36.5 Schemat łańcucha kinematycznego modelu wejściowego z zaznaczoną ścieżką otwarcia stropu w pełnym zakresie pracy

Dla podanego modelu określono zakres pracy, podporność stojaków i siłę gadtłokową podpory przedstawione w tabeli 38.1.

Tabela 36.1 Zakres pracy i parametry stojaków i podpory modelu wejściowego

Dolny zakres pracy	Górny zakres pracy	Podporność robocza stojaków	Siła nadłtoku podpory
2000 mm	3600 mm	2062 kN	514 kN

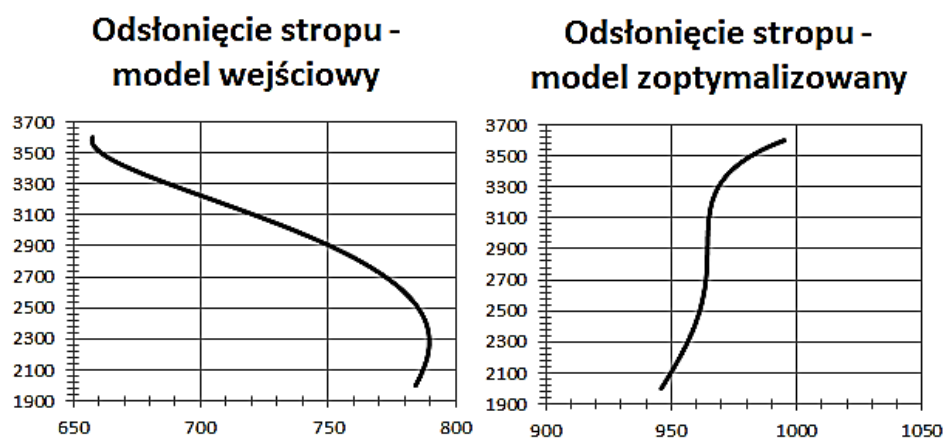
Następnie model wprowadzono do „PrsLab” i przeprowadzono obliczenia których rezultaty przedstawiają rys. 36.6 oraz tabela 36.2.

Tabela 36.2 Wybrane wyniki otrzymane dla modelu wejściowego

Podporność minimalna	Max siła w lemniskacie przednim (od strony stojaka)	Max siła w lemniskacie tylnym	Szerokość ścieżki	Stosunek podziału długości stropnicy	Iloraz max i min długości stojaka
3725 kN	4722 kN	4109 kN	132 mm	3,17	1,86

Dla uproszczenia podczas analizy wyników skupiono się na następujących parametrach: minimalna podporność obudowy w zakresie pracy, wartości sił występujących w obu lemniskatach, szerokość oraz kształt ścieżki, stosunek podziału długości stropnicy i iloraz max i min długości stojaka. Łatwo zauważyć, iż uzyskana szerokość ścieżki przekracza przyjęte za dopuszczalne 100 mm, a jej kształt sporo odbiega od typowego dla tego rodzaju konstrukcji. Dodatkowo powołując się na [1] uzyskany kształt może mieć niekorzystny wpływ na stabilność sekcji, która przekłada się na bezpieczeństwo użytkowania.

Przyjęty model został wprowadzony do modułu optymalizującego w celu znalezienia konstrukcji charakteryzującej się ścieżką o rosnącym kształcie i szerokości poniżej 100 mm. Z uzyskanych rozwiązań wybrano najlepsze, a porównanie ścieżek dla obu modeli przedstawia rys. 36.6.



Rys. 36.6 Porównanie ścieżek odsłonięcia stropu modelu wejściowego i zoptymalizowanego

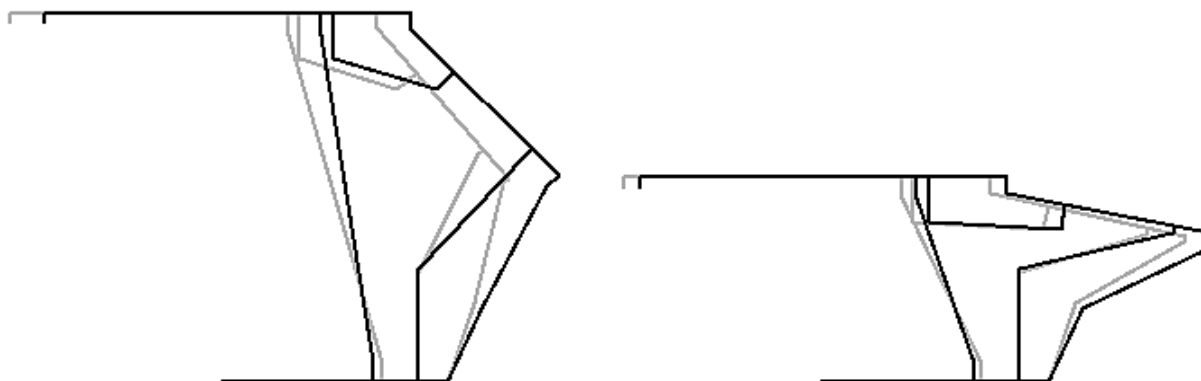
Zoptymalizowany model charakteryzuje akceptowalny kształt ścieżki o szerokości 49 mm. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w przypadku otrzymanej konstrukcji nastąpiło

