

Projekt i weryfikacja numeryczna założeń stanowiska do badania wpływu obciążenia na częstotści drgań własnych cienkościennego panelu

The project and the numerical verification of the stations assumptions, to examine the influence of load on natural frequency of thin-walled panel

JAROSŁAW MAŃKOWSKI
PRZEMYSŁAW POPRZĘCKI
RADOSŁAW PAKOWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.9>

Prezentowano projekt stanowiska badawczego pozwalającego na ocenę wpływu obciążenia na częstotści drgań własnych panelu cienkościennego. Opisano również model MES, który umożliwił ocenę wytrzymałości, a przede wszystkim numeryczną weryfikację założeń badawczych.

SŁOWA KLUCZOWE: konstrukcja cienkościenna, częstotści drgań własnych, pole ciśnień

Demonstrated is a description of a research station project, which allows to assess the influence of a load on natural frequency of a thin-walled panel. A FEM model, which allowed assessing the strength, but primarily the numerical verification of the research assumptions, has also been included.

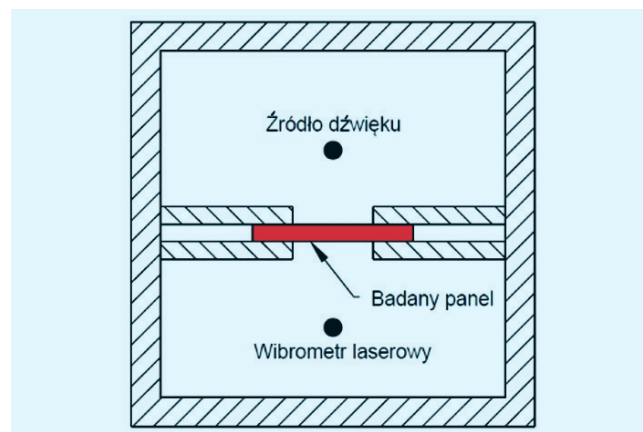
KEYWORDS: thin-walled structure, natural frequency, tension field

O tym, jak ważna jest znajomość częstotści i postaci drgań własnych projektowanych struktur, nie trzeba nikogo przekonywać. Literatura naukowa jest bardzo bogata w artykuły i monografie [1–5] wyjaśniające zjawiska dynamiczne pojawiające się w mechanizmach maszyn i urządzeń przy przechodzeniu wymuszenia przez strefy rezonansu. Wiadomo, jak istotny wpływ – zarówno na trwałość konstrukcji, jak i na komfort ich użytkowania – ma zapewnienie odpowiednich charakterystyk rezonansowych. Jednym z najlepszych sposobów ochrony obiektów technicznych przed negatywnymi skutkami zjawisk rezonansowych jest zadbanie o to, żeby pierwsza częstotść drgań własnych była wysoka i wykraczała poza zakres częstotści wymuszenia. Taki sposób projektowania powinien zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa konstrukcji oraz „klimat akustyczny”. Ma to niezwykle istotne znaczenie w konstrukcjach cienkościennech, które bardzo często pracują przy obciążeniach zbliżonych do obciążeń krytycznych. Dotyczy to zwłaszcza konstrukcji lotniczych [6, 7] i pojazdów samochodowych [8, 9, 10].

Podczas analiz numerycznych struktur cienkościennech, opisanych m.in. w [11, 12], zauważono istotny wpływ obciążenia na częstotści drgań własnych paneli cienkościennech. Dotyczy to zwłaszcza obciążeń stycznych powodujących powstawanie pola ciśnień [6, 13, 14, 15] w typowych, prostokątnych panelach, w których cienkościenne pokrycie jest przymocowane do stosunkowo sztywnego szkieletu. W związku z tym uznano za celowe zbudowanie stanowiska, które (po przeprowadzeniu numerycznej weryfikacji założeń) umożliwi zbadanie wpływu obciążeń stycznych na częstotści drgań własnych blach pokrycia.

