

Włodzimierz STAROSOLSKI

O STOSOWANIU W OBLICZANIU PŁYT KRZYŻOWO ZBROJONYCH METODY WG EUROCODE 2

Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę porównawczą koniecznego zbrojenia płyt krzyżowo zbrojonych uzyskanego na podstawie Eurocode 2 i normy PN-84/B-03264. Analiza wykazała, że zastosowanie tego algorytmu zwiększy wydatnie zbrojenie płyt krzyżowo zbrojonych w stosunku do zbrojenia uzyskiwanego z obliczeń tradycyjnych. Dla zachowania zgodności wyników obliczeń komputerowych i wyników uzyskiwanych przy obliczaniu za pomocą tablic, zmianie musi ulec wiele przepisów konstrukcyjnych. Przedstawiono te zmiany.

ON USING IN CALCULATION OF THE TWO-WAY REINFORCED PLATES METHODS' BY EUROCODE 2

Summary. In this article the comparative analysis of necessary reinforcement of two-way reinforced plates obtained by Eurocode 2 and by PN-84/B-03264 code, were executing. This analysis shown, that using these algorithms increased reinforcement of two-way reinforced plates in comparison to reinforcement obtained by traditional calculation. To remaining the conformability of computer results and results obtaining by calculations using tables, many of constructions' rules must be change. In presented article these changes have been describing.

ÜBER DER ANWENDUNG DIE METHODE NACH EUROCODE 2 IM BERECHNUNGEN DER KREUZBEWEHRENDENPLATEN

Zusammenfassung. In den Artikel wurde die vergleichende Analyse der notwendigen Bewehrungen der Kreuzbewehrendenplatten erwirken nach Eurocode 2 und PN-84/B-03264 durchgeführt. Die Analyse ist ausgewist, daß die Anwendung des Algorithmus wird vergrößern der Bewehrung dieser Kreuzbewehrendenplatten im Verhältniss zur Bewehrung erwirken auf der traditionellen Berechnungen. Zur erhaltung der Verträglichkeit der computerberechnungen Resultaten und des Ergebnisse enwirkene nach Berechnungen mit der Tafeln, die Reihe der Konstruktions- vorschriften müssen ändern sein. Diese Änderungen wurde vorgestellt.

1. WPROWADZENIE

Od wielu dziesiątków lat stosowana jest, mająca swoje usankcjonowanie w obowiązującej normie PN-84/B-03264 [1], tradycyjna metoda wymiarowania zbrojenia i konstruowania płyt krzyżowo zbrojonych. Metoda ta zakłada wykorzystanie przy obliczaniu zbrojenia tablic momentów zginających "obliczonych wg teorii sprężystości". Pojawienie się komputerowych metod obliczania płyt stworzyło możliwości i zapotrzebowanie na bardziej precyzyjne metody lokalnego obliczania zbrojenia takich płyt. Powstało wiele metod autorskich, pozwalających na bazie rozwiązania płyty sprężystej określić konieczne zbrojenie w każdym miejscu obliczanej płyty. Dopiero jednak projekt Eurocode 2 [2] prowadzi do normowego usankcjonowania jednego z algorytmów lokalnego obliczania zbrojenia w płytach krzyżowo zbrojonych. Prawdopodobieństwo wprowadzenia tego algorytmu jako obowiązującego skłania do przeanalizowania odpowiedniości wyników obliczeń uzyskanych na podstawie tego algorytmu i rozwiązań tradycyjnych.

Poniższa analiza przeprowadzona zostanie w odniesieniu do sprecyzowanych ściśle w normie PN-84/B-03264 zasad zbrojenia płyt jednopółowych podpartych na obwodzie w sposób uniemożliwiający oderwanie od podparcia, które posłużą jako punkt odniesienia. Zagadnienie rozpatrzono niezależnie dla trzech podstawowych obszarów zbrojenia płyty: zbrojenia dolnego przęsłowego oraz przynaróżnikowego zbrojenia dolnego i górnego płyt swobodnie podpartych. Pominięto zagadnienia zbrojenia krawędzi zamocowanych, gdyż w tym przypadku zgodność kierunków zbrojenia i kierunków momentów głównych zapewnią, niezależnie od metody obliczania zbrojenia, tożsamość rozwiązań. Analiza ta, dla ułatwienia porównań, przeprowadzona została na bezwymiarowych współczynnikach $\alpha = m/pl^2$, określających wartości momentów zgodnych z kierunkiem zbrojenia, a służących do bezpośredniego wyliczenia tego zbrojenia.

