

Wanda Paprocka-Garticka

PRZYSTOSOWANIE BELEK CIĄGLYCH
OBCIĄŻONYCH GRUPAMI SIŁ SKUPIONYCH

4 / 1982

P.269

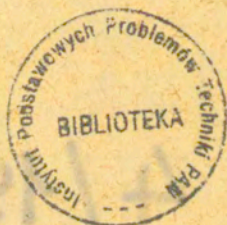


WARSZAWA 1982

ISSN 0208-5658

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 15 stycznia 1982 r.

Zarejestrowana pod nr 4/1982



57070



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 130 egz. Ark. wyd. 0,8. Ark.druk.1,25

Oddano do drukarni w lutym 1982 r.

Nr zamówienia 64/0/82 Z-108 .

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul.Śniadeckich 8

PRZYSTOSOWANIE BELEK CIĄGLYCH OBCIĄŻONYCH GRUPAMI SIŁ SKUPIONYCH

1. WSTĘP

Przedmiotem opracowania jest analiza stanów granicznych nośności belek ciągłych obciążonych grupami sił skupionych działającymi w sposób zmienny^{x/}. Opracowanie jest kontynuacją prac [2] i [3]. Podstawy teoretyczne przedstawionych rozwiązań zawiera praca [1].

2. OZNACZENIA

Wprowadzono następujące oznaczenia:

- W - wskaźnik wytrzymałości przekroju;
 W_{pl} - wskaźnik oporu plastycznego;
 $c = W/W_{pl}$ - równe 2/3 dla przekroju prostokątnego, 0,85 dla dwuteowników walcowanych, 1-dla idealnego przekroju sandwiczowego;
 M_o - moment graniczny równy $R_e W_{pl}$;
 R_e - granica plastyczności stali;
 $\max M_{o-1}^1$ - maksymalny sprężysty moment zginający w przęśle 0-1 wywołany przez siły $P = 1$;

^{x/} Część przedstawionego rozwiązania /stabelaryzowane niepełne rozwiązanie przypadków 1 i 2 tablicy 2/ zawiera artykuł prof. W. Boguckiego "Materiały pomocnicze do projektowania belek stalowych statycznie niewyznaczalnych metodą stanów granicznych", Inżynieria i Budownictwo, 8, 1979, stanowiący komentarz do opracowania J.A. Königa opublikowanego w "Prace Centralnego Ośrodka Badawczo-Projektowego Konstrukcji Metalowych" - Mostostal, grudzień 1978.

- $\min M_1^1$ - minimalny sprężysty moment zginający na podporze 1 wywołany przez siły $P = 1$;
 $\max |M^1|$ - występujący w belce maksymalny bezwzględny moment zginający wywołany przez siły $P = 1$;
 $\max M_{/\beta}^1, \min M_{/\beta}^1$ - ekstremalne sprężyste momenty zginające wywołane przez siły $P = 1$ w przekrojach β , w których różnica $\max M_{/\beta}^1 - \min M_{/\beta}^1$ osiąga maksimum;
 ψ - współczynnik intensywności obciążenia.

3. ZAKRES OPRACOWANIA, STOSOWANE METODY I OTRZYMANE WYNIKI

Rozpatrzone stany graniczne nośności belek dwu i trzyprzęsłowych o stałym przekroju i jednakowej rozpiętości przęseł L . Obciążenie belek stanowią siły skupione P_1 , które mogą być ustawione po jednej /rys.2 i rys.5/, po dwie /rys.3 i rys.6/, bądź po trzy /rys.4 i rys.7/ na każdym przęśle. Grupy sił obciążające poszczególne przęsła mogą zmieniać się niezależnie dla każdego przęsła ale w tych samych granicach:

$$\psi P < P_1 < P \quad (1)$$

Rozwiązanie przeprowadzono dla współczynnika ψ zmieniającego się w zakresie:

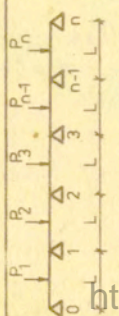
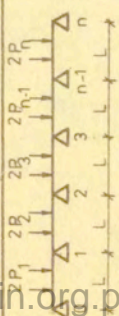
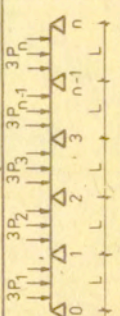
$$- 1 < \psi \leq 1 \quad (2)$$

Górna granica zakresu zmienności sił P_1 jest dla wszystkich rozpatrywanych przypadków obciążeń jednakowa i równa P . Dolna granica tego zakresu jest zależna od ψ i dla ψ dodatnich odpowiadają jej siły P_1 większe od zera, lecz mniejsze od P , skierowane w dół, a dla ψ ujemnych siły większe od $-P$, lecz mniejsze od zera, skierowane do góry.

Dla opisanych wyżej obciążeń wyznaczono ich graniczne wartości P_g , gdy obciążenia te działały na belki w sposób stały, tzn. wzrastały monotonicznie od zera do swych ostatecznych wartości oraz gdy ich działanie miało charakter zmienny.