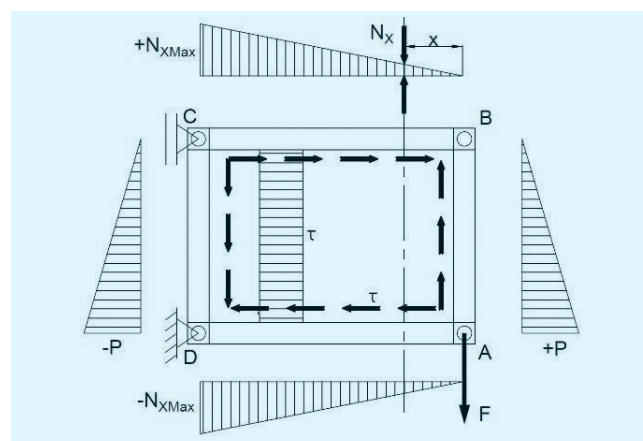
Założenia projektu

Podstawowym warunkiem było wykorzystanie istniejącej komory, w której głośnik stanowi źródło wymuszenia drgań panelu (struktury cienkościennej), a do pomiaru drgań zastosowano wibrometr laserowy (rys. 1).



Rys. 1. Schemat wykonywania pomiaru

Aby wyeliminować wpływ zginania elementów szkieletu na postać wyboczenia pokrycia, postanowiono, że stanowisko będzie spełniało założenia klasycznego modelu półskorupowego [6, 16], w którym elementy szkieletu są połączone przegubowo i przenoszą obciążenia normalne, a cienkościenne panel przenosi obciążenia tnące (rys. 2). Przyjęto również, że badane struktury będą testowane dla obciążeń przekraczających obciążenia krytyczne, powodujące lokalną utratę stateczności w zakresie sprężystym materiału.

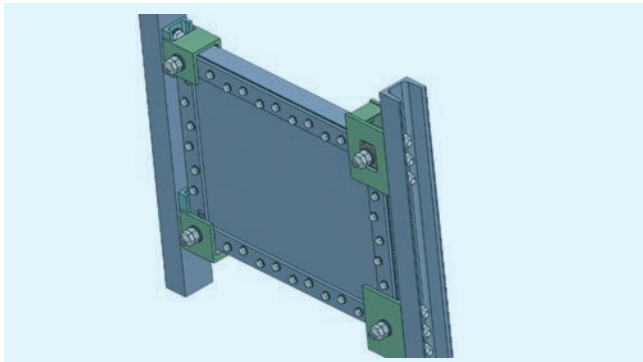


Rys. 2. Model panelu – obciążenia i warunki brzegowe

* Dr inż. Jarosław Mańkowski (jaroslaw.mankowski@simr.pw.edu.pl), inż. Przemysław Poprzęcki (ppoprzecki@gmail.com), dr inż. Radosław Pakowski (radoslaw.pakowski@simr.pw.edu.pl) – Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej

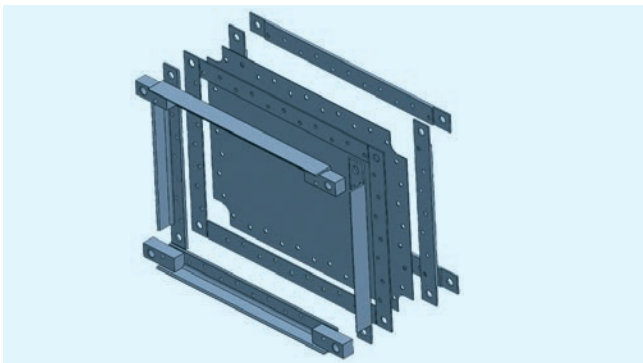
Projekt

Elementy mocowań (rys. 3), wykorzystujące m.in. połączenia sworzniowe w narożach i prowadnice, zapewniają, że układ działa zgodnie z rys. 2.



Rys. 3. Konstrukcja panelu z utwierdzeniami

Szkielet panelu składa się z płaskowników o dwóch różnych grubościach oraz kątowników równoramiennych (rys. 4). Te części są przymocowane do płyty za pomocą połączeń gwintowych. Dodatkowo w każdym z naroży znajdują się wzmocnienia w postaci przyspawanych łączników.