2. ZBROJENIE UKOŚNE DOLNE W NAROŻACH SWOBODNIE PODPARTYCH BEZ MOŻLIWOŚCI ODERWANIA.

Jak wiadomo, norma nasza wymaga w narożach swobodnie podpartych, poza zbrojeniem dolnym prowadzonym od środka płyty (ewentualnie przy krawędziach rozrzedzonego), odpowiedniego zbrojenia ukośnego. Zbrojenie to obejmować powinno trójkąt o boku równym $1/3$ mniejszego wymiaru płyty, a jego moc powinna być nie mniejsza niż maksymalna w przekroju środkowym płyty.

Jeżeli przeanalizujemy płytę kwadratową i płyty prostokątne, to możemy stwierdzić co następuje:

- w płycie kwadratowej momenty główne rozciągające dolną płaszczyznę płyty skierowane są prostopadle do dwusiecznej kąta w narożu i mają wartość praktycznie równą maksymalnemu momentowi przeszłowemu m_{\max} ;
- w płytach prostokątnych odpowiednie momenty główne są także skierowane prostopadle do dwusiecznej kąta w narożu, a ich wartość wynosi:

$$\text{dla } l_x/l_y = 1,5 - 0,68 m_{\max} \quad \text{a dla } l_x/l_y = 2,0 - 0,57 m_{\max}.$$

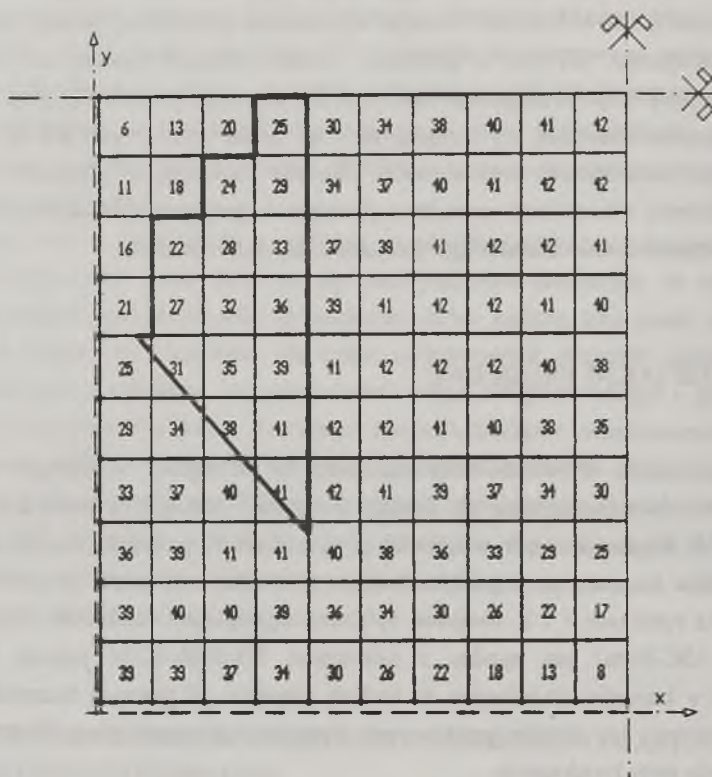
Jak widzimy, PN-84/B-03264 wymaga umieszczania przy dolnej płaszczyźnie naroża zbrojenia silniejszego, niż jest to konieczne. Trzeba pamiętać bowiem, że przy dolnej płaszczyźnie płyty znajduje się jeszcze doprowadzane do podpory dolne zbrojenie przeszłowe. Można oczywiście rozważać, czy zbrojenie to w tej formie i takiej mocy jest tu potrzebne? Ponieważ wszystkie metody wymiarowania zbrojenia prowadzą w przypadku zgodności kierunku zbrojenia z kierunkiem momentów głównych do praktycznie jednakowych wyników, możemy wyłączyć obszar działania tego zbrojenia z dalszych rozważań.

3. ZBROJENIE DOLNE PRZEŚŁOWE

Przepisy normy PN-84/B-03264 stanowią, że otrzymane maksymalne zbrojenie jednostkowe należy (niezależnie dla każdego kierunku) rozłożyć na pasie środkowym o szerokości $3/5$ długości krawędzi w kierunku prostopadłym. W pasach bocznych o szerokości $1/5$ długości w kierunku prostopadłym zbrojenie to można zmniejszyć do połowy. Jak to wykazano na rysunkach 1 i 2, zbrojenie wyliczone wg algorytmu Eurocode 2 (za pomocą programu ABC-Płyta) jest zgodne z zaleceniami PN-84/B-03264 jedynie w paśmie środkowym w kierunku równoległym do krótszej krawędzi. W pasmach bocznych dla tego kierunku następuje już znaczne przekroczenie wymagań stawianych przez PN-84/B-03264, największe dla płyty kwadratowej.