przesunięcie położenia ścieżki w przestrzeni. Podczas faktycznego procesu projektowania lub modernizacji mogłoby to dyskwalifikować otrzymane rozwiązanie. W takiej sytuacji, w ustawieniach optymalizacji należy uwzględnić położenie krzywej lemniskatowej w odpowiednim zakresie granicznym.

Może się również okazać, że znalezienie rozwiązania spełniającego oczekiwania będzie niemożliwe lub wykonując optymalizację z różnymi założeniami otrzyma się rozwiązania spełniające pewne założenia lepiej, a inne gorzej. Ostatecznie to konstruktor musi wybrać najbardziej kompromisowe rozwiązanie. W prezentowanym przykładzie fakt przesunięcia ścieżki w zoptymalizowanym modelu uznano za akceptowalny.

Następnie otrzymany model wprowadzono na wejście głównej aplikacji i przeprowadzono dla niego obliczenia. Analiza wyników wykazała poprawę minimalnej podporności w zakresie pracy, która wyniosła 3857 kN. Porównując wyniki z tymi otrzymanymi dla modelu wejściowego zwrócono uwagę na stosunek podziału długości stropnicy [1]. Współczynnik ten ma wpływ na doleganie stropnicy do stropu i im niższa jego wartość tym lepsze doleganie. Biorąc to pod uwagę zdecydowano dokonać modyfikacji w położeniach gniazd stojaka, które mają bezpośredni wpływ na wspomniany współczynnik oraz podporność obudowy.

W wyniku optymalizacji i dodatkowych zmian otrzymano model końcowy, którego graficzne porównanie z modelem wejściowym prezentuje rys. 36.7.



Rys. 36.7 Graficzne porównanie modeli wejściowego i końcowego.  
Na czarno model końcowy, na szaro model wejściowy

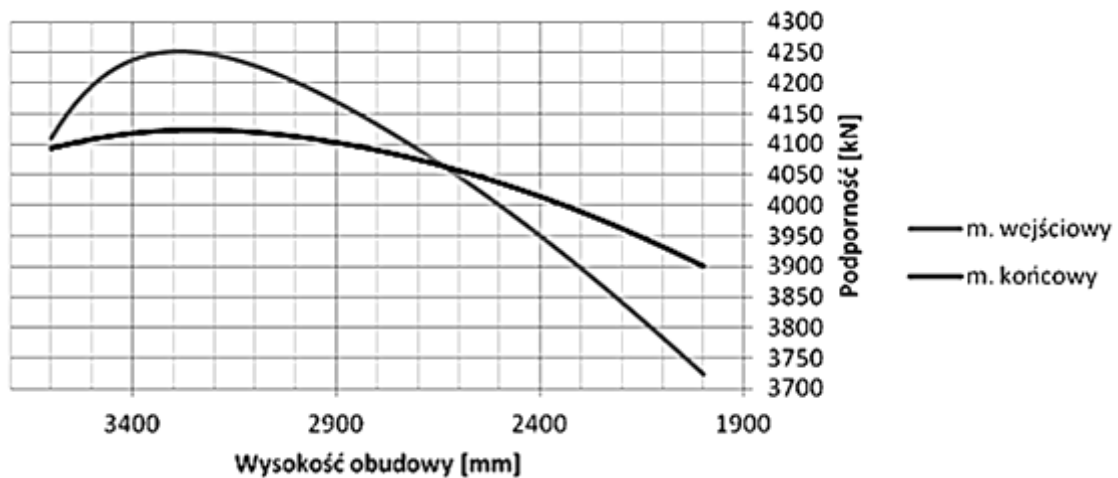
Porównanie wybranych wyników obliczeń przedstawia tabela 36.3.