Dla obciążeń stałych w postaci najniekorzystniej działających grup sił P_1 o wartościach:

n - Liczba pręseł

| Schemat obciążenia i granice zmienności obciążeń. | $F_S = \frac{\sigma}{\max M^1 } \cdot M_0$ | | | | | | P_{pp} | | | | P_n |
|--|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------|
| | Przekrój | n=2 | n=3 | n=4 | n=5 | n=2 | n=3 | n=4 | n=5 | | |
|  <p>Każda siła P_i zmienia się niezależnie od pozostałych w granicach:</p> $0 \leq P_i \leq P$ | I $\sigma = \frac{2}{3}$ | 3,284 $\frac{M_0}{L}$ | 3,130 $\frac{M_0}{L}$ | 3,175 $\frac{M_0}{L}$ | 3,160 $\frac{M_0}{L}$ | 5,050 $\frac{M_0}{L}$ | 4,992 $\frac{M_0}{L}$ | 4,992 $\frac{M_0}{L}$ | 4,992 $\frac{M_0}{L}$ | 6 $\frac{M_0}{L}$ | |
| | I $\sigma = 0,85$ | 4,187 | 3,991 | 4,048 | 4,028 | 4,926 | 4,695 | 4,762 | 4,739 | | |
| | I $\sigma = 1,0$ | 4,926 | 4,695 | 4,762 | 4,739 | | | | | | |
| | I $\sigma = \frac{2}{3}$ | 2,000 | 2,144 | 2,077 | 2,090 | | | | | | |
|  <p>Każda para sił P_i zmienia się niezależnie od pozostałych w granicach:</p> $0 \leq P_i \leq P$ | I $\sigma = 0,85$ | 2,552 | 2,733 | 2,648 | 2,665 | 3,427 $\frac{M_0}{L}$ | 3,396 $\frac{M_0}{L}$ | 3,394 $\frac{M_0}{L}$ | 3,390 $\frac{M_0}{L}$ | 4 $\frac{M_0}{L}$ | |
| | I $\sigma = 1,0$ | 3,000 | 3,215 | 3,115 | 3,135 | | | | | | |
| | I $\sigma = \frac{2}{3}$ | 1,421 | 1,525 | 1,452 | 1,475 | | | | | | |
| | I $\sigma = 0,85$ | 1,812 | 1,945 | 1,880 | 1,893 | | | | | | |
|  <p>Każda trójka sił P_i zmienia się niezależnie od pozostałych w granicach:</p> $0 \leq P_i \leq P$ | I $\sigma = 1,0$ | 2,132 | 2,288 | 2,212 | 2,227 | | | | | 3 $\frac{M_0}{L}$ | |

$$P_1 = \varphi P, \quad P_1 = 0, \quad \text{bądź } P_1 = P \quad \text{dla } \varphi \leq 0 \quad (3)$$

oraz

$$P_1 = \varphi P, \quad \text{bądź } P_1 = P \quad \text{dla } \varphi > 0$$

graniczne siły nośności $P_g = P_n$ wyznaczone stosując metodę kinematyczną teorii nośności granicznej.

Dla grup sił P_1 zmieniających się wielokrotnie, niezależnie od siebie, ale w jednakowych granicach określonych wzorem (1), graniczne siły przystosowania: $P_g = P_{pp}$ odpowiadające zniszczeniu przyrostowemu belki oraz $P_g = P_{pz}$ odpowiadające zniszczeniu wskutek zmęczenia niskocyklowego wyznaczone stosując odpowiednio twierdzenie kinematyczne i twierdzenie statyczne teorii przystosowania.

Dodatkowo, metodą naprężeń dopuszczalnych wyznaczone siły $P_g = P_s$ odpowiadające warunkowi nieprzekroczenia odkształceń sprężystych.

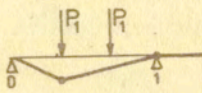
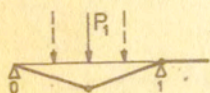
Wykazano, że dla $\varphi = 0$, tj. dla

$$0 \leq P_1 \leq P, \quad (4)$$

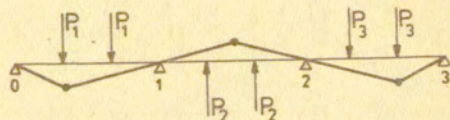
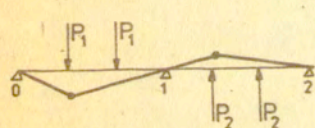
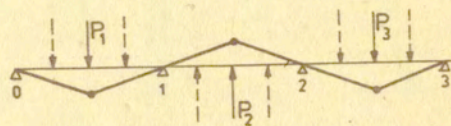
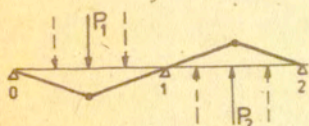
dla liczby pręseł $n = 3$, $n = 4$, i $n = 5$ wartości granicznych sił P_g różnią się między sobą o mniej niż 4%, wartości granicznych sił P_{pp} są niemal identyczne, a wartości granicznych sił P_n są dla $n \geq 2$ jednakowe /wyznaczone dla tego przypadku wartości sił P_g zestawiono w tabelicy 1/. Z analizy wzoru (7) na siły P_{pz} można wnioskować, że również wartości tych sił granicznych będą dla $n = 3$, $n = 4$ i $n = 5$ podobne. W związku z powyższymi stwierdzeniami przeprowadzono dla całego zakresu zmienności φ rozwiązanie jedynie dla belek dwu i trzyprzęsłowych. Otrzymane dla belek trzyprzęsłowych wartości sił P_p i P_n będą jednocześnie rozwiązaniami dla belek o liczbie pręseł $n > 3$, a wartości sił P_g wyznaczone dla belek trzyprzęsłowych będzie można z pewnym przybliżeniem stosować do belek o liczbie pręseł większej od 3.

