

Zbigniew PAJĄK

Ryszard KLISZCZEWICZ

Włodzimierz STAROSOLSKI

## BADANIA NA PRZEBICIE GRUBYCH PŁYT ŻELBETOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono opis, wyniki i analizę badań na przebicie 6 modeli żelbetowych płyt o znacznej sztywności. Cztery modele posiadały płytowe wsporniki i obciążone były siłą przebijającą po stronie rozciąganych włókien w płytach. Stwierdzono, że siły niszczące uzyskane z badań są od 20 do 90% wyższe od wartości sił obliczonych na podstawie znanych wzorów, stosowanych w typowych wypadkach przebicia żelbetowych płyt.

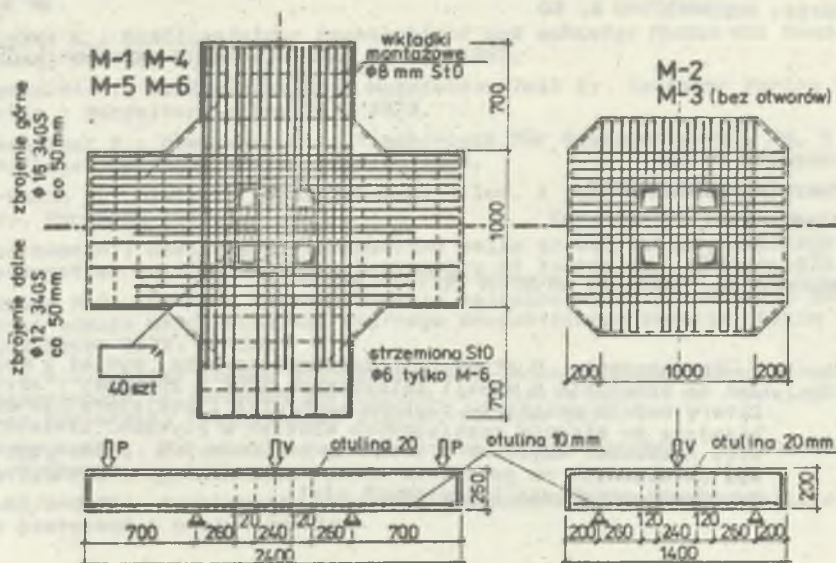
### 1. WSTĘP

Zagadnienie przebicia żelbetowych płyt stropowych i fundamentowych, w wyniku działania na nie skupionej na niewielkim polu siły przebijającej, jest już doświadczalnie i teoretycznie szeroko rozpoznane. W analizach porównawczych wyników badań tak obciążonych płyt z wynikami dociekań teoretycznych przeprowadzonych w pracach [1, 2] proponuje się odpowiednie metody obliczenia. Zakres bezpiecznego stosowania tych metod ograniczony jest jednak do typowych sytuacji, spotykanych najczęściej w ustrojach płytowo-słupowych i płytach fundamentowych, w których siła przebijająca przyłożona jest do płyty po stronie włókien ściskanych.

Przy próbach stosowania ustrojów płytowo-słupowych w specyficznych warunkach technologicznych budownictwa przemysłowego wyłaniają się szczególne przypadki występowania zjawiska przebicia. Prezentowane niżej badania miały na celu wyjaśnienie zjawiska przebicia żelbetowej płyty o dużej sztywności osiową siłą, działającą na niewielkim polu po stronie rozciąganych włókien płyty.

### 2. OPIS MODELI I SPOSOBU PRZEPROWADZENIA BADAŃ

Badanie przeprowadzono na 6 żelbetowych modelach o jednakowej grubości płyty wynoszącej 260 mm. Modele M-1, M-4, M-5, M-6 wykonano w postaci wycinka płyty z dodatkowymi czterema symetrycznie rozmieszczonymi płytowymi wspornikami. W części środkowej modele posiadały po cztery pionowe otwory. Modele M-2 i M-3 wykonano bez wsporników, przy czym model M-3 pozbawiony był otworów. Wymiary modeli, usytuowanie otworów oraz rozmieszczenie zbrojenia podłużnego przedstawiono na rys. 1.

