

Józef MARKOWICZ
Politechnika Śląska

OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE PODZESPOŁÓW SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ Z WYKORZYSTANIEM PROCEDUR OPTYMALIZACYJNYCH MES

Streszczenie. W artykule przedstawiono procedury optymalizacyjne programu metody elementów skończonych MSC Nastran, których celem jest uzyskanie konstrukcji o minimalnej masie przy założonym poziomie wyężenia. Przeanalizowano stan wyężenia spagnicy obudowy zmechanizowanej w zależności od wysokości pracy sekcji. Przedstawiono wyniki obliczeń, których celem było wyznaczenie minimalnej masy spagnicy przy założonym poziomie wyężenia.

STRENGTH CALCULATIONS RELATING TO SUBASSEMBLIES OF A POWERED ROOF SUPPORT UNIT USING THE OPTIMIZATION PROCEDURES OF THE FINITE ELEMENT METHOD

Summary. The paper deals with optimization procedures of the finite element method of the MSC Nastran program leading to the development of a construction that has the minimum weight with its assumed effort being kept. The state of effort of a base of the powered roof support depending on the operating height of a powered roof support unit has been analyzed. Results of the calculations made in order to determine the minimum weight of the base under assumed level of effort are presented.

1. Wprowadzenie

Obliczenia wytrzymałościowe podzespołów obudów zmechanizowanych wykonywane na etapie projektowania sekcji mają najczęściej charakter sprawdzający, czy zaprojektowany element spełnia wymagania zawarte w normach i wytycznych projektowania. Celem tych obliczeń jest wyznaczenie wartości współczynnika bezpieczeństwa podzespołu obudowy i sprawdzenie, czy jego wartość nie jest mniejsza od wartości zawartej w wytycznych

projektowania. Obliczenia te wykonuje się wykorzystując stosunkowo proste modele obiektów co, w konsekwencji powoduje, że w tak zaprojektowanym podzespołe obudowy nie zawsze występuje optymalny poziom wyężenia. Można natomiast tak zaprojektować strukturę podzespołów sekcji, aby w maksymalnym stopniu wykorzystać zastosowany w czasie produkcji materiał konstrukcyjny. Otrzymuje się wtedy obiekt charakteryzujący się minimalną masą przy założonym poziomie wyężenia.

Optymalizację struktury każdego podzespołu sekcji obudowy zmechanizowanej można przeprowadzić w tradycyjny sposób poprzez wielokrotne powtarzanie obliczeń przyjmując każdorazowo różne wymiary elementów. Obliczenia prowadzi się wtedy etapami, aż do uzyskania założonego stanu wyężenia. Taki sposób postępowania jest bardzo żmudny oraz pracochłonny i nie zawsze prowadzi do zadowalającego wyniku. Zdecydowanie lepsze efekty można uzyskać wykorzystując procedury optymalizacyjne oferowane na przykład w programach metody elementów skończonych. Wykorzystanie tych procedur umożliwia znaczne ograniczenie pracochłonności obliczeń, wymaga jednak szczegółowego zapoznania się ze sposobem modelowania oraz zadawania parametrów optymalizacyjnych stosowanych w algorytmie.

W artykule przeanalizowano stan wyężenia spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej Fazos 12/28-R-Oz. Wykorzystując następnie procedury optymalizacyjne programu metody elementów skończonych, przeprowadzono analizę wytrzymałościową spągnicy, której celem było otrzymanie konstrukcji o minimalnej masie przy założonym poziomie wyężenia. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu metody elementów skończonych MSC Nastran for Windows v.4.0

2. Procedura obliczeń optymalizacyjnych. Model spągnicy

Procedury optymalizacyjne systemu obliczeniowego MSC Nastran najczęściej wykorzystywane są do zweryfikowania konstrukcji charakteryzujących się minimalną masą przy założonych maksymalnych naprężeniach zredukowanych. Przed przystąpieniem do obliczeń optymalizacyjnych należy zbudować model metody elementów skończonych oraz ustalić cele optymalizacji zawarte w programie MSC Nastran [2].