W celu wyznaczenia sił P_{pp} i P_n rozpatrzono wybrane z kinematycznie dopuszczalnych miarodajne mechanizmy zniszczenia belek /rys.1/ oraz przykładowo, dla niektórych z nich, podano wzory przejściowe na wielkości P_{pp} .

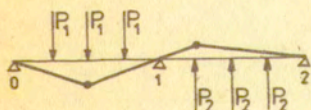
Mechanizmy A



Mechanizmy B



Mechanizm B'



Rys.1. Miarodajne mechanizmy zniszczenia belek dwu- i trzyprzęsłowych obciążonych siłami P_1 zmieniającymi się w zakresach $\psi P \ll P_1 \ll P$.

Mechanizmy A - Zniszczenie belek następuje wskutek zniszczenia przęseł skrajnych /patrz rys.1/.

Dla belek obciążonych jedną bądź trzema siłami przeguby powstają w środku rozpiętości przęśla 0-1 i na podporze 1. Dla obu tych przypadków obciążenia wyznaczone z kinematycznego twierdzenia Neala siły P_{pp} można zapisać jednym wzorem:

$$P_{pp} = \frac{3 M_0}{2 \max M_{0-1}^1 - \min M_1^1} \quad (5)$$

Dla belek o przęślach obciążonych dwiema siłami przeguby powstają pod "lewą" siłą w przęśle 0-1 i na podporze 1.

Dla tego przypadku siły P_{pp} wynoszą:

$$P_{pp} = \frac{4 M_0}{3 \max M_{0-1}^1 - \min M_1^1} \quad (6)$$

Powyższe wzory, po wprowadzeniu do nich wartości ekstremalnych momentów zginających występujących w miejscach powstałych przegubów plastycznych oraz wzory na siły P_n odpowiadające omówionym wyżej mechanizmom zniszczenia zestawiono w tabelicy 2 /przypadki A/.

Mechanizmy B - Zniszczenie belek następuje wskutek zniszczenia wszystkich przęseł /patrz rys.1/.

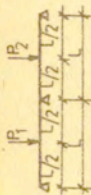
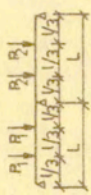
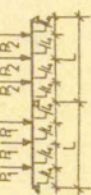
Te mechanizmy zniszczenia należy rozpatrzyć jedynie przy wyznaczaniu granicznych sił P_n . Odpowiadające bowiem tym mechanizmom siły P_{pp} są bądź większe od sił P_{pz} , bądź też zakres ich miarodajności znajduje się poza rozpatrywanym zakresem zmienności współczynnika ψ . Wyjątek stanowi tu mechanizm zniszczenia belki trzyprzęsłowej o przęślach obciążonych jedną siłą.

Jest on miarodajny dla współczynników: $c = \frac{W}{W_{pl}} \geq \frac{45}{48} \quad 1$

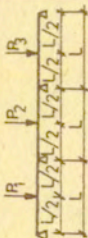
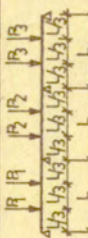
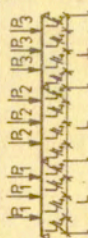
$$\psi \leq -\frac{2}{3}.$$

W rozpatrywanych mechanizmach przeguby plastyczne powstają w środku rozpiętości przęseł obciążonych jedną, bądź trzema siłami. W przęślach belki dwuprzęsłowej obciążonych dwiema siłami przeguby powstają pod "lewymi" siłami. Dla belki trzyprzęsłowej o

Tablica 2

| Nr poz. | Schemat statyczny i obciążenie | P_s | | P_p | | P_n |
|---------|---|--|--|---|--|--|
| | | a | b | A | Z | |
| 1 |  $\varphi P \leq R_1 \leq P$ $\varphi P \leq R_2 \leq P$ $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $\frac{1}{3} \leq \varphi \leq 1$ $P_s = \frac{16c}{3} \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq \frac{1}{3}$ $P_s = \frac{64c}{13-3\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $\frac{12-19c}{12-3c} \leq \varphi \leq 1$ $P_{pp} = \frac{96}{19-3\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq \frac{1}{3}$ $P_{pz} = \frac{8c}{1-\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-\frac{1}{3} \leq \varphi \leq 1$ $P_n = 6 \frac{M_0}{L}$ |
| | | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $\frac{4-7c}{4-c} \leq \varphi \leq 1$ $P_{pp} = \frac{24}{7-\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq \frac{4-7c}{4-c}$ $P_{pz} = \frac{6c}{1-\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-\frac{1}{4} \leq \varphi \leq 1$ $P_n = 4 \frac{M_0}{L}$ | |
| 2 |  $\varphi P \leq R_1 \leq P$ $\varphi P \leq R_2 \leq P$ $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $P_s = 3c \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ $P_{pp} = \frac{192}{79-15\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ $P_{pz} = \frac{4c}{78-15c} \frac{M_0}{L}$ | $-\frac{2}{9} \leq \varphi \leq 1$ $P_n = 3 \frac{M_0}{L}$ |
| | | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq -\frac{11}{15}$ $P_s = \frac{128c}{49-15\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq -\frac{11}{15}$ $P_{pp} = \frac{48-79c}{48-15c} \frac{M_0}{L}$ | $-1 \leq \varphi \leq -\frac{1}{2}$ $P_{pz} = \frac{4c}{1-\varphi} \frac{M_0}{L}$ | $-\frac{1}{2} \leq \varphi \leq -\frac{1}{9}$ $P_n = \frac{20}{3(2-\varphi)} \frac{M_0}{L}$ |
| 3 |  $\varphi P \leq R_1 \leq P$ $\varphi P \leq R_2 \leq P$ $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ |
| | | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ | $-1 \leq \varphi \leq 1$ |

Tablica 2 c.d.