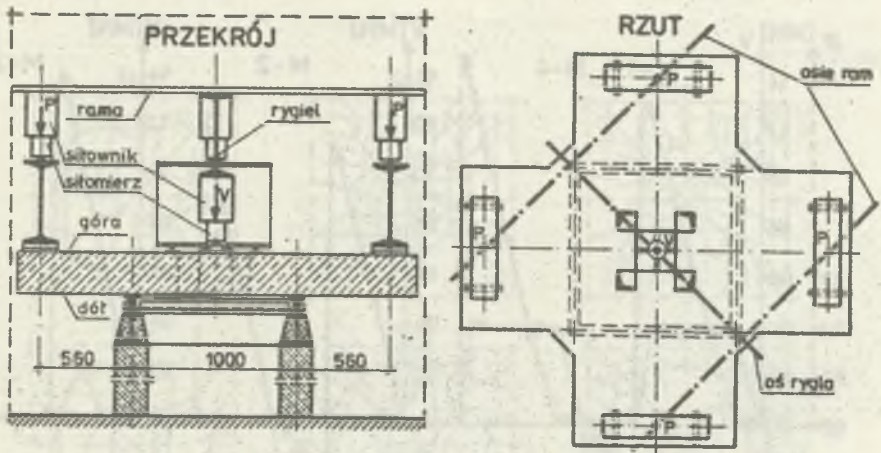


Rys. 1. Modele do badań

W płycie modelu M-4 stosowano dodatkowo poprzeczne zbrojenie na przecięciu w postaci 40 zamkniętych strzemion z drutu o średnicy 6 mm (StD). Rozmieszczono je w środkowej części płyty, symetrycznie wokół pola obciążeń. Obliczeniowa wartość siły poprzecznej  $V_p$  przenoszonej przez te strzemiona wynosiła 345 kN.

Cechy wytrzymałościowe zastosowanego do wykonania modeli betonu i stali zbrojeniowej zestawiono w tabelicy 1. Średnią wytrzymałość betonu na ściskanie  $\bar{R}_{\phi 160}$  określano każdorazowo na 6 walcach próbnych  $\phi 160 \times 160$  mm, wytrzymałość betonu na rozciąganie  $\bar{R}_{bz}$  określano na 3 walcach metodą brazylijską, natomiast średnią granicę plastyczności stali zbrojeniowej  $\bar{R}_{sa}$  ustalono na podstawie próby wytrzymałościowej na rozciąganie wybranych losowo (po 3 próby) odcinków prętów zbrojenia o średnicach 16, 12 oraz 6 mm.

Modele badano na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rys. 2. Płyty opierane były swobodnie za pośrednictwem ciągłego, stalowego łożyska przegubowego, na obwodowej podporze w kształcie kwadratu o boku 1000 mm. Ośiową siłę przebijającą  $V$ , wywieraną przez centralnie usytuowany słownik hydrauliczny, przekazywano na górną powierzchnię płyty modelu za pośrednictwem esztywniej, stalowej płyty dociskowej, o polu docisku  $240 \times 240$  mm. Modele M-1, M-4, M-5, M-6 obciążane były dodatkowo na końcach czterech wsporników, równymi co do wartości i kierunku, pionowymi siłami  $P$ . Obciążenie to miało na celu wywołanie momentów zginających, powodujących rozciąganie górnej powierzchni płyty, a więc działających przeciwnie niż momenty zginające wywołane działaniem osiowej siły przebijającej  $V$ .