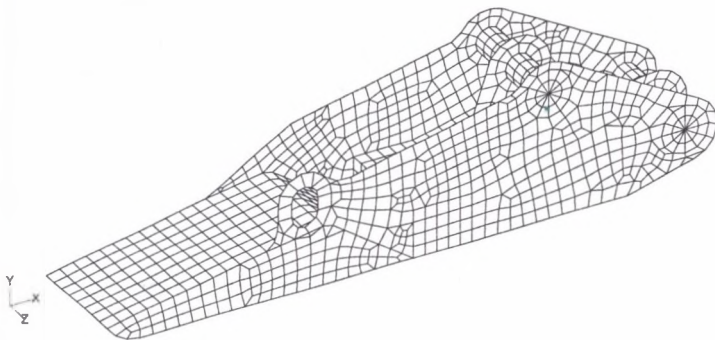
Zdefiniowanie celów optymalizacji sprowadza się zasadniczo do trzech etapów. W pierwszym z nich należy ustalić liczbę cykli optymalizacyjnych (ograniczona jest do 20). W drugim etapie należy ustalić atrybut optymalizacji (rodzaj elementu – pręt, belka, elementy

powłokowo – powierzchniowe oraz ich parametry, względem których będą przebiegały obliczenia optymalizacyjne – powierzchnia, promień bezwładności, grubość). Zadać należy również procentowy zakres ich zmian lub zakres zmian ograniczyć poprzez podanie konkretnych wartości. Można również wprowadzić procentowy zakres zmian w jednym cyklu optymalizacyjnym. W ostatnim etapie ustala się ograniczenia procesu optymalizacji, np. przemieszczenia, obroty, naprężenia oraz ich wartości. Po zdefiniowaniu powyższych celów można przystąpić do analizy optymalizacyjnej dla zadanego sposobu obciążenia i podparcia obiektu.

Modelując spągnicę przyjęto następujące założenia upraszczające:

- blachy, z których wykonana jest spągnica, modelowano elementami powłokowymi, natomiast gniazda stojaków elementami bryłowymi,
- założono, że wytrzymałość spoin jest równa wytrzymałości litego materiału łączonych blach,
- obciążenia spągnicy modelowano zewnętrznymi siłami czynnymi przyłożonymi w gnieździe stojaka, bądź w osiach sworzni przegubów łączących poszczególne podzespoły nośne sekcji,
- pominięto wpływ sił tarcia występujących w parach obrotowych.

Model spągnicy składający się z 2086 węzłów i 2125 elementów powłokowych i brylowych pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Model spągnicy z podziałem na elementy
Fig. 1. Model of a base as divided into elements

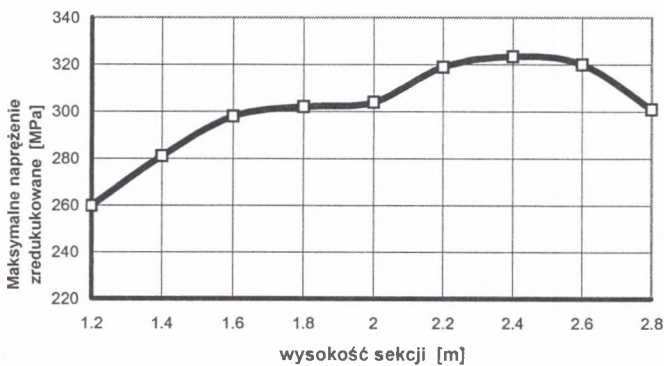
Zamodelowano symetryczny sposób podparcia realizowany w trakcie badań stanowiskowych [1]. Warunki brzegowe zostały zdefiniowane poprzez odebranie odpowiednich stopni swobody. Uwzględniając najbardziej niekorzystny sposób podparcia

założono, że z przodu spągnicy występują podpory przesuwne, natomiast z tyłu podpory stałe. Wartości i kierunki sił działających na spągnicę zależą od wysokości sekcji i przyjętej wartości współczynnika tarcia pomiędzy spągami a spągnicą. Wartości tych sił otrzymano na podstawie obliczeń statycznych płaskiego modelu sekcji.

3. Wpływ wysokości sekcji na stan wyętwienia spągnicy

Celem wyznaczenia wpływu wysokości obudowy zmechanizowanej na wyętwienie spągnicy przeprowadzono obliczenia rozkładu naprężeń zredukowanych. Obliczenia te wykonano w całym zakresie wysokości pracy sekcji, tj. od 1,2 do 2,8 m z krokiem 0,2 m.

Po wykonaniu każdego etapu obliczeń analizowano rozkłady naprężeń zredukowanych oraz określono miejsca, w których występuje największe wyętwienie podzespołu. Obliczenia wykazały, że wraz ze wzrostem wysokości sekcji rośnie wartość maksymalnego naprężenia zredukowanego w zakresie od 259,8 MPa dla wysokości 1,2 m do 323,4 MPa dla wysokości 2,4 m (rys. 2). Dalszy wzrost wysokości sekcji powoduje obniżenie maksymalnych naprężeń zredukowanych w spągnicy do wartości 301 MPa. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że największe wyętwienie konstrukcji spągnicy (przy podporności roboczej sekcji) występuje dla wysokości sekcji 2,4 m.