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------------------------------|---|-------------------|--|
| 4 |  <p> $\varphi P \leq R_1 \leq P$ $\varphi P \leq R_2 \leq P$ $\varphi P \leq R_3 \leq P$ $-1 \leq \varphi \leq 1$ </p> | b $R_S = \frac{80c}{17 - 3\varphi} \frac{M_0}{L}$ | <p>A</p> <p>B</p> <p>A</p> <p>Z</p> | $-\frac{2}{3} \leq \varphi \leq 1$ $R_{pp} = \frac{30}{6-\varphi} \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq \frac{2}{3}$ $R_{pp} = \frac{12}{2-\varphi} \frac{M_0}{L}$ $\frac{15-24c}{15-4c} \leq \varphi \leq 1$ $R_{pp} = \frac{30}{6-\varphi} \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq \frac{15-24c}{15-4c}$ $R_{pz} = \frac{8c}{1-\varphi} \frac{M_0}{L}$ | <p>A</p> <p>B</p> | $0 \leq \varphi \leq 1$ $R_H = 6 \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq 0$ $R_H = \frac{12}{2-\varphi} \frac{M_0}{L}$ |
| | | | | | | |
| 5 |  <p> $\varphi P \leq R_1 \leq P$ $\varphi P \leq R_2 \leq P$ $\varphi P \leq R_3 \leq P$ $-1 \leq \varphi \leq 1$ </p> | a $R_S = \frac{45c}{14 - 2\varphi} \frac{M_0}{L}$ | <p>A</p> <p>Z</p> | $\frac{32-53c}{32-8c} \leq \varphi \leq 1$ $R_{pp} = \frac{180}{53-8\varphi} \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq \frac{32-53c}{32-8c}$ $R_{pz} = \frac{45c}{8(1-\varphi)} \frac{M_0}{L}$ | <p>A</p> <p>B</p> | $0 \leq \varphi \leq 1$ $R_H = 4 \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq 0$ $R_H = \frac{12}{3-\varphi} \frac{M_0}{L}$ |
| | | | | | | |
| 6 |  <p> $\varphi P \leq R_1 \leq P$ $\varphi P \leq R_2 \leq P$ $\varphi P \leq R_3 \leq P$ $-1 \leq \varphi \leq 1$ </p> | a $R_S = \frac{16c}{7 - \varphi} \frac{M_0}{L}$ | <p>A</p> <p>Z</p> | $\frac{3-5c}{3-c} \leq \varphi \leq 1$ $R_{pp} = \frac{12}{5-\varphi} \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq \frac{3-5c}{3-c}$ $R_{pz} = \frac{4c}{1-\varphi} \frac{M_0}{L}$ | <p>A</p> <p>B</p> | $0 \leq \varphi \leq 1$ $R_H = 3 \frac{M_0}{L}$ $-1 \leq \varphi \leq 0$ $R_H = \frac{6}{2-\varphi} \frac{M_0}{L}$ |
| | | | | | | |

przęsłach obciążonych dwiema siłami przyjęto jeden z miarodajnych mechanizmów zniszczenia, w którym przeguby powstają: w przęsłach skrajnych pod "skrajnymi" siłami, w przęśle środkowym - w środku jego rozpiętości. W ostatnim przypadku przegub w przęśle środkowym można było również przyjąć w dowolnym przekroju między siłami, bądź pod którąś z nich. Otrzymałoby się w ten sposób inny, również miarodajny mechanizm jej zniszczenia. Dla belki dwuprzęsłowej o przęsłach obciążonych trzema siłami miarodajnym jest tu jeszcze mechanizm B', w którym przeguby powstają w środku rozpiętości lewego przęsła i pod "lewą" siłą w przęśle prawym.

Opisanym mechanizmom B i B' zniszczenia belek odpowiadają wzory na siły graniczne P_R i P_{pp} zestawione w przypadkach B i B' tabelicy 2.

Przypadki E tabelicy 2 zawierają wzory na graniczne siły przystosowania P_{pz} odpowiadające zniszczeniu wskutek zmęczenia niskocyklowego. Siły te wyznaczono podstawiając do wynikającego ze statycznego twierdzenia Bleicha wzoru:

$$P_{pz} = \frac{2c}{\max M_{\beta}^1 - \min M_{\beta}^1} \quad (7)$$

różnice ekstremalnych momentów występujących w przekrojach β . Przez β oznaczono przekroje, w których różnice te osiągają maksimum.