Rys. 2. Schemat stanowiska do badań

Tablica 1

Cechy wytrzymałościowe betonu i stali

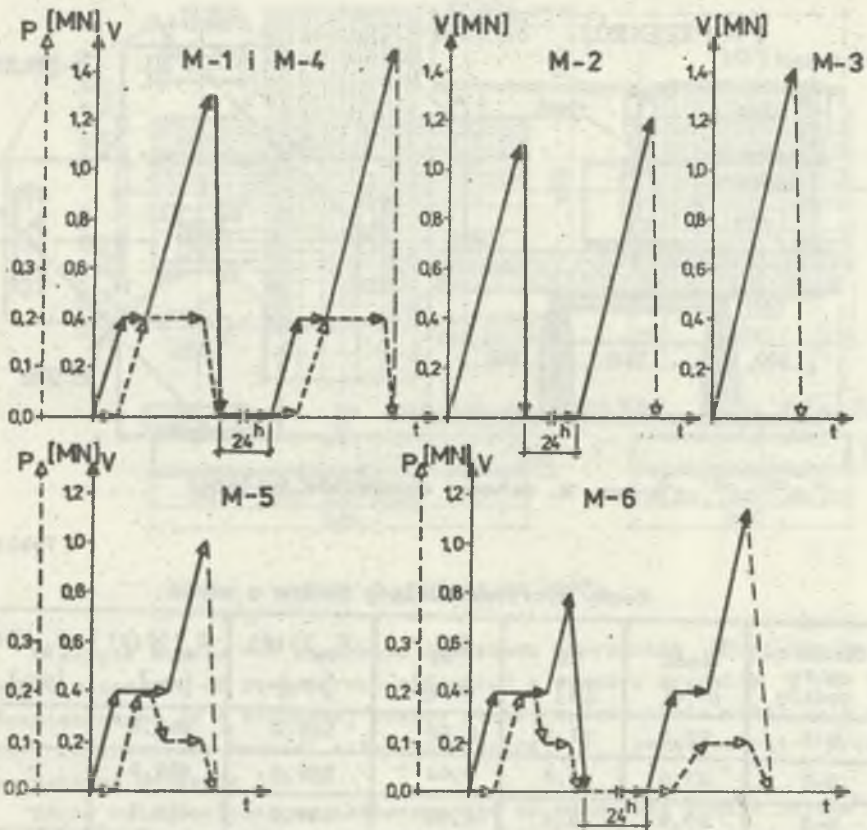
Oznaczenie modelu	$\bar{R}_{\phi 160}$ [MPa]	$\phi_R$ [%]	$\bar{R}_{bz}$ [MPa]	$\bar{R}_{ss}(\phi 16)$ [MPa]	$\bar{R}_{ss}(\phi 12)$ [MPa]	$\bar{R}_{ss}(\phi 6)$ [MPa]
M-1	28,3	13,1	2,88	529,0	469,3	-
M-2	27,8	12,3	4,64	529,0	469,3	-
M-3	29,9	8,4	3,00	529,0	469,3	-
M-4	22,4	3,2	2,30	432,3	446,9	-
M-5	21,2	10,5	1,85	432,3	446,9	-
M-6	19,7	16,0	2,26	432,3	446,9	197,6

$\phi_R$  - wskaźnik zielonkości wytrzymałości betonu  $R_{\phi 160}$

Modele M-2 i M-3, obciążone tylko osiową siłą przebijającą, stanowiły punkt odniesienia dla pozostałych modeli z dodatkowo obciążonymi wspornikami.

Program obciążenia zakładał zniszczenie wszystkich modeli przez przebicie osiową siłą V. Historię obciążenia poszczególnych płyt przedstawiono graficznie na rys. 3. Obciążenia zwiększano skokowo: co 50 kN dla siły V i co 20 kN dla sił P. Przy każdym poziomie obciążenia dokonywano pomiarów ugięć (czujniki zegarowe o działce 0,001 mm) w 18 punktach wytypowanych na górnej powierzchni płyt.



