

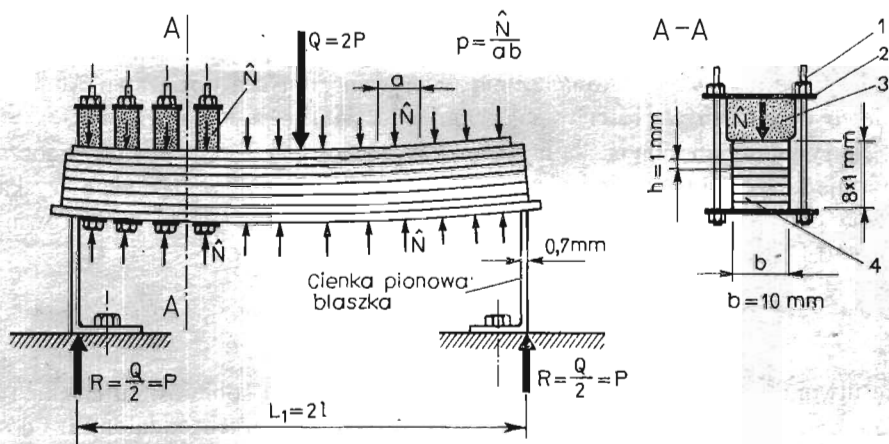
## BADANIA DOŚWIADCZALNE BELEK ZGINANYCH I ŚCISKANYCH UTWORZONYCH Z PAKIETU PŁASKOWNIKÓW

TADEUSZ GAŁKIEWICZ  
ANDRZEJ ŻELIGOWSKI

Politechnika Łódzka

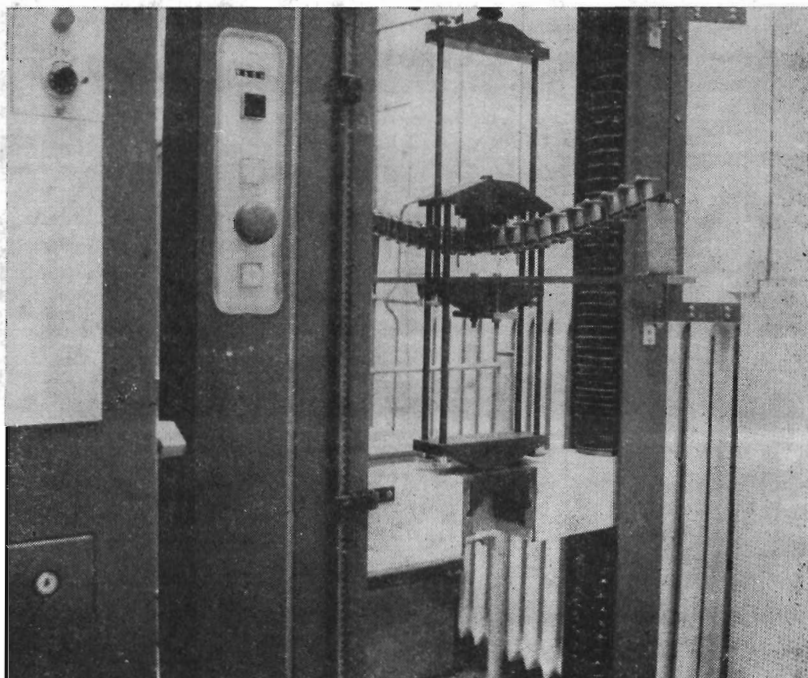
### 1. Wstęp

Celem omawianych tu badań jest uzyskanie weryfikacji doświadczalnej wzorów teoretycznych otrzymanych w pracy [1] dotyczących belek składających się z pakietu ściśniętych płaskowników. Badaniu poddawano belki podparte na obu końcach przegubowo, w środku obciążone poprzeczną siłą  $Q = 2P$ . Sposób realizowania przegubowego podparcia widoczny jest na rys. 1 i rys. 2.



Rys. 1.