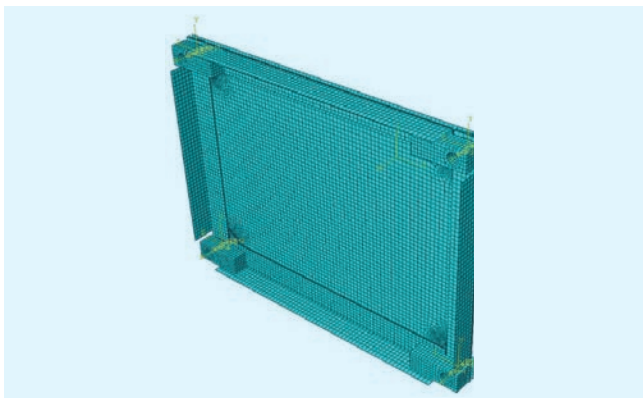


Rys. 4. Panel – widok rozstrzelony bez elementów łączących

Model MES

Większość części panelu powstało z czworokątnych elementów powłokowych pierwszego rzędu (rys. 5). Jedynie łączniki zostały zamodelowane jako sześciennie elementy bryłowe pierwszego rzędu.

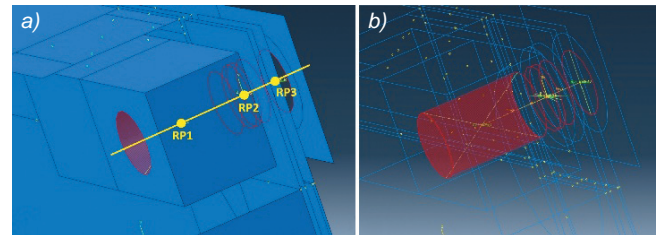
Połączenia nieruchome są realizowane przez wiązania typu Tie, czyli węzły sąsiadujących ze sobą elementów mają powiązane stopnie swobody. Sworznie zostały zastąpione wiązaniami kinematycznymi.



Rys. 5. Model MES

Ostatecznie każdy sworznień zastąpiono trzema punktami referencyjnymi (rys. 6) znajdującymi się na prostej, która jest osią obrotu sworzni. Poszczególne punkty referencyjne są połączone wiązaniami kinematycznymi typu MPC Beam z powierzchniami odpowiadających im otworów w elementach szkieletu. Dodatkowo pomiędzy punktami referencyjnymi zastosowano wiązania typu Connector Hinge, czyli możliwy jest jedynie względny ruch obrotowy.

Warunki brzegowe wprowadzono jako blokady odpowiednich przemieszczeń i obrotów w środkowych punktach referencyjnych, zgodnie ze sposobem działania utwierdzeń. Obciążenie wprowadzono również w środkowym punkcie referencyjnym.

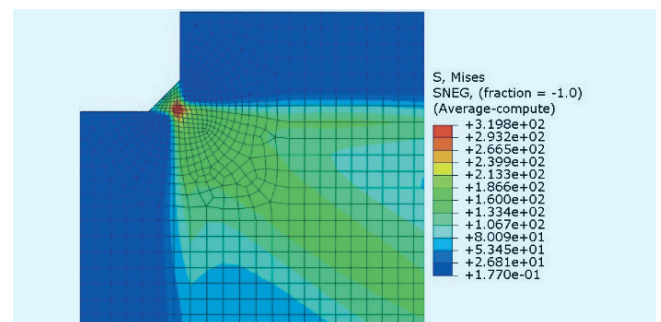


Rys. 6. Sposób zamodelowania połączenia sworzniowego w MES

Wyniki

Konstrukcja została zweryfikowana pod względem wytrzymałościowym. Przeprowadzono statyczną analizę nieliniową z uwzględnieniem dużych deformacji.

Naprężenia zredukowane we wszystkich elementach konstrukcji nie przekraczają wartości dopuszczalnych. W płycie można zaobserwować koncentrację naprężeń w okolicach naroży. Największa występuje w narożu C i według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego wynosi 319,8 MPa (rys. 7).