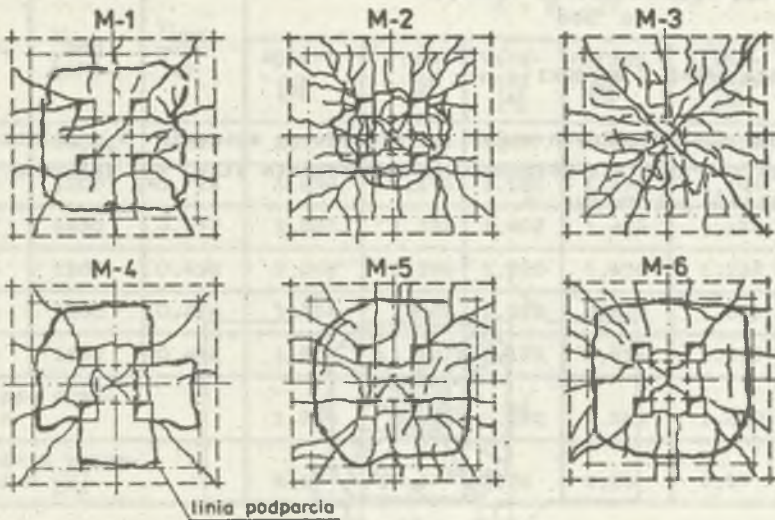


Rys. 3. Historia obciążenia modeli

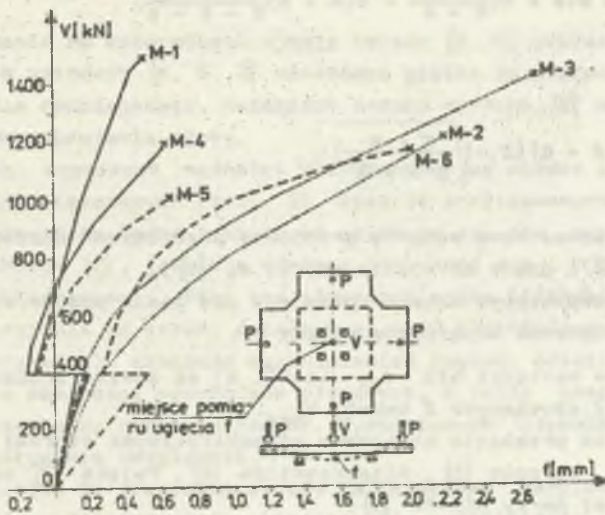
### 3. WYNIKI BADAŃ

Zniszczenie modeli następowało nagle, było charakterystyczne dla zniszczenia przez przebicie i objawiało się występowaniem obwodowej rysy na dolnej powierzchni płyt. Kąt nachylenia wytworzonej w momencie zniszczenia rysy ukośnej, obserwowany w otworach, wynosił około  $45^{\circ}$ . Jedynie obraz zniszczenia modelu M-3 (bez otworów) był odmienny i charakteryzował się, w końcowej fazie obciążenia, znacznym rozwarciem rys promieniowych i dużymi przrzedkami ugięć bez wzrostu obciążeń. Taki obraz zniszczenia jest typowy dla zniszczenia przez zginanie. Obrazy zarysowania poszczególnych modeli w chwili zniszczenia przedstawia rys. 4.

Obraz zarysowania (rys. 4) zależał od schematu obciążenia przebitych płyt. Modele z obciążonymi wspornikami były znacznie mniej zarysowane w chwili zniszczenia niż modele obciążone jedynie siłą przebijającą (M-2 i M-3).



Rys. 4. Obrazy zarysowania centralnych części płyt po zniezczeniu, widok powierzchni dolnej - por. rys. 2

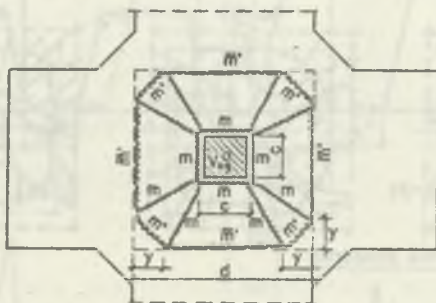


Rys. 5. Wyniki pomiarów ugięć

Na rys. 5 przedstawiono natomiast wyniki badań ugięć środkowego punktu poszczególnych płyt dla końcowego cyklu obciążenia - również i tu uwi-  
docznił się wpływ schematu badania.

#### 4. ANALIZA BADAŃ I WNIOSKI

Nośność poszczególnych modeli ze względu na zginanie  $V_{zg}$  obliczono na podstawie teorii linii żełomów. Dla wyznaczenia siły  $V_{zg}$  założono siatkę linii żełomów jak na rys. 6.



Rys. 6. Schemat siatki linii żełomów

Dla tak przyjętej siatki linii żełomów otrzymano:

$$V_{zg} = 8(m + \bar{m}) \frac{d - 2y}{d - c} + 8(m + m') \frac{y}{d - c - y}, \quad (1)$$

gdzie:

$$y = (d - c) \left( 1 - \sqrt{\frac{m' + m}{2m + m'}} \right), \quad (2)$$

$m, m'$  - jednostkowe momenty graniczne przenoszone odpowiednio przez górne i dolne zbrojenie płyty, wg [3],

$\bar{m}'$  - jednostkowy moment zginający nad linią podpór wynikający z obciążenia wsporników siłami  $P$ .

Obliczone wartości sił  $V_{zg}$  (tabl. 2) są zawsze znacznie większe od wartości sił uzyskanych z badań  $V_{bad}$ .

Nośność na przebicie obliczono półempirycznymi wzorami Moego [2], Yitzhakiego [4], Herzoga [5], Kliszczewicza [6], Pająka [7] oraz na podstawie amerykańskiej normy ACI-77 [3].