Przez Z' oznaczono przypadki, w których maksimum tych różnic występuje w przęśle 0-1, przez Z'' gdy występuje ono na podporze 1, a przez Z gdy występuje ono zarówno na podporze 1, jak i w przęśle 0-1.

Siły P_s odpowiadające nośności sprężystej belek wyznaczono ze wzoru:

$$P_s = \frac{c}{\max |M^1|} M_0 \quad (8)$$

i zestawiono w tabelicy 2 podstawiając w miejsce M^1 dla przypadków a/ tabelicy 2 minimalne momenty na podporze 1, dla przypadków b/ tej tabelicy maksymalne momenty w przęśle 0-1.

Na podstawie zestawionych w tablicy 2 wzorów sporządzono dla przekrojów: prostokątnego $\rho = \frac{2}{3}$, dwuteownika walcowanego $\rho = 0,85$ i idealnego przekroju sandwiczowego $\rho = 1,0$ i przedstawiono na rysunkach od 2 do 7 wykresy zależności granicznych sił P_s , P_p i P_n od współczynnika ψ . Odczytane z tych wykresów np. dla $\psi = \psi_0$ wartości sił P_g odpowiadają obciążeniu belki siłami P_1 zmieniającymi się w granicach $\psi_0 P \leq P_1 \leq P$. Na osi rzędnych znajdują się wartości sił P_g odpowiadające siłom P_1 zmieniającym się w zakresie $0 \leq P_1 \leq P$.

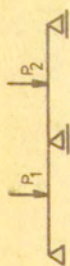
Prawie wszystkie z przedstawionych krzywych składają się z więcej niż jednej gałęzi.

Wykresy sił P_n składają się z dwu lub trzech gałęzi, z których każda odpowiada innemu mechanizmowi zniszczenia belki.

Wykresy sił P_p składają się z jednej gałęzi /oznaczonej przez $P_{pp}/$, gdy o nośności belki w całym zakresie zmienności ψ decyduje zniszczenie przyrostowe oraz z dwu gałęzi /oznaczonych przez P_{pp} i $P_{pz}/$, gdy o nośności decydują dla części tego zakresu zniszczenie przyrostowe, a dla pozostałej części zniekształcenie niskocyklowe. Gałąź P_{pp} , jako niezależna od kształtu przekroju belki, jest dla wszystkich przekrojów wspólna. Gałęzie P_{pz} są dla różnych przekrojów różne.

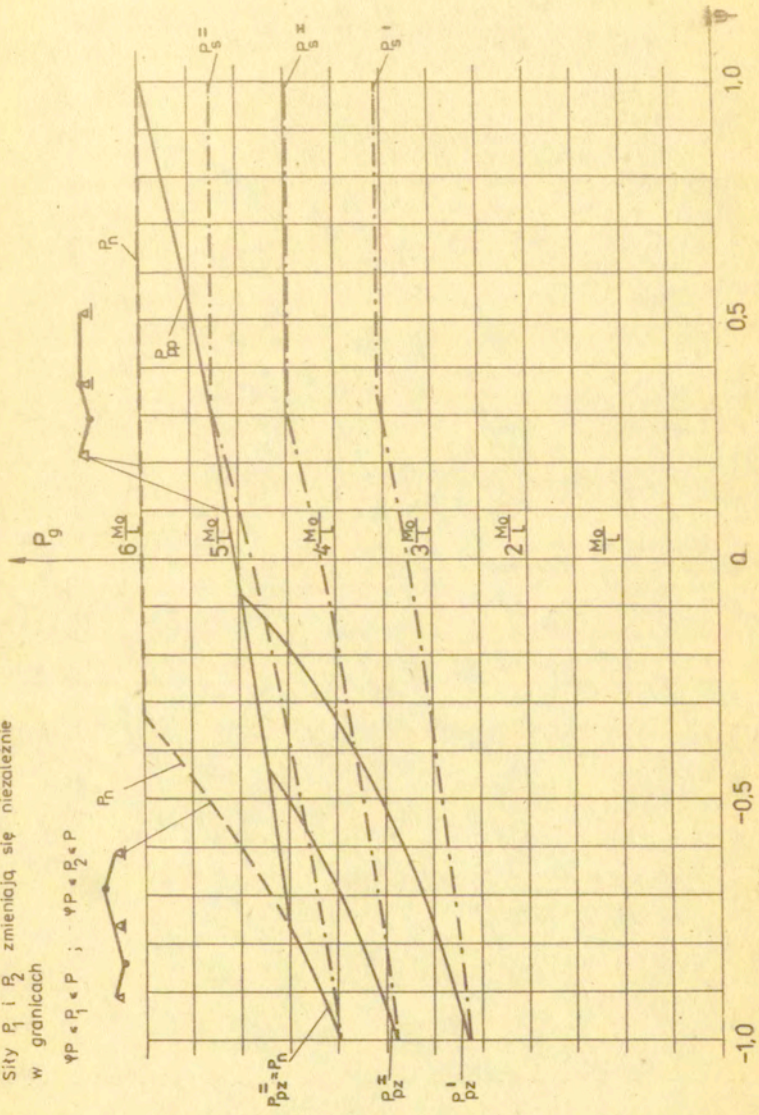
Wykresy sił P_s są dla różnych przekrojów różne i składają się z jednej, bądź z dwóch gałęzi w zależności od tego czy występujący we wzorze (4) moment $\max |M^1|$ jest wyrażony dla całego zakresu zmienności ψ jednym wzorem, czy też dwoma.