Badania doświadczalne przeprowadzone zostały na belkach wykonanych z ośmiu płaskowników przy następujących danych:  $E = 2,06 \cdot 10^5$  MPa,  $b = 10$  mm,  $h = 1$  mm, liczba płaskowników tworzących belkę  $m = 8$ , długość belki  $L_1 = 2l = 430$  mm, naciski poprzeczne  $p = \hat{N}/(ab) = \text{const}$  (rys. 1). Dla belki: Nr 1 (rys. 5)  $p = 0,27$  N/mm<sup>2</sup>; Nr 2a (rys. 6a)  $p = 0,26$  N/mm<sup>2</sup>; Nr 2b (rys. 6b)  $p = 0,26$  N/mm<sup>2</sup>; Nr 3 (rys. 6c)  $p = 0,52$  N/mm<sup>2</sup>



Rys. 2.

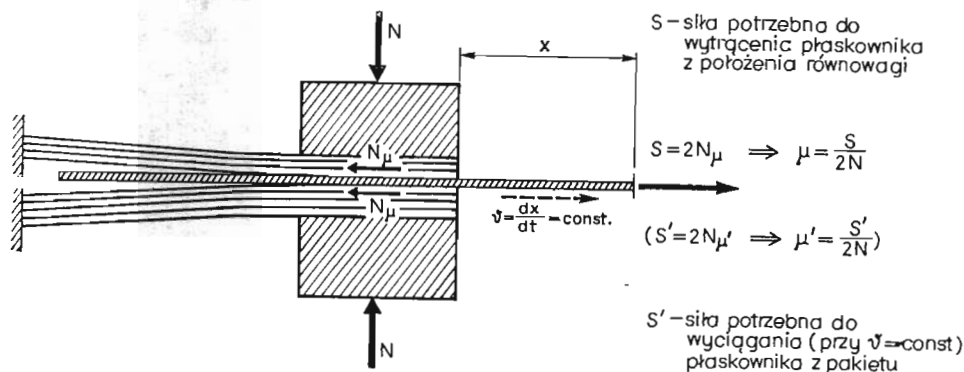
Na rys. 4 — linią ciągłą, natomiast na rys. 5 i rys. 6 liniami przerywanymi — wykonane są teoretyczne wykresy siły  $Q$  w zależności od ugięcia  $f$  środka belki. Wykresy teoretyczne  $Q(f)$  wykonane zostały na podstawie wzorów 45 ÷ 52 znajdujących się w pracy [1]. Wykresy teoretyczne na rys. 5 wykonane linią przerywaną dotyczą obciążania i odciążania przykładowo dla trzech wartości współczynnika tarcia  $\mu$  — a mianowicie dla  $\mu = 0,1$ ;  $0,2$ ;  $0,3$ . Na rysunku tym linią ciągłą naniesiony jest wykres  $Q(f)$  uzyskany doświadczalnie, który okazuje się, że dla belki Nr 1 w przybliżeniu pokrywa się z rozwiązaniem uzyskanym teoretycznie przy założeniu, że współczynnik tarcia występujący między płaskownikami wynosi  $\mu = 0,17$ .

## 2. Sposób prowadzenia badań

Belkę utworzoną z pakietu swobodnie spoczywających na sobie ośmiu cienkich płaskowników podparto w obu końcach na przegubowych podporach oddalonych od siebie o  $L_1$ , w wyniku czego belka doznała wstępnego ugięcia wywołanego ciężarem własnym. W tym stanie pakiet (ostrożnie bez wywołania dodatkowych ugięć) ściśnięto sprężynującymi obejmami (rys. 1) gęsto, równomiernie rozmieszczonymi na długości belki, realizując w ten sposób stały docisk poprzeczny  $p = \text{const}$  płaskowników. Do regulacji wielkości docisku służyły specjalne śruby 1 ściskające poprzez płytki 2 siłami  $\hat{N}$  sprężynujące poduszki gumowe 3 o znanej (uprzednio określonej) charakterystyce  $\hat{N} = \hat{N}(\Delta l)$  ściskania. (Powodowano skrócenie poduszki  $\Delta l$ , następnie z wykresu  $\hat{N}(\Delta l)$  określono  $\hat{N}$  i obliczono nacisk poprzeczny ze wzoru  $p = \hat{N}/(ab)$ ).