Wpływ otworów zlokalizowanych w strefie przebicia w metodach [3, 5, 6, 7] uwzględniono przez redukcję wartości obwodu zastępczego  $U_0$  (w odległo-



Tablica 2

## Analiza wyników badań

Model	$V_{\text{bad}}$ [kN]	$\frac{V_{\text{bad}}}{V_{\text{zg}}}$	$A = V_{\text{bad}}/V_0$					
			ACI-77 [3]	Moë [2]	Yitz- haki [4]	Herzog [5]	Klucz- czewicz [6]	Pająk [7]
M-1	1500	0,493	2,277	1,329	1,477	1,801	1,339	1,690
M-2	1200	0,724	1,838	1,196	1,181	1,454	1,194	1,361
M-3	1430	0,857	1,845	1,384	1,402	1,459	1,238	1,424
M-4	1200	0,418	2,048	1,186	1,220	1,658	1,237	1,473
M-5	1000	0,424	1,754	1,042	1,022	1,420	1,091	1,252
M-6	1150	0,492	1,856	1,127	1,185	1,694	1,218	1,355
Wartość śred- nia A			1,936	1,211	1,248	1,581	1,220	1,426
Wskaźnik zmien- ności $\psi$ [%]			9,97	10,47	13,22	9,96	6,57	10,47

ści  $0,5 h_0$  od krawędzi pola obciążeń) współczynnikiem  $k = F_n/F$ , w którym  $F$  oznacza pole powierzchni poboczniczy bryły wydzielonej przekrojem zniezczenia nachylonym pod kątem  $45^\circ$ , natomiast  $F_n$  - pole  $F$  zmniejszone o sumaryczne pola wycięte przez otwory. Wartość  $k$  dla badanych modeli wynosi 0,873. W metodach [2, 4], w których obwód zastępczy przyjmuje się wokół pola obciążeń ( $U = 4c$ ), otwory narożne nie redukują nośności na przebicie.

Wpływ obciążenia na wspornikach ujmują metody [2, 6] poprzez wartość  $V_{\text{zg}}$  (wzór 1). W metodach [4, 5, 7] własności giętkie uwzględnia się przez stopień zbrojenia rozciąganego, natomiast metoda normowa [3] w ogóle nie uwzględnia wpływu zbrojenia płyty.

We wszystkich wypadkach nośności obliczeniowe są niższe od odpowiednich wartości sił niszczących (tabl. 2). Spośród analizowanych metod najlepszą zgodność wyników badań i obliczeń uzyskuje się dla metody Kluczczewicza [6] i Moëgo [2], jednak i wówczas otrzymuje się 20% zniżenie wartości siły obliczeniowej. Fakt ten tłumaczyć można istnieniem w płytach silnego zbrojenia od strony działającej siły przebijającej ( $\phi 16$  co 50 mm w dwu kierunkach), znacznym ograniczeniem swobody odkształceń sodełli wynikającym z obecności wsporników płytowych, a także znaczną grubością płyty w stosunku do rozstawu podpór. Wymienionych czynników żadna z analizowanych metod nie uwzględnia.

Badania wykazały, że stosowane metody obliczeniowe bezpiecznie, jakkolwiek nieprecyzyjnie, pozwalają określić siłę przebijającą dla omawianej, nietypowej sytuacji. Można domniemywać, że na wzrost nośności płyt na przebicie wpłynęła istotnie sztywność wsporników, ograniczająca swobe-

dę odkształceń płyty. Fakt ten ma także miejsce w rzeczywistych konstrukcjach płytowo-słupowych - ciągłość płyty stropowej również ogranicza swobodę odkształceń płyty w strefie podporowej. Z tego względu celowe byłoby przeprowadzenie w przyszłości badań pozwalających na wyjaśnienie tego czynnika.

#### LITERATURA

- [1] Joint ASCE-ACI Task Committee 426: The shear strength of reinforced concrete members - slabs. Journal of the Structural Division; Proceedings of the ASCE, vol. 100, nr ST 8, sierpień 1974, ss. 1543-1591.
- [2] Moe J.: Shearing strength of reinforced concrete slabs and footings under concentrated loads. Bulletin D 47. Portland Cement Association; Skokie, Illinois, 1961, 130 stron.
- [3] ACI Committee 318: Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-77). American Concrete Institute; Detroit, Mich., 1977, 103 strony.
- [4] Yitzhaki D.: Punching strength of reinforced concrete slabs. ACI Journal; Proceedings vol. 63, nr 5, maj 1966, ss. 527-540.
- [5] Herzog M.: Die Bruchlast ein- und mehrfeldriger Rechteckplatten aus Stahlbeton nach Versuchen. Beton - und Stahlbetonbau nr 3, marzec 1976, ss. 69-71.
- [6] Kliszczewicz R., Pajek Z., Starosolski W.: Badania nośności połączenia płyty ze słupem prefabrykowanym przy obciążeniu osiowym. Archiwum Inżynierii Lądowej, tom XXIII, z. 4, 1977, ss. 409-418.
- [7] Pajek Z.: Nośność na przebicie stref podporowych ustrojów płytowo-słupowych osłabionych pionowymi otworami. XXIX Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB; Krynica 1983, t. III, ss. 121-126.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЛСТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ

