

BADANIA DOŚWIADCZALNE TARCZY PROSTOKĄTNEJ USZTYWNIONEJ ŻEBREM PODŁUŻNYM Poddanej ZGINANIU W SWEJ PŁASZCZYŹNIE

ANDRZEJ KELM

Politechnika Łódzka

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań doświadczalnych użebrowanej tarczy prostokątnej będącej środkiem dźwigara skrzynkowego — rys. 1.

Wyznaczono składowe stanu naprężenia oraz ugięcia tarczy — prostopadłe do jej płaszczyzny w przypadkach 1.5, 2.0 i 2.5 krotnego jej przeciążenia w stosunku do momentu krytycznego obliczonego teoretycznie [1].

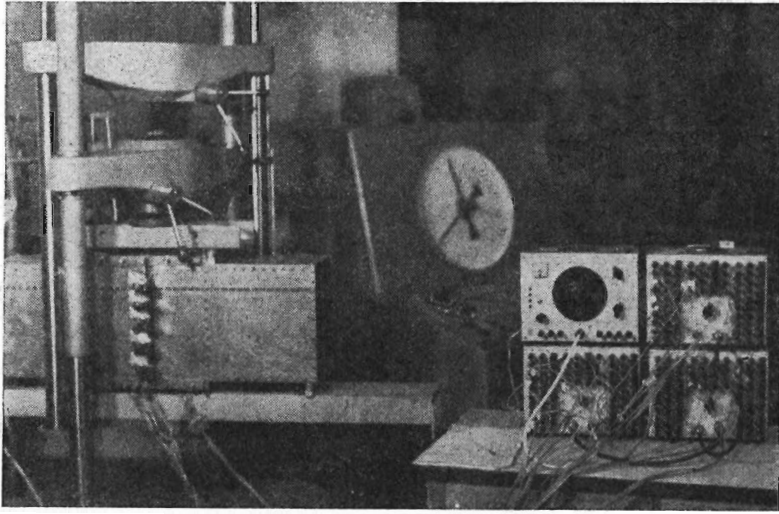
Wyniki badań doświadczalnych przedstawiono w postaci wykresów i porównano z obliczeniami teoretycznymi.

1. Stanowisko badawcze

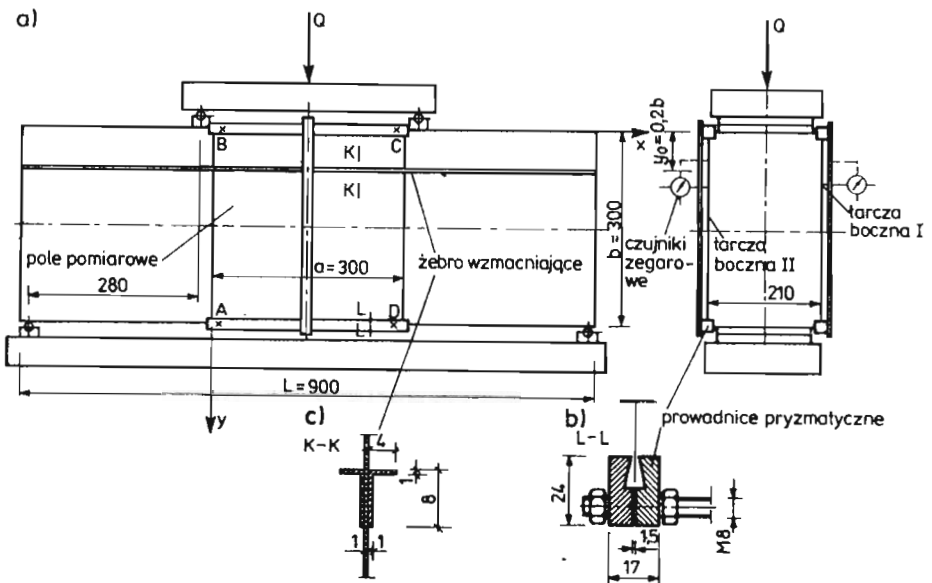
Wszystkie elementy dźwigara wykonano z blachy mosiężnej o grubości 1 mm. W miejscu podparcia i obciążenia w dźwigarze przewidziano 4 wręgi, tj. prostokątne ramki wykonane z kątownika $L 25 \times 25 \times 3$ mm. W fazie budowy stanowiska spełniały one rolę bazy tj. elementów dokładnie ustalających zasadnicze wymiary i kształt ścianki dźwigara. Podczas badań umożliwiły przeniesienie danego obciążenia na badane tarcze bez deformacji pasów dźwigara w miejscu jego podparcia i obciążenia. Wszystkie elementy dźwigara połączono ze sobą za pomocą śrub M5. Rozstaw śrub w rzędach i kolumnach $t = 25$ mm. Sposób podparcia i obciążenia oraz główne parametry geometryczne dźwigara przedstawiono na rys. 2. Wobec tego, że na odcinku BC i AD dźwigar miał tylko ścianki boczne a nie miał pasa górnego i dolnego, krawędzie $y = 0$ oraz $y = b$ badanej tarczy umieszczono w prowadnicach pryzmatycznych — rys. 2b. Zrealizowano w ten sposób przypadek swobodnego podparcia górnej i dolnej krawędzi tarczy. Pozostałe dane dźwigara:

$$\text{— stosunek boków tarczy ABCD — } \alpha = \frac{a}{b} = \frac{300 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 1,$$

$$\text{— smukłość tarczy ABCD — } \lambda = \frac{b}{h} = \frac{300 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} = 300,$$



Rys. 1.



Rys. 2.

- długość dźwigara — $L = 0,9$ m,
 - moduł Younga materiału dźwigara i żebrow $E = 104\,000$ MPa,
 - liczba Poissona $\nu = 0,32$,
 - granica proporcjonalności — $\sigma_{prop} = 179,8$ MPa,
 - wskaźnik wytrzymałości uźebrowanej tarczy na zginanie — $W = 15,65$ cm³.
- Każdą ze ścianek bocznych dźwigara wzmocniono dwustronnie żebrow o profilu otwartym

Żebra te umieszczono w $1/5$ wysokości ścianek dźwigara symetrycznie względem płaszczyzn środkowych tych ścianek — rys. 2c.

Wpływ usztywniającego działania żeber na wzmocnione nimi środniki dźwigara scharakteryzowano współczynnikami γ i δ :

$$\gamma = \frac{EI_z}{bD} = 5,0 \text{ — współczynnik sztywności żeber na zginanie, (1) oraz } \delta = \frac{F_z}{bh} =$$

$$= 0,073 \text{ — współczynnik sztywności żeber na ściskanie, (2)}$$

gdzie:

$$I_z = 140,2 \text{ mm}^4 \text{ — moment bezwładności żeber,}$$

$$F_z = 22 \text{ mm}^2 \text{ — pole przekroju poprzecznego żeber,}$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \text{ — sztywność zginania tarczy,}$$

$$h = 1 \text{ mm — grubość tarczy.}$$

Do pomiaru odkształceń użyte zostały tensometry oporowe kratowe typu RL15, RL6 oraz tensometry foliowe FK5.

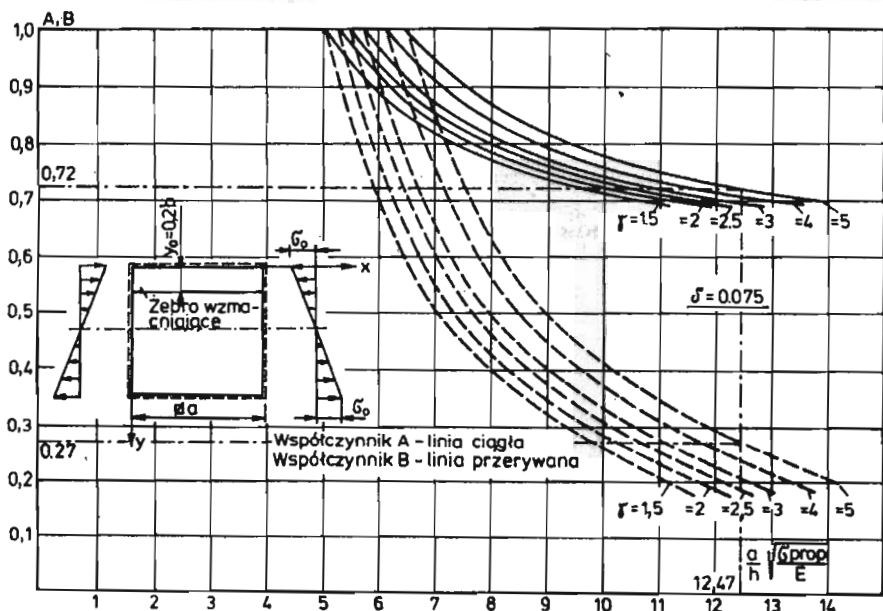
W punktach pomiarowych zastosowano rozety dwuczujnikowe o kącie rozwarcia 90° . W skład stanowiska pomiarowego wchodził także mostek tensometryczny T2 połączony poprzez 3 skrzynki przełącznikowe z dwoma grupami tensometrycznymi umieszczonymi po obu stronach badanej tarczy. W połowie długości obu tarcz tj. w przekroju $x = 0,5a$ umieszczono ponadto pionowe listwy sztywno związane z prowadnicami pryzmatycznymi. W każdej listwie umocowano po 5 czujników zegarowych mierzących ugięcie środników dźwigara.