Zgodnie z założeniem poczynionym w pracy [1] na powierzchni górnej i dolnej belki nie powinny występować naprężenia styczne. Starano się to uzyskać ściskając belkę poprzez poduszki gumowe wieloma obejmami. Niestety mimo istnienia elastycznych poduszek powyższy sposób realizowania docisku poprzecznego nie eliminuje całkowicie występowania naprężeń stycznych na powierzchniach zewnętrznych belki.

Przed przystąpieniem do pomiarów ugięć belki określono wartości współczynników tarcia  $\mu$  i  $\mu'$  występujących między stykającymi się płaskownikami. Sposób oszacowania



Rys. 3.

wartości tych współczynników pokazany jest na rys. 3. Przeprowadzono szereg pomiarów przy różnych wartościach sił  $N$  i odpowiadających im sił  $S$  i  $S'$ . Okazało się, że:

- współczynnik tarcia spoczynkowego  $\mu = 0,17 \pm 0,07$ ,
- współczynnik tarcia w ruchu  $\mu' = 0,12 \pm 0,05$ .

Badaniu poddane zostały trzy belki — belka Nr 1 ÷ Nr 3. Belki obciążane były na maszynie wytrzymałościowej firmy Veb Thüringer Industrierwerk Rauenstein przy zakresie obciążania 0 ÷ 100 N w sposób widoczny na rys. 1 i rys. 2. Zależność siły  $Q$  od ugięcia  $f$  uzyskana z pomiarów przedstawiona jest w formie graficznej.

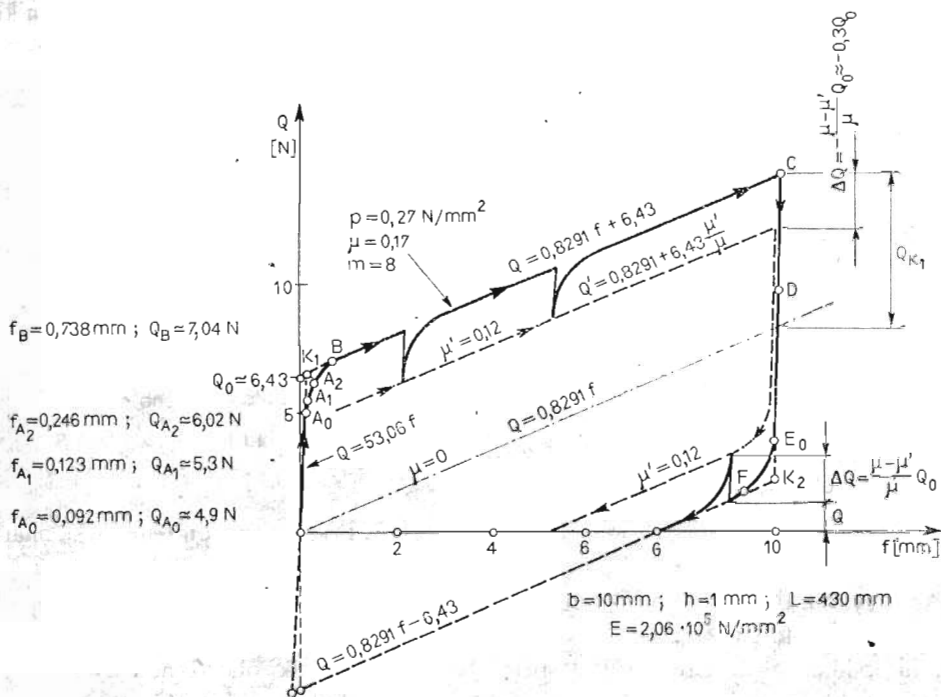
Wykres taki dla belki Nr 1 wykonany jest na rys. 5 linią ciągłą. Na rys. 6 natomiast linią ciągłą zamieszczone są wykresy  $Q(f)$  wykonane dla belek Nr 2a, 2b i 3 przez urządzenie rysujące maszyny wytrzymałościowej. Na tym rysunku naniesione są liniami przerywanymi fragmenty wykresów  $Q(f)$  otrzymane ze wzorów (48), (50) pracy [1] przy założeniu, że  $\mu = 0,17$  i przyjęciu, że dla belek Nr 2a, 2b (rys. 6a, b)  $p = 0,26 \text{ N/mm}^2$ , zaś dla belki Nr 3 (rys. 6c)  $p = 0,52 \text{ N/mm}^2$ .