#### Резюме

В статье представлены описание, результаты и анализ исследований на продавливание 6 модели железобетонных плит значительной жесткости. Четыре модели были укреплены плиточными консолями и к моделям была приложена нагрузка равная по величине силе продавливания со стороны растягиваемых волокон плит. Установлено, что разрушительные силы полученные в результате исследований, больше 20 до 90% величин сил, рассчитанных по известным формулам, применяемых в типичных случаях продавливания железобетонных плит.



PUNCHING STRENGTH TESTS OF THICK REINFORCED CONCRETE SLABS

Summary

In the paper the description, results, and analysis of the tests of 6 rigid reinforced concrete slab - models have been presented. Four models had slab cantilevers and were loaded by punching force on tension side of the slabs. It was noted, that the failure loads obtained in the tests are 20 to 90 per cent greater than the value of the loads calculated by means of the known formulas, using in the typical cases of punching of reinforced concrete slabs.

W artykule opisano badania na przebiciu sześciu modeli płyt żelbetonowych z przyczepionymi do ścian pionowych przegubami. Cztery modele płyt były przyczepione do ścian pionowych i były obciążone siłą przebicia z przodu. Wyniki badań i analiza wyników wykazały, że wartości obciążenia przy którym nastąpiło przebicie płyt w badaniach były 20-90% większe od wartości obciążenia przy którym nastąpiłoby przebicie płyt przy zastosowaniu znanych wzorów, używając w typowych przypadkach wzorów na przebicie płyt żelbetonowych.

1. WSTĘP

Wzrost wartości siły przebicia, w stosunku do siły obciążenia przy którym nastąpiłoby przebicie płyt przy zastosowaniu znanych wzorów, przy zastosowaniu przegubów pionowych, jest wynikiem działania przegubów pionowych. Wyniki badań i analiza wyników wykazały, że wartości obciążenia przy którym nastąpiło przebicie płyt w badaniach były 20-90% większe od wartości obciążenia przy którym nastąpiłoby przebicie płyt przy zastosowaniu znanych wzorów, używając w typowych przypadkach wzorów na przebicie płyt żelbetonowych.

2. OPIS BADAŃ

Badania przeprowadzono na sześciu modelach płyt żelbetonowych z przyczepionymi do ścian pionowych przegubami. Cztery modele płyt były przyczepione do ścian pionowych i były obciążone siłą przebicia z przodu. Wyniki badań i analiza wyników wykazały, że wartości obciążenia przy którym nastąpiło przebicie płyt w badaniach były 20-90% większe od wartości obciążenia przy którym nastąpiłoby przebicie płyt przy zastosowaniu znanych wzorów, używając w typowych przypadkach wzorów na przebicie płyt żelbetonowych.

- 1. Wzrost wartości siły przebicia - 20-90%.
- 2. Wyniki badań i analiza wyników.
- 3. Wyniki badań i analiza wyników.
- 4. Wyniki badań i analiza wyników.

WZROST WARTOŚCI SIŁY PRZEBICIA, W STOSUNKU DO SIŁY OBCIĄŻENIA PRZY KTORYM NASTĄPIŁOBY PRZEBICIE PŁYTY ŻELBETONOWEJ, PRZY ZASTOSOWANIU PRZEGUBÓW PIONOWYCH, JEST WYNIKIEM DZIAŁANIA PRZEGUBÓW PIONOWYCH.

WARTOŚCI OBCIĄŻENIA PRZY KTORYM NASTĄPIŁO PRZEBICIE PŁYTY ŻELBETONOWEJ W BADAANIACH BYŁY 20-90% WIĘKSZE OD WARTOŚCI OBCIĄŻENIA PRZY KTORYM NASTĄPIŁOBY PRZEBICIE PŁYTY ŻELBETONOWEJ PRZY ZASTOSOWANIU ZNANYCH WZORÓW, UŻYWAJĄC W TYPIWYCH PRZYPADKACH WZORÓW NA PRZEBICIE PŁYTY ŻELBETONOWEJ.