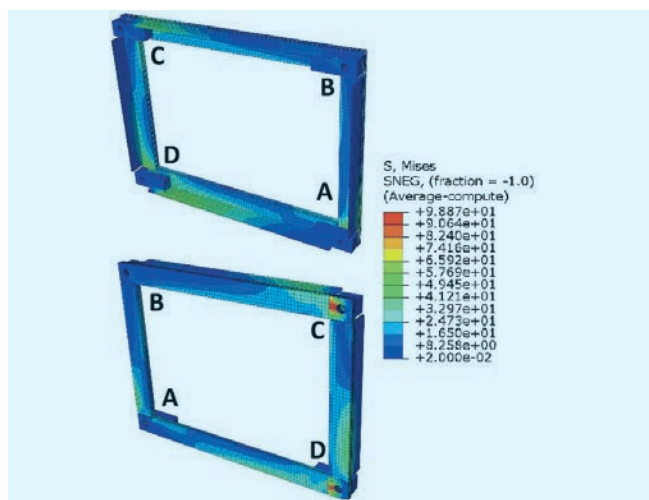


Rys. 7. Mapa naprężeń zredukowanych w MPa w narożu C płyty

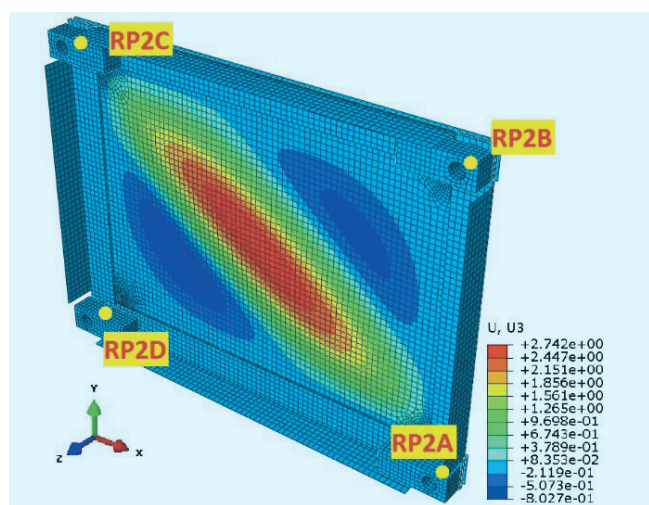
W elementach szkieletu największe naprężenia zredukowane występują w okolicach otworów na sworznie (rys. 8). Maksymalne naprężenie według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego zaobserwowano w górnym płaskowniku o grubości 5 mm; wynosi ono 98,9 MPa. Maksymalne ugięcie w punkcie przyłożenia siły wynosi 0,59 mm.

Wyznaczono mapę przemieszczeń na kierunku prostopadłym do płyty (rys. 9). Duże deformacje są spowodowane powstaniem polaciągnięć w płycie. Biorąc pod uwagę przemieszczenie środkowego punktu płyty oraz wynik analizy sił krytycznych, można dostrzec, że gwałtowny wzrost przemieszczeń następuje w momencie, gdy wartość obciążenia jest bliska wyznaczonej sile krytycznej, wynoszącej 3800,7 N (por. rys. 11).

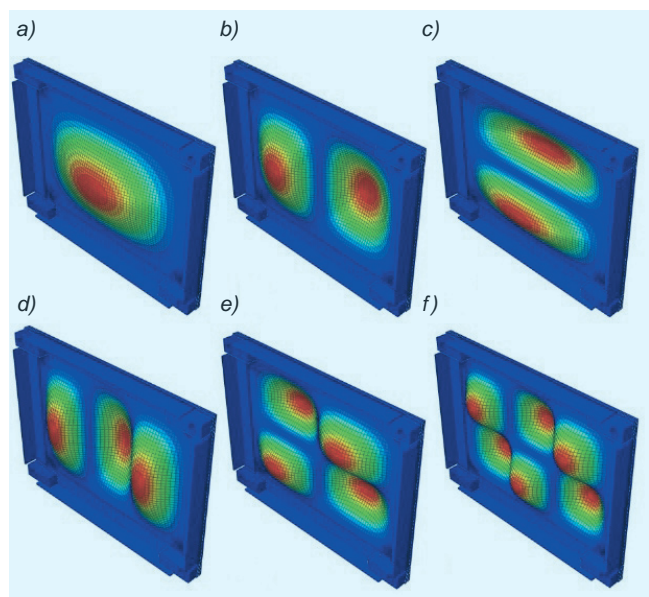
Przeprowadzono analizę częstości drgań własnych bez obciążenia. Jej wyniki pokazano na rys. 10, a odpowiadające im częstości (w Hz) wynoszą: a) 119,62; b) 192,44; c) 287,86; d) 313,80; e) 356,05; f) 470,82.