### 3. Wnioski

Zasadniczym celem pracy jest porównanie wyników omówionych tu badań doświadczalnych z rezultatami rozważań teoretycznych przedstawionych w artykule [1]. Autorom pracy chodziło o dokonanie porównań głównie od strony jakościowej. Chodziło mianowicie o stwierdzenie czy przebieg zginania belki jest zgodny z przewidywaniami, czy zaproponowane w pracy [1] uproszczenia są dopuszczalne i czy mogą być w praktycznych obliczeniach stosowane.

Z analizy rezultatów badań teoretycznych i doświadczalnych wynikają następujące spostrzeżenia i wnioski:

— Doświadczenia potwierdziły fakt występowania w zginanej wielowarstwowej belce trzech faz obciążania i odciążania, przy czym w analizowanych belkach II-gie fazy obciążania

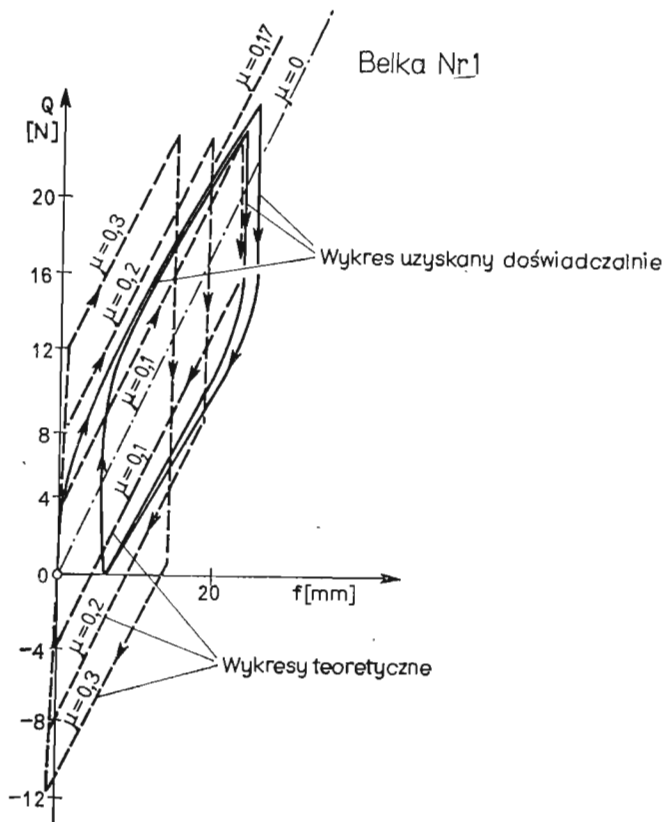


Rys. 4.

zania i odciążania okazały się zgodnie z teoretycznymi przewidywaniami [1] stosunkowo mało zauważalne i w takich przypadkach przy obliczeniach mogą być pomijane.

— Z otrzymanych doświadczalnie wykresów  $Q(f)$  (rys. 6a, 6b) widać, że I-wsze i III-cie fazy obciążania i odciążania mają przebiegi w przybliżeniu liniowe. Otrzymane pętle histerezy mają kształty zbliżone do równoległoboków. Należy zaznaczyć, że przybliżenie wynikające z zastąpienia w teoretycznych rozważaniach rzeczywistej pętli, pętlami o kształcie równoległoboku jest w praktycznych zastosowaniach przybliżeniem dopuszczalnym. Błąd występujący na skutek zastosowania tego uproszczenia jest na ogół znacznie mniejszy od błędów jakie wynikają z niemożności dokładnego określenia rzeczywistej wartości współczynnika tarcia międzywarstwowego i określenia wielkości nacisków międzywarstwowych.