2. Obliczenia oraz wyniki pomiarów

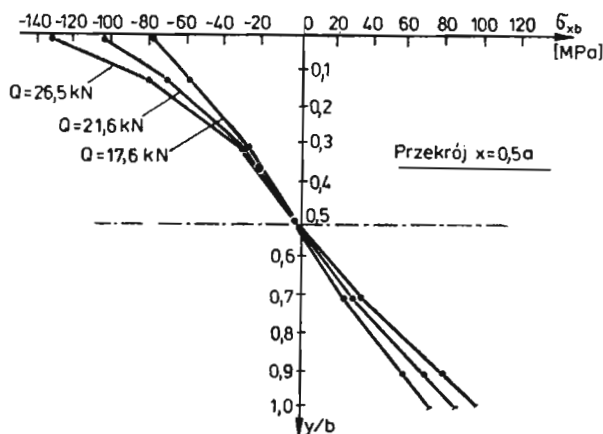
Szczegółowe obliczenia stanów krytycznych i zakrytycznych uźebrowanej tarczy prostokątnej swobodnie podpartej i poddanej działaniu zginania tarczowego przeprowadzono w [1].

Zagadnienie rozwiązano metodą energetyczną. Funkcję ugięcia tarczy po utracie stateczności przyjęto w postaci wielomianu trygonometrycznego $w(xy) = \sin \frac{m\pi x}{a} \sum_n f_{mn} \sin \frac{n\pi y}{b}$. Na podstawie analizy stanu krytycznego przyjęto żebra o profilu otwartym ulegające wyboczeniu razem z tarczą.

Wyniki rozważań teoretycznych przedstawiono w postaci szeregu wykresów stanu naprężenia i odkształcenia w różnych przekrojach tarczy. Obliczenia stanu zakrytycznego dotyczyły między innymi wyznaczenia maksymalnych momentów obciążających tarczę. Momenty te wyznaczono z warunku, aby naprężenia zredukowane w tarczy nie przekraczały granicy proporcjonalności. Na rys. 3 pokazano jeden z wykresów umożliwiający wyznaczenie maksymalnych momentów tarczowych: krytycznego i granicznego w przypadku tarczy kwadratowej o smukłości $\frac{a}{h}$ oraz parametrach materiałowych: σ_{prop} i module Younga E .



Rys. 3.



Rys. 4.

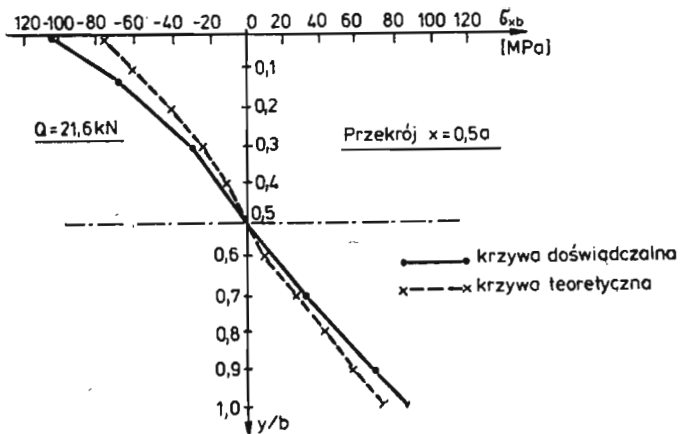
W przypadku dźwigara badanego doświadczalnie dla wartości:

$$\frac{a}{h} \sqrt{\frac{\sigma_{prop}}{E}} = \frac{300}{1} \sqrt{\frac{179,8}{104000}} = 12,47, \quad (3)$$

