

Edyta PIĘCIORAK\*  
Politechnika Krakowska

## MODEL NUMERYCZNY BELKI Z FALISTYM ŚRODNIKIEM

**Streszczenie.** Przedmiotem pracy jest analiza numeryczna belki z falistym środkiem oraz weryfikacja otrzymanych wyników za pomocą programu MARC [1] z wynikami badań doświadczalnych i numerycznych przy wykorzystaniu programem ANSYS 6.1 [2].

## NUMERICAL MODEL GIRDER WITH SINUSOIDALLY CORRUGATED WEB

**Summary.** The dissertation presents numerical analysis of the behaviour of girder with sinusoidally corrugated web. The numerical results carried out with use of program MARC [1] are compared with the results of experimental tests and results carried out with use of program ANSYS 6.1. [2].

### 1. Wprowadzenie

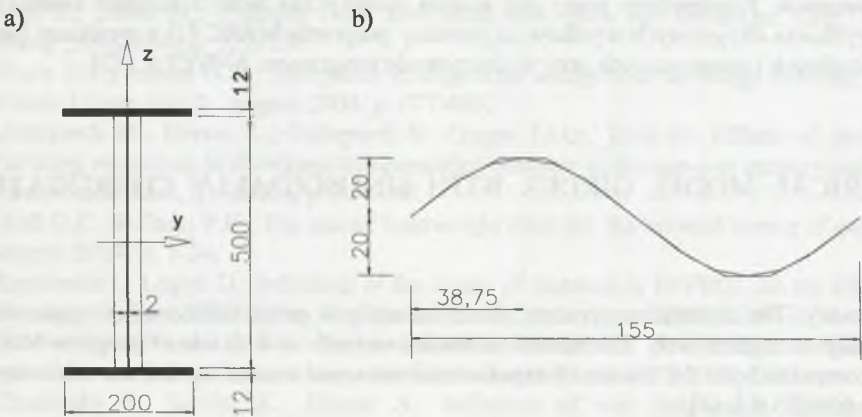
Blachownice z falistym środkiem znane są już od lat 60. XX wieku, jednakże ze względu na trudności technologiczne związane z łączeniem pasów ze środkiem nie znalazły w ówczesnych czasach szerszego zastosowania. Dopiero powstałe w latach 80. w pełni zautomatyzowane linie technologiczne do spawania blachownic o falistym środku spowodowały wzrost ich zastosowań [3]. Obecnie blachownice z falistym środkiem używane są jako rygle i słupy w konstrukcjach hal parterowych jedno- i wielonawowych. Redukcja ciężaru blachownicy wynikająca z kształtu środka, zwiększona sztywność środka poprzez fałdowe wyprofilowanie (rodzaj uźebrowania), walory estetyczne spowodowały, że blachownice z falistym środkiem stanowią atrakcyjną alternatywę dla elementów walcowanych.

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Marek Piekarczyk

W pracy przedstawiono analizę numeryczną jednoprzęsłowej, wolnopodpartej belki z falistym środnikiem, obciążonej siłą skupioną przyłożoną w środku rozpiętości przęsła (nad żebrem). Wyniki uzyskane za pomocą programu MARC [1] porównano z wynikami badań doświadczalnych przeprowadzonych w laboratorium Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowli Politechniki Krakowskiej [2] oraz z wynikami numerycznymi uzyskanymi przy wykorzystaniu programu ANSYS 6.1 przez dra Krzysztofa Kuchtę [2].

## 2. Model numeryczny belki z falistym środnikiem

Analiza numeryczna belki została wykonana przy użyciu programu MARC [1]. Przekrój poprzeczny belki oraz geometrię fałdy środnika (fałdy trapezokształtnej aproksymującej kształt sinusoidy) przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny belki – a, Geometria fali sinusoidalnej z zastępczą fałdą trapezową – b  
Fig. 1. Cross section of girder – a, Corrugation Configuration Parameters – b

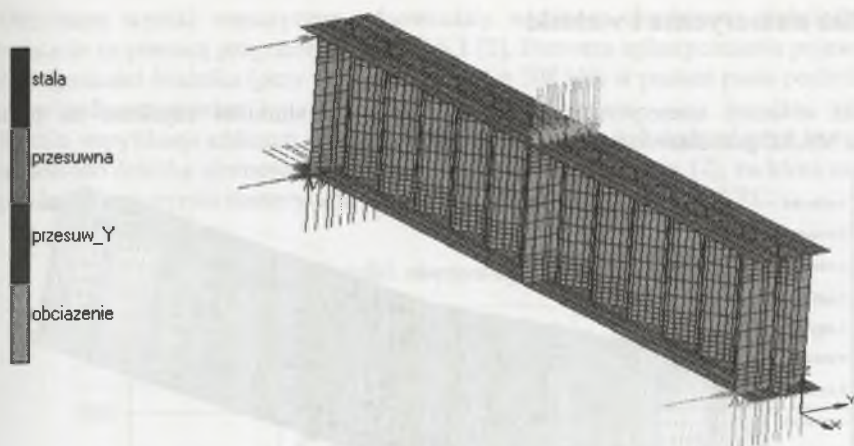
Obliczenia przeprowadzono przy następujących danych materiałowych:

$E1 = 205 \text{ GPa}$ ;  $E2 = 0,0001E1$ ;  $\nu = 0,3$

dla pasów i żeber:  $f_y = 256,2 \text{ MPa}$

dla środnika:  $f_y = 311,3 \text{ MPa}$

Przyjęto schemat statyczny jednoprzęsłowej belki wolnopodpartej (rozpiętości między podporami 1860 mm) obciążanej stopniowo siłą  $P$  rozmytą na szerokości pasa, przyłożoną nad żebrem w środku rozpiętości przęsła. Przekroje podporowe belki zabezpieczono przed przemieszczeniami bocznymi – adekwatnie do warunków podparć belki eksperymentalnej [2]. W miejscach sił skupionych wprowadzono żebra usztywniające o grubości 10 mm, które usytuowano w „punktach zerowych” sinusoidy (rys. 2.).



Rys. 2. Schemat statyczny modelu powłokowego  
Fig. 2. Static scheme of shell model

Numeryczny model belki z falistym środkiem zbudowano w całości z 4-węzłowych elementów powłoki cienkiej (element nr 139 [1]) z sześcioma stopniami swobody w węzle (3 stopnie translacji i 3 rotacji). W analizie uwzględniono nieliniowości materiałowe (idealnie sprężysto-plastyczny materiał) oraz geometryczne (duże przemieszczenia). Imperfekcję geometryczną przyjęto w postaci pocienienia rzeczywistej grubości środka o  $1/20$  jego nominalnej grubości (0.1mm). Sinusoidę środka opisano dziesięcioma elementami skończonymi na długości pojedynczej fali. W strefie przylegania środka do pasów zagęszczono węzły siatki ze względu na występujące w tej strefie zaburzenia brzegowe. Automatyczną adaptację węzłów siatki przez program MARC przedstawiono na rysunku 3.