— Rozwiązanie teoretyczne omawianego zagadnienia otrzymane zostało w pracy [1] przy założeniu występowania fizycznej i geometrycznej liniowości co łączy się z występowaniem małych ugięć belki. W czasie badań ugięcia okazały się dość znaczne, mimo to rozwiązania teoretyczne można uznać za zadawalające, za czym przemawia fakt, że wykresy  $Q(f)$  uzyskane doświadczalnie mają przebiegi zbliżone do liniowych. W przypadku



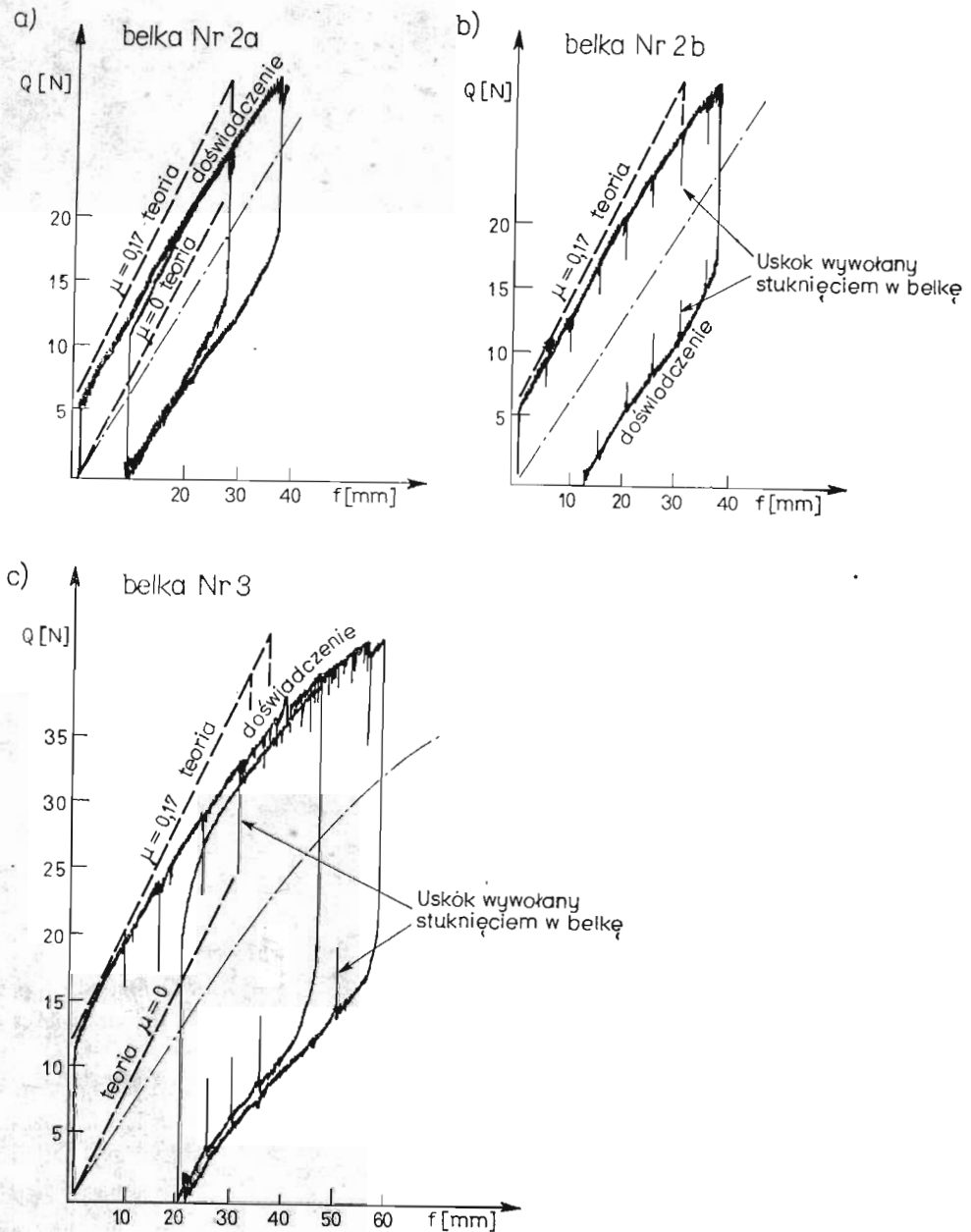
Rys. 5.

belek Nr 2a, 2b, 3 pochylenia fragmentów wykresów (rys. 6) w zakresie III-cich faz obciążania i odciążania są niestety nieco mniejsze niż wynika to ze wzorów teoretycznych.