Różnice w wyznaczonych granicznych wartościach P_n , P_p i P_s sił P_1 są znaczne. Jedynie w dwu z rozpatrywanych przypadków belek i obciążeń krzywa P_n pokrywa się z krzywą P_{pz} wyznaczoną dla idealnego przekroju sandwiczowego w niewielkim zakresie zmienności ψ , bliskim $\psi = -1$. W trzech innych przypadkach krzywe te dla $\psi = -1$ mają punkt wspólny. W punktach odpowiadających $\psi = -1$ przecinają się także krzywe P_s z odpowiednimi, tzn. wyznaczonymi dla tych samych kształtów przekrojów, krzywymi P_p . Punkty wspólne dla $\psi = 1$ mają także wyznaczone dla wszystkich rozpatrywanych belek krzywe P_n i P_{pp} .

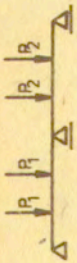


Sily P_1 i P_2 zmieniają się niezależnie w granicach

$$\psi P < P_1 < P ; \quad \psi P < P_2 < P$$

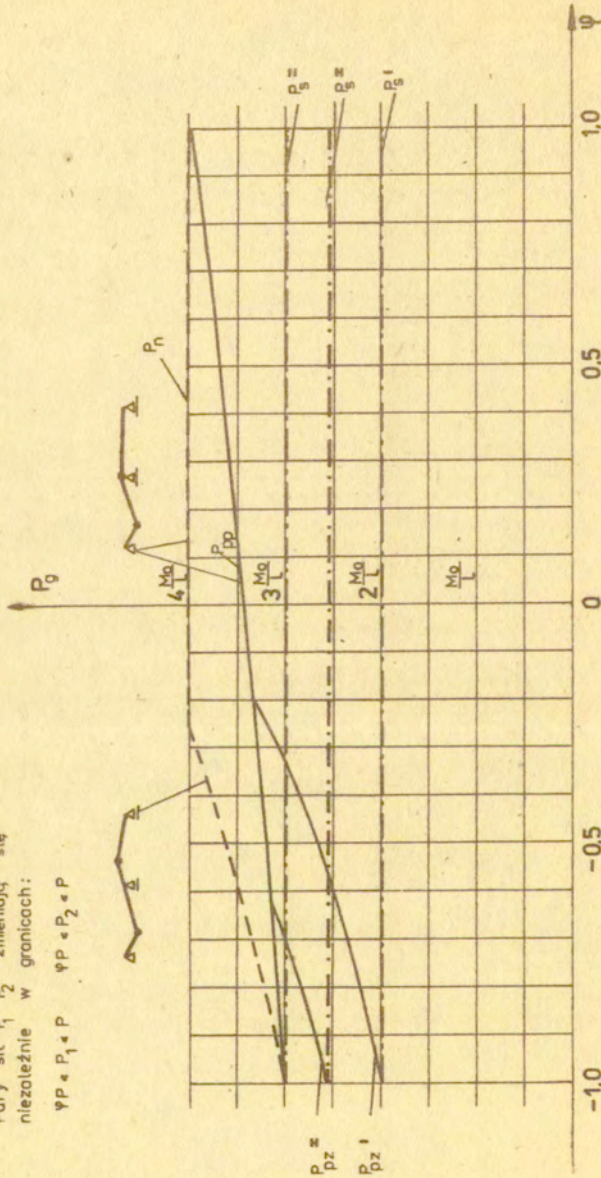


Rys.2. Opis jak na rys.3.



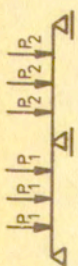
Pary sił P_1 , P_2 zmieniają się niezależnie w granicach:

$$\psi P \leq P_1 \leq P \quad \psi P \leq P_2 \leq P$$



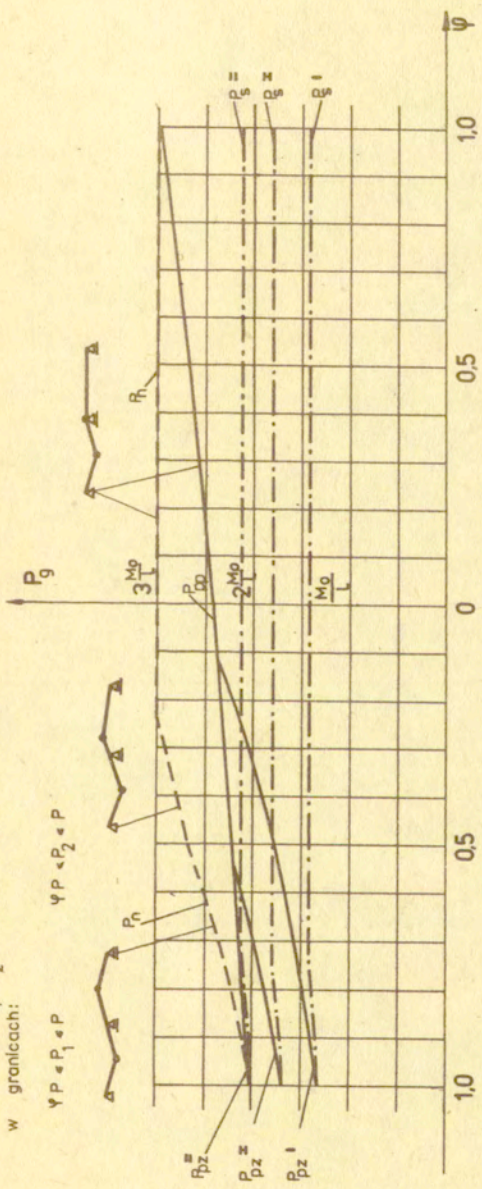
Rys. 3. Wykresy granicznych wartości P sił P_1 i P_2 w zależności od współczynnika ψ określającego dolną granicę zmienności sił P_i .