Rys. 2. Wpływ wysokości obudowy na wartość maksymalnych naprężeń zredukowanych w spągnicy
Fig. 2. Effect of the support height on the value of maximal reduced stresses in the base

4. Optymalizacja struktury spągnicy

Celem obliczeń optymalizacyjnych było otrzymanie struktury spągnicy o minimalnej masie, tak aby w całej konstrukcji nie został przekroczony dopuszczalny poziom naprężeń na granicy plastyczności wg PN-90/B-03200 [3]. Dla przyjętych grubości poszczególnych blach spągnicy nałożono ograniczenia dotyczące maksymalnych naprężeń zredukowanych. Optymalizowano więc grubości blach wchodzących w skład konstrukcji stropnicy. Z obliczeń wyłączono gniazda stojaków, które modelowano elementami bryłowymi.

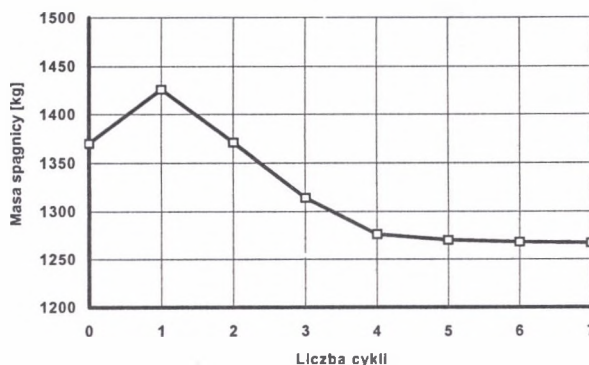
Ustalono następujące parametry procedury optymalizacyjnej:

- liczba cykli - 10,
- atrybuty optymalizacji - zakres zmian grubości wszystkich blach poddanych analizie od 3 mm do 50 mm,
- ograniczenia - wartości naprężeń zredukowanych w całej konstrukcji nie mogą przekroczyć granicy plastyczności ($R_e = 355$ MPa).

Obliczenia optymalizacyjne struktury spągnicy dla obciążeń roboczych zakończyły się po 7 cyklach. Na rysunku 3 pokazano historię zmiany masy stropnicy w funkcji liczby cykli optymalizacyjnych. Porównanie grubości blach przed optymalizacją z wynikami uzyskanymi po optymalizacji przedstawiono na rys. 4.

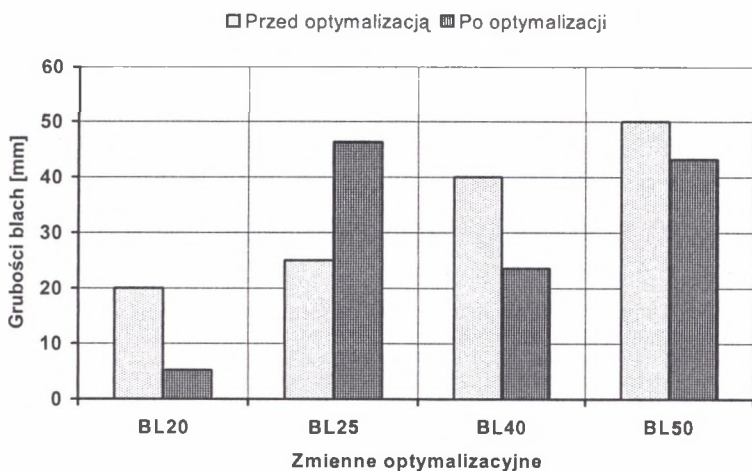
Na rysunku 5 przedstawiono rozkłady pól naprężeń zredukowanych w [MPa] dla blachy o grubości 50 mm po wykonaniu optymalizacji.

W tabelicy 1 zestawiono ważniejsze wyniki obliczeń optymalizacyjnych spągnicy dla obciążeń nominalnych i symetrycznego sposobu jej podparcia.



Rys.3. Historia zmiany masy spągnicy w funkcji liczby cykli optymalizacyjnych

Fig. 3. History of changing of the weight of the base versus the number of optimization cycles



BL20 – Blacha o grubości 20 mm

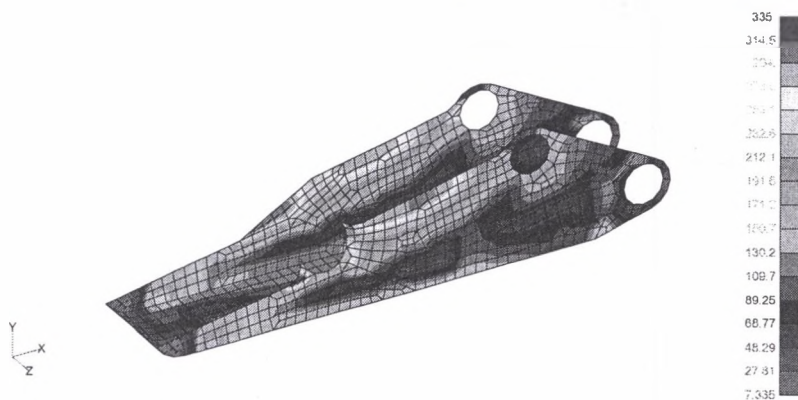
BL25 – Blacha o grubości 25 mm

BL30 – Blacha o grubości 30 mm

BL40 – Blacha o grubości 40 mm

Rys. 4. Porównanie grubości blach spągnicy przed i po optymalizacji

Fig. 4. Comparison of the thickness of plates of the base prior and after optimization