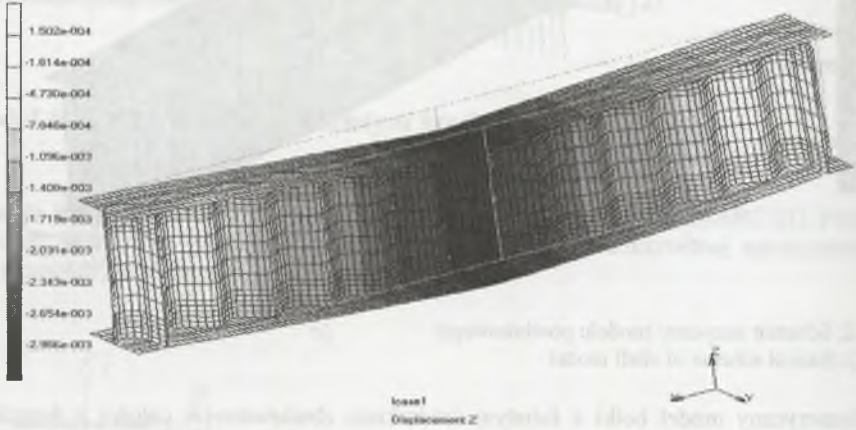


Rys. 3. Siatka elementów skończonych modelu powłokowego  
Fig. 3. Mesh of model



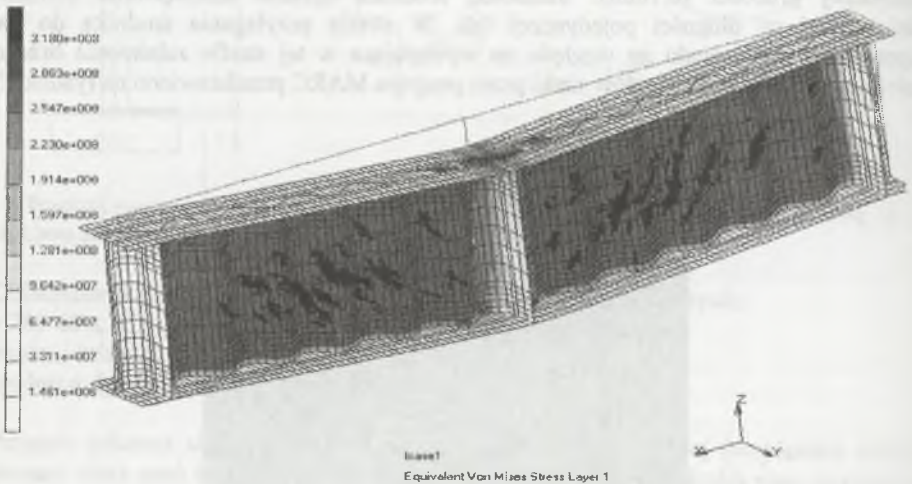
### 3. Analiza numeryczna i wnioski

Wyniki obliczeń numerycznych belki z falistym środnikiem uzyskane za pomocą programu MARC przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Przeszyczenia w kierunku osi Z w chwili pojawienia się pierwszych uplastycznień  $P=308$  kN,  $\delta=2,966$  mm

Fig. 4. Displacement in Z direction when the first plastic zones occurred  $P=308$  kN,  $\delta=2,966$  mm

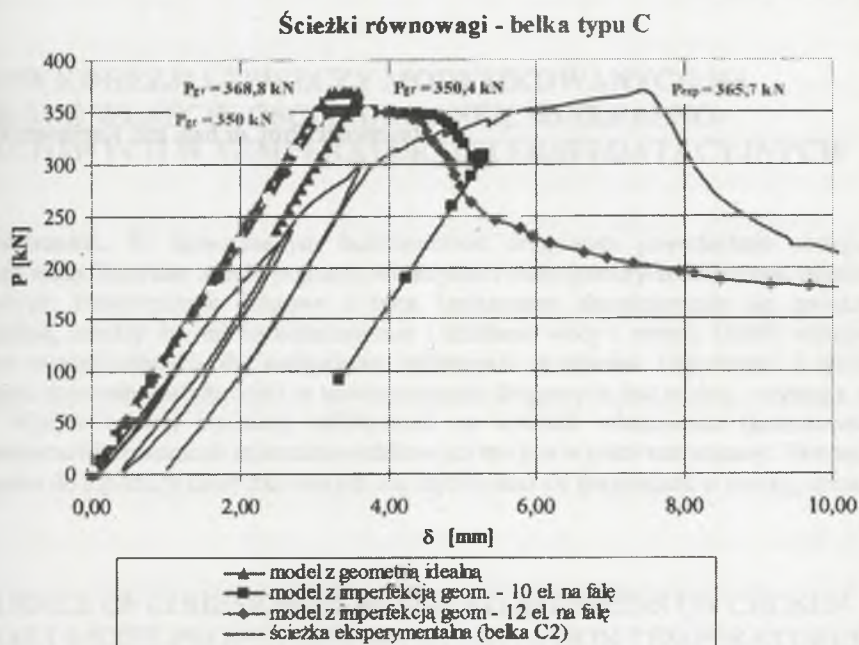


Rys. 5. Rozkład naprężeń  $\sigma_{H-M-H}$  w belce w chwili pojawienia się pierwszych uplastycznień  $P=308$  kN,  $\delta=2,966$  mm

Fig. 5. Stress Distribution  $\sigma_{H-M-H}$  in girder when the first plastic zones occurred  $P=308$  kN,  $\delta=2,966$  mm

Otrzymane wyniki numeryczne odpowiadały wynikom uzyskanym doświadczalnie i numerycznie za pomocą programem ANSYS 6.1 [2]. Pierwsze uplastycznienia pojawiły się w środku wysokości środka (przy obciążeniu siłą  $P = 308 \text{ kN}$ ) w postaci pasm pochyłonych w kierunku środkowego żebra.

W celu weryfikacji obliczeń numerycznych z badaniami doświadczalnymi na rysunku 6 przedstawiono ścieżkę równowagi statycznej zamieszczoną w pracy [2], na którą naniesiono dużymi kropkami wyniki numeryczne uzyskane za pomocą programu MARC.



Rys. 6. Porównanie numerycznych ścieżek równowagi statycznej belki obliczonej numerycznie za pomocą programów ANSYS [2], MARC ze ścieżką eksperymentalną [2]

Fig. 6. Comparison of static path of equilibrium for beam gained from numerical calculation [2]

Analizując nośności graniczne belki otrzymane doświadczalnie i numerycznie, należy zauważyć, że nośności graniczne otrzymane w wyniku badań numerycznych są wyższe od tych otrzymanych doświadczalnie.

## LITERATURA

1. MSC.MARC vK7.3 User Manual. Theory. MARC Analysis Research Corp., 1998, USA.
2. Kuchta K.: Nośność i sztywność blachownic o falistych środknikach. Praca doktorska, Kraków 2004.
3. Łubiński M., Filipowicz A., Żółtowski W.: Konstrukcje metalowe, cz.1, Arkady, Warszawa 2003.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rykaluk