- P_n - graniczne obciążenie nośności wyznaczone dla obciążeń stałych wg teorii nośności granicznej
- P_p - graniczne obciążenie przystosowania wyznaczone dla obciążeń zmiennych wg teorii przystosowania
- P_p - zmniejszenie przystos. P_p - zmniejszenie niskocyklowe/
- P_p - nośność sprężysta, tj. obciążenie odpowiadające granicy stosowności związków sprężystych

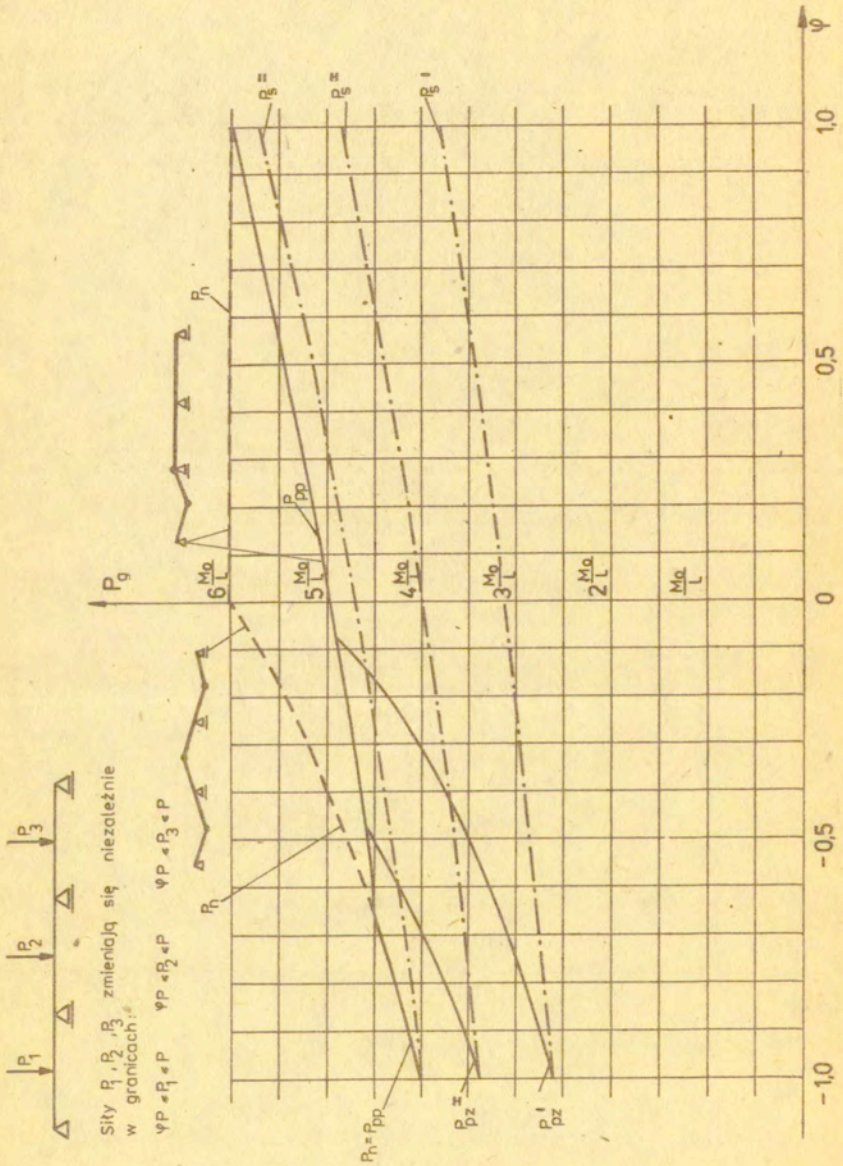


Trójki sił P_1, P_2 zmieniają się niezależnie w granicach:

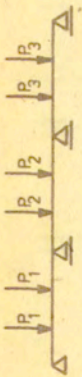
$$\psi P \leq P_1 \leq P \quad \psi P \leq P_2 \leq P$$



Rys.4. Opis jak na rys.3.

