

## SUMMARY

## STABILITY OF A RECTANGULAR PLATE WITH SYMMETRICALLY VARIABLE MECHANICAL PROPERTIES SUBJECTED TO DYNAMIC LOADING

Dawid WITKOWSKI

The subject of this thesis is analytical and numerical testing of rectangular plate with mechanical and physical properties symmetrically variable along its thickness. The plate had hinged support on its edges and was loaded with compressive dynamic forces and pressure varying in time, distributed evenly over the surface. The adopted description of changes in material properties on a macroscopic scale is a generalization for homogeneous, functionally graded materials and three-layer sandwich-like structures with symmetrical properties with respect to the middle plane. The research was carried out for the family of functionally graded materials on the example of aluminum foam with variable porosity, along with a boundary transition to a homogeneous material.

A coherent, nonlinear hypothesis of a straight line deformation normal to the middle plane of the plate and taking into account the shear effect, was proposed on the basis of which the analytical model was developed. A system of differential equations of motion was formulated using the Hamilton's variational principle of least action. This system was reduced by the Galerkin method to a single nonlinear second-order differential equation. The energy of elastic deformation was described in accordance with the nonlinear relations between displacement and deformation and taking the Hooke's law into account. With regard to the formulated analytical model, numerical analyzes were performed using the finite element method in the ABAQUS 6.12-2 environment. Detailed numerical studies of the influence of imperfections on the static and dynamic stability of the slab were performed. The applied modeling methods were validated by comparing the results obtained with both methods.

The results of tests carried out for the basic structural element, which is a rectangular plate, were used to shape and optimize the structure of a rail vehicle body, on the example of a passenger car, in order to replace the classic frame construction with a half-shell structure. A series of numerical analyzes were carried out, with particular emphasis on the wagon floor and side wall as an example of the use of a plate made of a functionally graded materials. The obtained results were compared with selected criteria of the normative requirements in terms of the strength and passive safety of the body structure, thus assessing the operational practicality of the proposed design solution.



## STRESZCZENIE

Przedmiotem pracy są analityczne oraz numeryczne badania płyty prostokątnej o symetrycznie zmiennych właściwościach mechanicznych i fizycznych wzdłuż jej grubości. Rozważaniom poddano płytę podpartą przegubowo na jej brzegach i obciążoną ściskającymi siłami dynamicznymi oraz zmiennym w czasie ciśnieniem, rozłożonym równomiernie na powierzchni. Przyjęty opis zmian właściwości materiałowych w skali makroskopowej stanowi uogólnienie dla materiałów jednorodnych, gradientowych oraz struktur trójwarstwowych typu „sandwich” o właściwościach symetrycznych względem płaszczyzny środkowej. Badania przeprowadzono dla rodziny materiałów gradientowych na przykładzie piany aluminiowej o zmiennej porowatości, wraz z przejściem granicznym do materiału jednorodnego.

Zaproponowano spójną, nieliniową hipotezę deformacji prostej normalnej do płaszczyzny środkowej płyty uwzględniającą efekt ścinania, na podstawie którego opracowano model analityczny. Wyprowadzono układ różniczkowych równań ruchu z zastosowaniem wariacyjnej zasady najmniejszego działania Hamiltona. Układ ten sprowadzono metodą Galerkina do pojedynczego nieliniowego równania różniczkowego drugiego rzędu. Energię odkształcenia sprężystego opisano zgodnie z nieliniowymi związkami między przemieszczeniem a odkształceniem oraz z uwzględnieniem prawa Hooke’a. W odniesieniu do sformułowanego modelu analitycznego przeprowadzono analizy numeryczne z zastosowaniem metody elementów skończonych w środowisku ABAQUS 6.12-2. Wykonano szczegółowe badania numeryczne wpływu imperfekcji na stateczność statyczną i dynamiczną płyty. Zastosowane metody modelowania poddano walidacji przez porównanie wyników otrzymanych obiema metodami.

Wyniki badań przeprowadzonych dla podstawowego elementu konstrukcyjnego, jakim jest płyta prostokątna, zastosowano do kształtowania i optymalizacji konstrukcji nadwozia pojazdu szynowego, na przykładzie wagonu osobowego, w celu zastąpienia klasycznej konstrukcji szkieletowej konstrukcją półskorupową. Przeprowadzono szereg analiz numerycznych ze szczególnym uwzględnieniem podłogi i ścian bocznych wagonu jako przykładu zastosowania płyty wykonanej z materiału gradientowego. Otrzymane wyniki zestawiono z wybranymi kryteriami wymagań normatywnych w zakresie wytrzymałości i bezpieczeństwa pasywnego konstrukcji nadwozia. W ten sposób poddano ocenie możliwość wprowadzenia do eksploatacji zaproponowanego rozwiązania konstrukcyjnego.