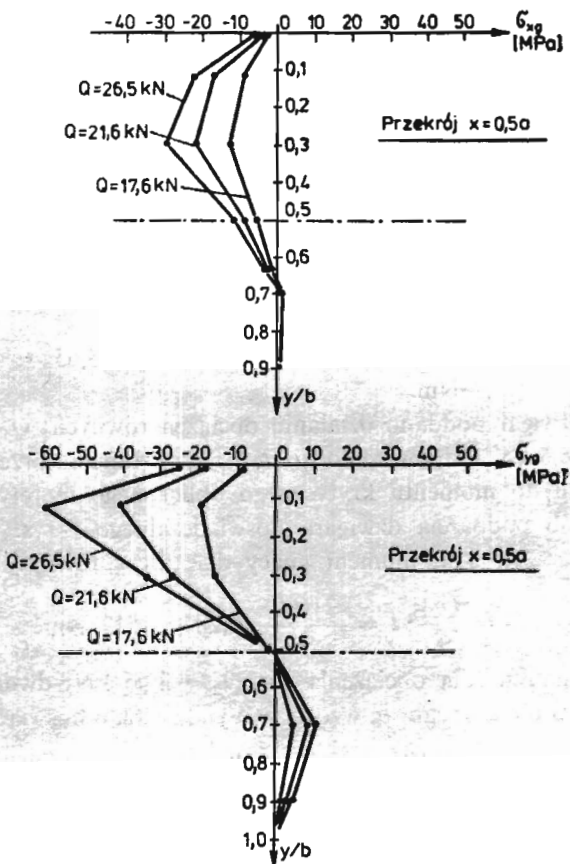
współczynniki A i B są równe: $A = 0,72$ i $B = 0,27$.

Stąd odpowiednie momenty gnące przyjmują wartości:

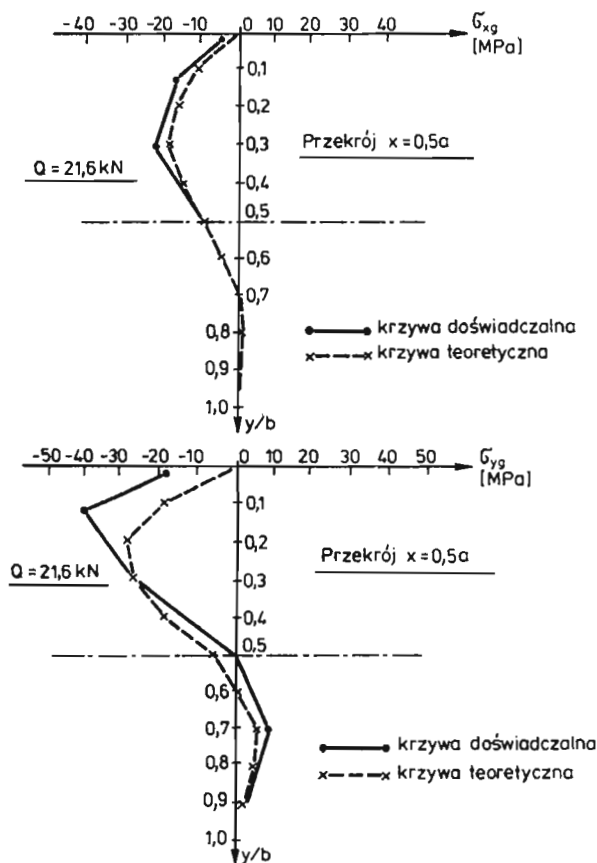
$$\begin{aligned} \text{— moment graniczny } M_{gr} &= A \cdot \sigma_{prop} \cdot W = 0,72 \cdot 17\,980 \cdot 15,65 = \\ &= 202\,598,6 \text{ Ncm} = 2025,9 \text{ Nm}, \end{aligned} \quad (4)$$



Rys. 5.



Rys. 6.



Rys. 7.

— moment krytyczny $M_{kr} = B \cdot \sigma_{prop} \cdot W = 0,27 \cdot 17\,980 \cdot 15,65 = 75\,974,5 \text{ Ncm} = 759,7 \text{ Nm}$. (5)

W związku z tym dźwigar poddano działaniu obciążeń równych: $Q_1 = 17,6 \text{ kN}$, $Q_2 = 21,6 \text{ kN}$ i $Q_3 = 26,5 \text{ kN}$. Odpowiadało to 1,5 2 i 2,5 krotnemu przeciążeniu środników dźwigara w stosunku do momentu krytycznego obliczonego teoretycznie.