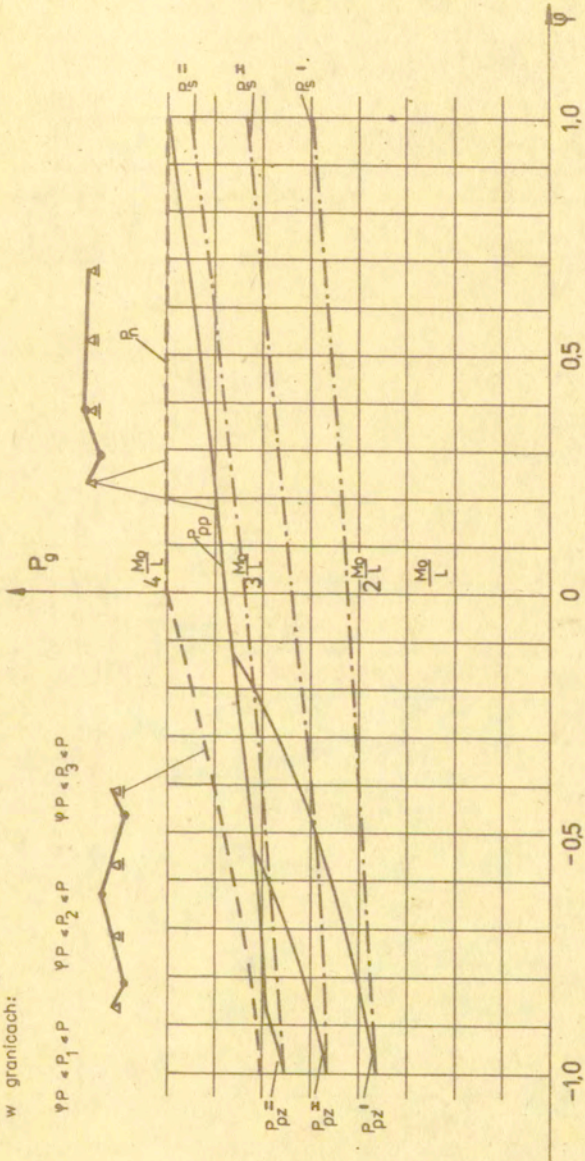


Rys. 5. Opis jak na rys. 3.

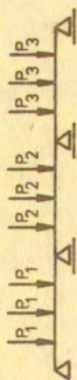


Pary sił P_1, P_2, P_3 zmieniają się niezależnie w granicach:

$$\psi P \leq P_1 \leq P \quad \psi P \leq P_2 \leq P \quad \psi P \leq P_3 \leq P$$

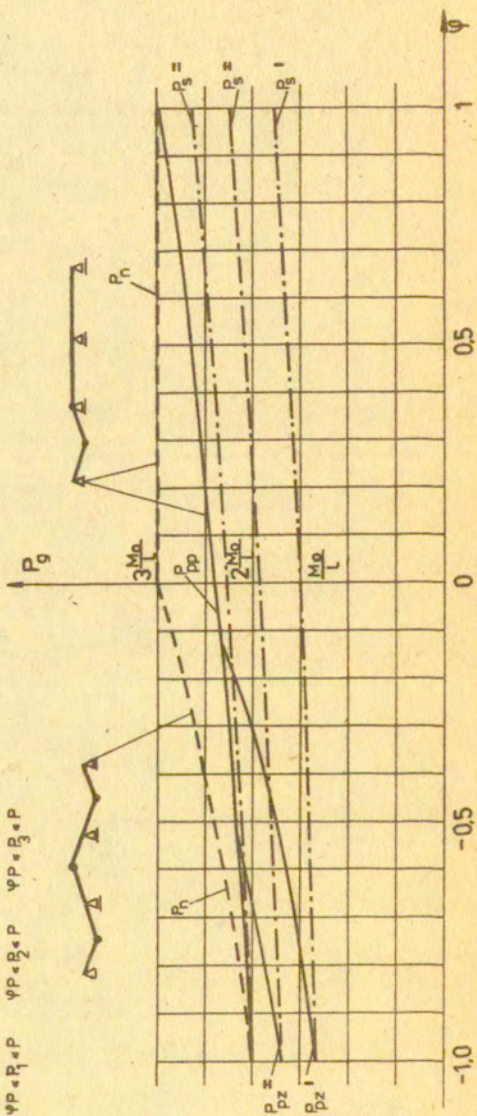


Rys.6. Opis jak na rys.3.



Trójkąt sił P_1, P_2, P_3 zmieniają się niezależnie w granicach:

$$\psi P + P_1 + P \quad \psi P + P_2 + P \quad \psi P + P_3 + P$$



Rys. 7. Opis jak na rys. 3.

4. WNIOSKI

Otrzymane wyniki wykazują znaczne różnice w wartościach sił granicznych wyznaczonych wg teorii nośności granicznej, teorii przystosowania i metody naprężeń dopuszczalnych. Potwierdzają one raz jeszcze konieczność przeprowadzenia przed przystąpieniem do projektowania wnikliwej analizy charakteru występujących obciążeń, a następnie wyboru właściwej teorii. Przy występowaniu obciążeń zmiennych w czasie koniecznym jest przeprowadzenie obliczeń w oparciu o twierdzenia teorii przystosowania, a nie teorii nośności granicznej, ta ostatnia bowiem daje rozwiązania niedostatecznie bezpieczne.

5. LITERATURA

1. J.A. König, A. Sawczuk, W. Paprocka-Grabczyńska: "Obliczanie ram i belek na przystosowanie", Zesz. Probl. "Mostostal" Nr 5, 1974.
2. W. Paprocka-Garlicka: "Stany graniczne ram portalowych poddanych obciążeniom zmiennym", Inżynieria i Budownictwo, 6, 1978.
3. W. Paprocka-Garlicka, J.A. König: "Projektowanie metodami teorii plastyczności belek ciągłych poddanych obciążeniom wielokrotnym", Inżynieria i Budownictwo, 4, 1979.