Rys. 5. Rozkład pól naprężeń zredukowanych dla blachy 50 mm po optymalizacji

Fig. 5. Distribution of reduced stress fields for a plate of 50 mm in thickness after optimization

Zestawienie wyników obliczeń

Tablica 1

PARAMETR	BL 20	BL 25	BL30	BL40
Grubości blach przed optymalizacją [mm]	20	25	30	40
Masa stropnicy przed optymalizacją [kg]	1370			
Grubości blach po optymalizacji [mm]	5,137	46,29	23,53	43,2
Znormalizowane grubości blach po optymalizacji [mm]	6	48	24	44
Masa spągnicy uwzględniająca znormalizowaną grubość po optymalizacji [kg]	1293			

5. Podsumowanie

Poziom wyężenia podstawowych podzespołów nošnych obudowy zmechanizowanej zależy w duŹym stopniu od wysokości sekcji. Istotny wpływ na poziom wyężenia sekcji ma wartość siły tarcia na stropnicy obudowy. Obliczenia wytrzymałościowe głównych podzespołów nošnych sekcji oraz badania stanowiskowe obudowy powinny być wykonywane dla wysokości, przy których poziom wyężenia konstrukcji jest największy.

Przykładowe obliczenia, których celem było wyznaczenie minimalnej masy spągnicy (wykonane dla obciążeń odpowiadających podporności roboczej sekcji i przy założeniu że wartości naprężeń zredukowanych nie przekroczą granicy plastyczności) doprowadziły do zmian grubości poszczególnych blach konstrukcyjnych. Spowodowało to zmniejszenie masy spągnicy o 77 kg (6%). Analogiczne obliczenia wykonane dla stropnicy wykazały, że jej masę można zmniejszyć o 228 kg (12%).

Wykorzystanie procedur optymalizacyjnych w metodzie elementów skończonych umożliwia wprowadzenie zmian konstrukcyjnych, które spowodują obniżenie masy konstrukcji przy zachowaniu założonego poziomu jej wyężenia.

LITERATURA

1. Markowicz J., Mysliwiec K., Nahorniak E., Romanowicz S., Szweda S.: Symulacja komputerowa statycznych badań stanowiskowych obudów zmechanizowanych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 1998, nr 2.
2. MSC/Nastran. The Mac Neal – Shwender Corporation. MSC/Nastran for Windows. *Advanced Analysis Examples Manual*. 1997 The MacNeal – Shwender Corporation.
3. PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

Recenzent: Prof. dr hab. inŹ. Walery Szuścik

Abstract

The strength calculations of subassemblies of powered roof supports made at the stage of designing of a support unit are mostly of checking character. The objective of these calculations was to determine a factor of safety of the support subassembly and to check that

its value was not lower than the value specified in the guidelines for designing. In the course of designing it is possible to achieve much better effects when optimization procedures offered by programs based on the finite element method are utilized. These procedures are most often used for verifying of constructions which combine the minimum weight with the assumed maximal reduced stresses.

The calculations, whose results are presented in the paper, were carried out in order to develop such a base of the support unit that the permissible level of stresses was not exceeded in the whole construction. Thus, the thickness of plates from which the structure of a canopy is made has been optimized. The following parameters of the optimization procedure have been laid down: number of cycles – 20 ; attributes of the optimization – range of changes in the thickness of all plates subjected to the analysis from 3 mm to 50 mm; constraints – values of reduced stresses in the whole construction should not exceed the yield point. The preliminary strength calculations have indicated that a level of effort of basic bearing subassemblies of the powered roof support depends, to a considerable degree, on the height of a support unit. The value of friction force occurring on the support canopy has also an essential effect on a level of effort of the support unit. The calculations the objective of which was to determine the minimum weight of a base of the powered roof support unit of the Fazos 12/28-R-Oz type (made for loads corresponding to the support resistance on the assumption that values of reduced stresses do not exceed the yield point) have brought about changes in the thickness of particular constructional plates. As a result, the weight of the base has been reduced by 77 kg (6 %) rom the similar calculations made for a canopy of the support unit it has appeared that its weight can be reduced by 228 kg (12 %).