Uwzględniając sposób podparcia dźwigara doświadczalnego — rys. 2 otrzymano, przy sile obciążającej Q_2 m 21,6 kN, moment gnący dla tarczy równy:

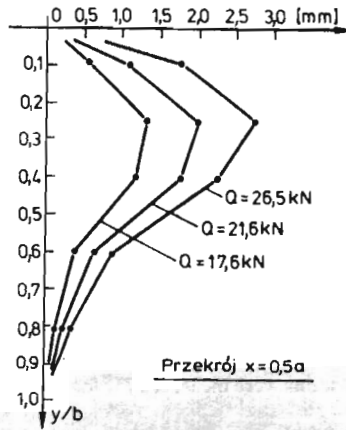
$$M_2 = \frac{Q_2}{4} \cdot l = \frac{21600}{4} \cdot 0,28 = 1512 \text{ Nm}. \quad (6)$$

Był on w tym przypadku (dla obciążenia siłą $Q_2 = 21,6 \text{ kN}$) dwukrotnie większy od momentu krytycznego obliczonego wg wzoru 5. Wyniki badań doświadczalnych dla tarczy przedstawiono w postaci wykresów a niektóre z nich porównano następnie z obliczeniami teoretycznymi [1]. Na rys. 4 i 5 przedstawiono rozkład naprężeń σ_{xb} stanu błonowego wzdłuż przekroju środnika $x = 0,5a$. Jest on zgodny jakościowo z odpowiednimi badaniami teoretycznymi. W przypadku 2-krotnego przeciążenia tarczy maksymalne różnice ilościowe wynoszą około 25% — rys. 5.

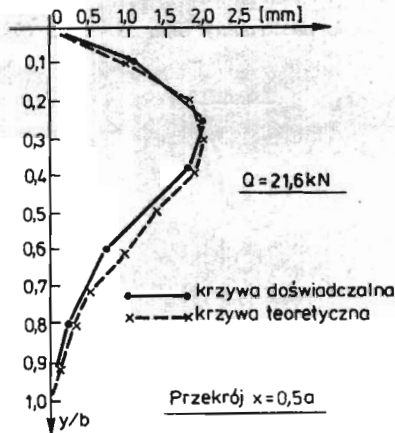
Na rys. 6 przedstawiono rozkłady naprężeń σ_{xg} oraz σ_{yg} stanu zgięciowego, w połowie rozpiętości badanej tarczy (obszar oznaczony ABCD) tj. w przekroju, w którym naprężenia te są maksymalne.

Także i w tym przypadku charakter krzywych doświadczalnych odpowiada obliczeniom teoretycznym — rys. 7. Natomiast pod względem ilościowym maksymalne różnice między doświadczeniami a wynikami teoretycznymi wynoszą: w przypadku naprężeń $\sigma_{xg} \cong 15\%$, w przypadku naprężeń $\sigma_{yg} \cong 40\%$. Podczas badań doświadczalnych zmierzono także maksymalne względne, ugięcia poziome środników dźwigara. Występowały one w przekrojach środników $x = 0,5a$.

Na rys. 8 przedstawiono wykresy zmian tych ugięć dla różnych obciążeń dźwigara. Natomiast na rys. 9 porównano zmierzone ugięcia środnika (tarczy I) z odpowiednimi ugięciami obliczonymi teoretycznie. Na podstawie badań doświadczalnych można stwierdzić, że rozkłady otrzymanych przy tym naprężeń i ugięć są zgodne jakościowo z rozkładem



Rys. 8.



Rys. 9.

odpowiednich naprężeń i ugięć otrzymanych teoretycznie. Pewne rozbieżności pod względem ilościowym wytłumaczyć można przede wszystkim ugięciami wstępnymi tarcz, których to ugięcie w rozważaniach teoretycznych nie uwzględniono.

Literatura

1. *Stateczność i praca w zakresie zakrytycznym ustrojów cienkościennych*, Problem węzłowy 05.12, Instytut Mechaniki Stosowanej, Łódź 1980.

Резюме

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОРЕБРЕННОЙ ИЗГИБАЕМОЙ ПЛАСТИНКИ

В работе предложено результаты экспериментальных исследований прямоугольной орребренной пластинки, которая является боковым элементом коробчатого двутавра — рис. 1.

Определено составляющие деформации и прогибы пластинки перпендикулярные к плоскости в случае 1.5, 2.0 и 2.5 — кратной перегрузки по отношению к критическому моменту рассчитанного теоретически 1.

Результаты исследований предложено в виде диаграмм и сравнено с теоретически рассчитанными.

Summary

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF RECTANGULAR STIFFENED PLATE BENT IN PLANE

Results of experimental investigations of rectangular stiffened plate subjected to in-plane bending are presented. The plate is regarded as a web element of a box girder loaded by bending moment.

The strain components and deflections were measured for loads of 1.5, 2.0 and 2.5 times that of buckling load calculated theoretically.

The experimental results are presented in graphical form and compared with those obtained theoretically.

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 18 marca 1987 roku