Tabela 36.3 Wybrane wyniki obliczeń dla modeli wejściowego i końcowego

	Podporność minimalna	Max siła w lemniskacie przednim	Max siła w lemniskacie tylnym	Szerokość ścieżki	Stosunek podziału długości stropnicy	Iloraz max i min długości stojaka
Model wej.	3725 kN	4722 kN	4109 kN	132 mm	3,17	1,86
Model koń.	3900 kN	2610 kN	1782 kN	49 mm	3,03	1,89



Otrzymany model charakteryzuje wyższa minimalna wartość podporności, która ostatecznie wyniosła 3900 kN. Warto także zwrócić uwagę na wykresy zmian podporności w zakresie pracy dla modeli wejściowego i końcowego, przedstawionych na rys. 36.8. W przypadku modelu wejściowego różnica pomiędzy max i min podpornością wyniosła ponad 500 kN, natomiast dla modelu końcowego poniżej 250 kN. Zoptymalizowanie konstrukcji spowodowało zmniejszenie maksymalnych sił występujących w obu łącznikach. Przesunięcie gniazd pozwoliło uzyskać wyższą minimalną podporność [3] oraz lepsze doleganie stropnicy do stropu. Dla obu modeli sprawdzono iloraz max i min długości stojaka. W obu przypadkach otrzymano wyniki poniżej 1,9 co jest akceptowalną wartością. Ostatecznie można stwierdzić, że przeprowadzone czynności pozwoliły uzyskać model o lepszych parametrach.



Rys. 36.8 Porównanie wykresów zmian podporności w zakresie pracy dla modeli wejściowego i końcowego

### 36.5 PODSUMOWANIE

Wykorzystując opisane oprogramowanie dokonano zoptymalizowania łańcucha kinematycznego obudowy. Zaprezentowane narzędzie wspomaga prace konstruktora doskonale sprawdzając się w opracowaniu prototypu obudowy. Pozwala na szybkie i łatwe otrzymywanie wyników oraz wspiera proces projektowania. Po wprowadzeniu danych w zaledwie kilkanaście sekund użytkownik otrzymuje zestaw danych wyjściowych, które może przeanalizować. W przypadku, gdy otrzymane dla przyjętego modelu wyniki są niezadowalające, wystarczy wprowadzić zmiany w danych wejściowych i powtórzyć obliczenia. Dodatkowo zaimplementowany moduł optymalizacji układu pozwolił na automatyczne poszukiwanie odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego. Obecnie program jest ciągle testowany i rozbudowywany o nowe funkcjonalności. Planowanymi elementami rozbudowy są: uwzględnienie sił niesymetrycznych działających na obudowę oraz automatyczna optymalizacja obudowy związana z wymaganiami klienta.

## LITERATURA

1. H. Irresberger, F. Grawe, P. Migenda, Zmechanizowane obudowy ścianowe. Podręcznik dla praktyków. Tiefenbach Polska Sp. z o.o. Katowice 2008.
2. Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE.
3. PN-EN 1804-1+A1:2011 Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne.
4. PN-EN 1804-2+A1:2012 Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 2: Stojaki i pozostałe siłowniki
5. PN-EN 1804-3+A1:2012 Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 3: Hydrauliczne układy sterowania
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. nr 139, poz. 1169 z 2002 r. ze zmianami Dz. U. nr 124, poz. 863 z 2006 r. i Dz. U. nr 126, poz. 855 z 2010 r.).

*Data przesłania artykułu do Redakcji:* 03.2016  
*Data akceptacji artykułu przez Redakcję:* 04.2016

Tomasz Karczewski, Paweł Czarnota  
Kompania Węglowa S.A.,  
Oddział Zakład Remontowo-Produkcyjny  
ul. Granitowa 132 43-155 Bieruń, Polska  
e-mail: t.karczewski@kwsa.pl; p.czarnota@kwsa.pl

**KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA  
ZMECHANIZOWANYCH OBUDÓW ŚCIANOWYCH WEDŁUG METODY  
ZAKŁADU REMONTOWO-PRODUKCYJNEGO KW S.A.**

**Streszczenie:** *Prezentacja autorskiego programu obliczeniowego Zakładu Remontowo-Produkcyjnego, którego zadaniem jest usprawnienie procesu projektowania obudowy zmechanizowanej.*

**Słowa kluczowe:** *obudowa zmechanizowana, optymalizacja, proces projektowania, układ lemniskatowy*

**COMPUTER AIDED DESIGN OF POWERED ROOF SUPPORTS ACCORDING  
TO METHOD OF ZAKŁAD REMONTOWO-PRODUKCYJNY KW S.A.**

**Abstract:** *Presentation of Zakład Remontowo-Produkcyjny's copyright calculation program, tasked with improving of the design of powered roof support.*

**Key words:** *powered roof support, optimization, design process, lemniscate mechanism*