— Tarcie występujące między płaskownikami powoduje, że wykres  $Q(f)$  tworzy pętlę histerezy. Szerokość pętli jest proporcjonalna do współczynnika tarcia  $\mu$  i do wielkości nacisków  $p$  występujących między płaskownikami (rys. 6a, 6c). Ponieważ współczynnik tarcia kinetycznego  $\mu'$  jest mniejszy od współczynnika tarcia statycznego  $\mu$  (spoczynkowego), więc pętla histerezy dla belki poddawanej nieznacznym wstrząsom i równocześnie obciążonej siłą  $Q'$  jest węższą od pętli obciążonej siłą  $Q$  w sposób statyczny (pętla dla belki potrząsanej i obciążanej siłą  $Q'$  narysowana jest na rys. 4 linią przerywaną).

Zjawisko omówione wyżej potwierdzają doświadczenia. Jeżeli belka obciążana statycznie do siły  $Q$  dozna wstrząsu to na wykresie  $Q(f)$  wystąpi uskoki — a więc następuje przejście z szerszej pętli na węższą. Przejście to odbywa się rozmaicie, co zależy od sposobu obciążania belki:

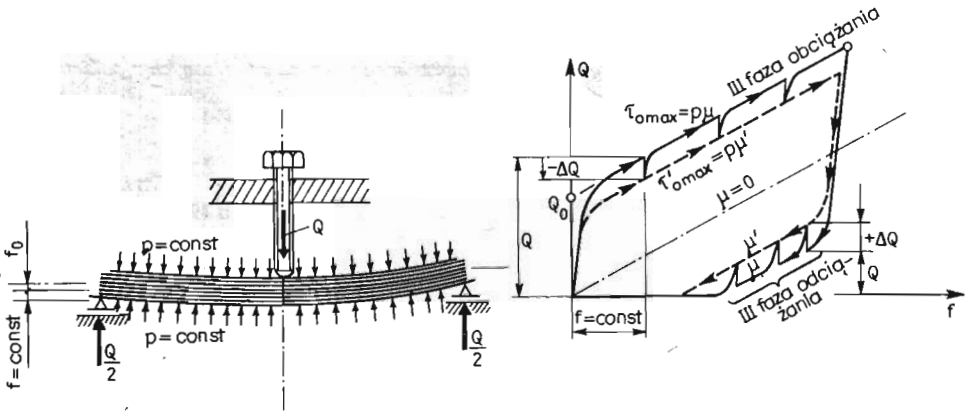
- a) Jeżeli przy danej sile  $Q$  ugięcie  $f = \text{const}$ , to zgodnie z rys. 7 oraz z rysunkami Nr: 4, 6b, 6c występuje:
  - w III fazie obciążania zmniejszenie siły  $Q$  o  $|\Delta Q|$ ,
  - w III fazie odciążania wzrost siły  $Q$  o  $\Delta Q$ .



Rys. 6.

Zgodnie ze wzorami (48), (49) pracy [1] w III-ciej fazie obciążania:

$$\Delta Q = Q' - Q = Q_0 \frac{\mu'}{\mu} - Q_0 = - \frac{\mu - \mu'}{\mu} Q_0.$$