Rys. 8. Mapa naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego w elementach szkieletu



Rys. 9. Mapa przemieszczeń na kierunku prostopadłym do płyty

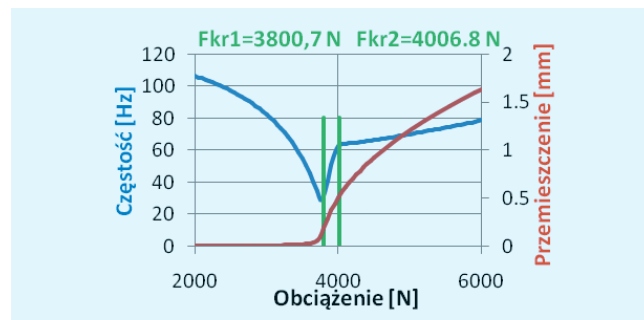


Rys. 10. Sześć pierwszych postaci drgań własnych (opis w tekście)

Ponadto wyznaczono przebieg zmian częstości drgań własnych pod obciążeniem (rys. 11). Zrealizowano to jako cykliczne przeprowadzanie dwóch rodzajów analiz, jedna po drugiej, w których pierwsza była statyczną analizą naprężeniowo-przemieszczeniową, a druga – analizą czę-

stotliwości drgań własnych. Model był obciążany zadany przyrostem siły, po czym badano wartość częstości drgań własnych. Cykl się powtarzał do osiągnięcia końcowej wartości obciążenia.

Przebieg częstości drgań własnych w funkcji obciążenia przedstawiono na rys. 11. Można zaobserwować, że wartość częstości drgań do momentu utraty stateczności maleje, a po jej przekroczeniu – rośnie. Minimalna wartość wyniosła ok. 29 Hz.



Rys. 11. Zależność częstości i przemieszczeń od obciążenia

Podsumowanie i wnioski

Analizy numeryczne dowiodły, że zaprojektowana konstrukcja spełnia założenia. W żadnym z elementów nie zostały przekroczone naprężenia dopuszczalne, a elementy szkieletu zapewniają odpowiednią sztywność. Symulacje pracy stanowiska dla blachy pokrycia o grubości od 0,5 do 1 mm potwierdziły bardzo istotny wpływ obciążenia stycznego na częstości drgań własnych. We wszystkich przypadkach dla obciążenia bliskiego wartości krytycznej zanotowano spadek częstości drgań własnych o ponad 70% w stosunku do częstości konstrukcji nieobciążonej. Potwierdza to prawidłowość założeń i konieczność wykonania eksperymentu na obiektach rzeczywistych.

LITERATURA

1. Borkowski W., Konopka S., Prochowski L. „Dynamika maszyn roboczych”. Warszawa: WNT, 1996.
2. Dąbrowski Z. „Wały maszynowe”. Warszawa: PWN, 1999.
3. Marchelek K. „Dynamika obrabiarek”. Warszawa: WNT, 1991.
4. Osiński Z. „Teoria drgań”. Warszawa: PWN, 1978.
5. Osiński Z. (red.). „Tłumienie drgań”. Warszawa: PWN, 1997.
6. Kuhn P. „Stresses in aircraft and shell structures”. Nowy Jork–Toronto–Londyn: McGraw-Hill Book Company Inc., 1956.
7. Lewitowicz J. „Podstawy eksploatacji statków powietrznych”. Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 2001.
8. Romanów F. „Wytrzymałość ram i nadwozi pojazdów”. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1988.
9. Rusiński E. „Mikrokomputerowa analiza ram i nadwozi pojazdów i maszyn roboczych”. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1990.
10. Teisseyre J. „Budowa nadwozi. Cz. I: Obliczenia”. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1965.
11. Mańkowski J. „Wpływ pola ciągłych na obciążenia połączeń nitowych występujących w konstrukcjach cienkościennych”. Warszawa: Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, 2009.
12. Prus M. „Numeryczne badanie wpływu obciążenia stycznego na wartości częstości drgań własnych prostokątnej blachy”. Warszawa: Politechnika Warszawska, 2017.
13. Hertel H. „Leichtbau Flugzeuge und andere Leichtbauwerke”. Springer-Verlag, 1960.
14. Elgaaly M. „Thin steel plate shear walls behavior and analysis”. *Thin-Walled Structures*. 32, 1–3 (1998): s. 151–180.
15. Vatansever C., Berman J.W. „Analytical investigation of thin steel plate shear walls with screwed infill plate”. *Steel and Composite Structures*. 19, 5 (2015): s. 1145–1165.
16. Brzoska Z. „Statyka i stateczność konstrukcji prętowych i cienkościennych”. Warszawa: PWN, 1965.