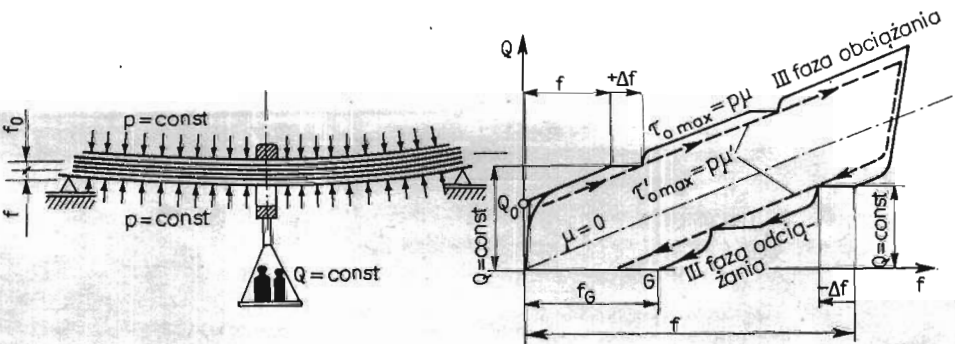
Rys. 7.

Natomiast w III fazie odciążania (51)  $\Delta Q = Q' - Q = \frac{\mu - \mu'}{\mu} Q_0$ .

W analizowanym tutaj przypadku:

$$|\Delta Q| = \frac{\mu - \mu'}{\mu} Q_0 \approx \frac{0,17 - 0,12}{0,17} Q_0 \approx 0,3 Q_0.$$

b) Gdy  $Q = \text{const}$ , wówczas przesłoki z szerszej pętli histerezy na węższą pokazane są na rys. 8. Stuknięcia w belkę (wstrząsy) powodują:



Rys. 8.

- w III fazie obciążania powiększenie ugięcia  $f$  o  $\Delta f$ ,
- w III fazie odciążania zmniejszenie ugięcia  $f$  o  $\Delta f$ .
- w belkach, w których przy obciążaniu doszło do poślizgów płaskowników występują siły tarcia, które przy całkowitym odciążeniu nie zanikają i utrzymują belkę nieobciążoną w stanie wygiętej mimo iż materiał płaskowników nie doznał plastycznych odkształceń. Przy kilkakrotnym coraz to większym obciążaniu i odciążaniu do zera wykresy  $Q(f)$  mają przebiegi takie jak pokazano na rys. 6a, 6c, natomiast przy cyklicznym obciążaniu i odciążaniu siłą  $Q$  w przedziale:  $Q_{max} = Q_C$ ,  $Q_{min} = Q_H$  (gdzie  $Q_C - Q_H > 2Q_{K_1}$ ), pętle histerez kolejnych cykli powtarzają się, a kształty tych pętli zbliżone są do równoległoboków.

## Literatura

1. T. GALKIEWICZ, *Analiza pracy belek zginanych i równocześnie ścinanych utworzonych z pakietu płaskowników*, MTiS t. 27, z. 4, 1989
2. L. E. GOODMAN, I. H. KLAMP, *Analysis of slip damping*, J. Appl. Mech. 3, 1956
3. Zb. OSIŃSKI, *Tłumienie drgań mechanicznych*, PWN W-wa, 1979
4. Н. Г. КАЛИНИН, Ю. А. ЛЕБЕДЕВ, В. И. ЛЕБЕДЕВА, Я. Г. ПАНОВКО, Г. И. СТРАХОВ, *Конструкционное деформирование в неподвижных соединениях*, АН Лат. ССР, Рига 1960

## Резюме

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛОК ПРИ ИЗГИБЕ И СДВИГЕ  
СДЕЛАННЫХ ИЗ ПАКЕТА ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕЙ

В работе подвержено экспериментальной проверке результаты полученные в работе [1], касающиеся балок шарнирно опертых на 2 конца и действующей в середине балки силой  $Q$ , получены хорошие (особенно с качественной стороны) согласования результатов. В работе проведен анализ полученных результатов.

## Summary

EXPERIMENTAL TESTS ON BEAMS MADE FROM THE PACKAGE  
OF FLAT IRON BARS, UNDER BENDING AND SHEAR

In previous paper [1] the formulae concerning beams simply supported on both edges and loaded in the center by the force  $Q$ , were derived. In this work these formulae have been verified by experiments and a good agreement (particularly in qualitative way) between theoretical and experimental results has been found. In this paper the analysis of obtained results is carried out.

*Praca wpłynęła do Redakcji dnia 23 kwietnia 1987 roku.*

---