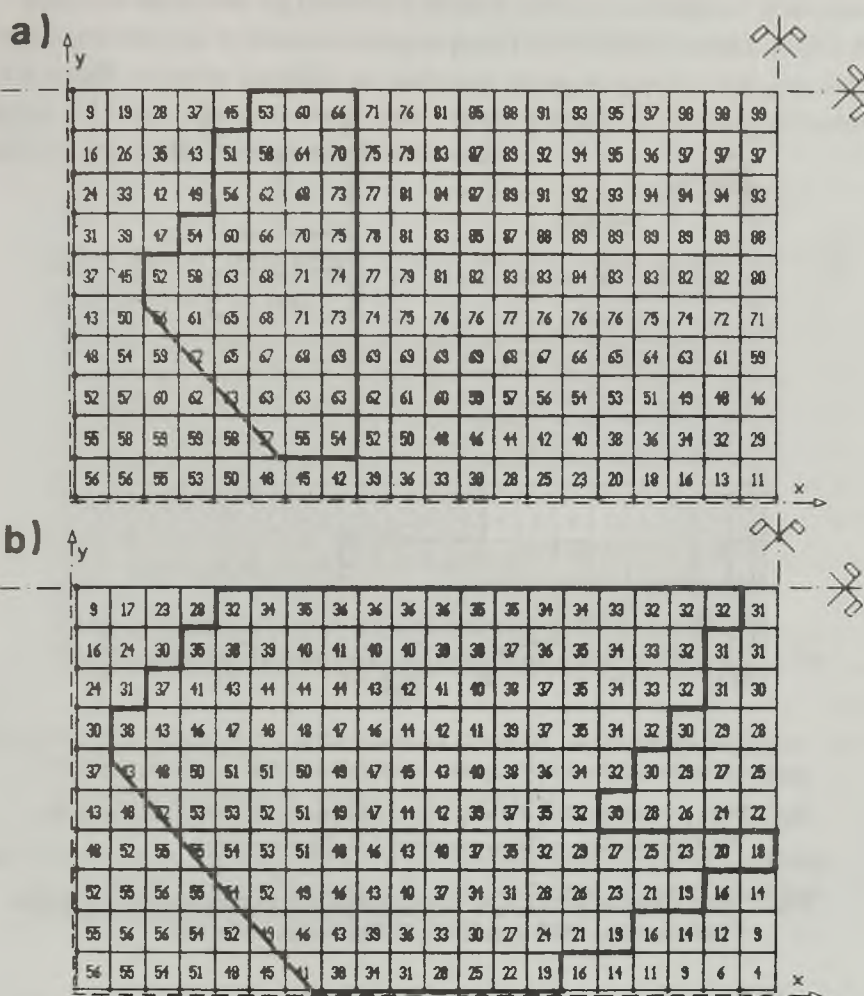
Dla kierunku równoległego do dłuższej krawędzi płyt prostokątnych (por rys.2b) wartości wyliczone wg algorytmu Eurocode 2 przekraczają praktycznie na całej powierzchni wartości wynikające z zaleceń PN-84/B-03264. Przekroczenie to pogłębia się wraz z wydłużeniem płyty, osiągając dla płyty o $l_x/l_y = 2$ nawet 170% maksymalnej wartości w osi. Paradoksalnie, ale wzdłuż osi poprzecznej płyty wartości te są właśnie najmniejsze. Jest to zresztą oczywiste, bo jedynie w tym przekroju występuje zgodność kierunku momentów głównych z kierunkiem zbrojenia. Największa, bo przekraczająca nawet 300%, rozbieżność z normą [1] występuje w

pasmach skrajnych. Dla ilustracji na rysunku 3 przedstawiono rozkład wartości α_x w przekroju poprzecznym płyty prostokątnej, gdzie linią przerywaną pokazano wartości wynikające z zaleceń PN-84/B-03264. Na rysunku tym widoczne są także, występujące w tym przekroju, znaczne ujemne wartości α_x wskazujące na potrzebę przykrawędziowego zbrojenia górnej płaszczyzny płyty. W stosunku do dolnego zbrojenia równoległego do podłużnej osi płyty analogiczna sytuacja występuje także w płytach zamocowanych na obwodzie (rys.4.).



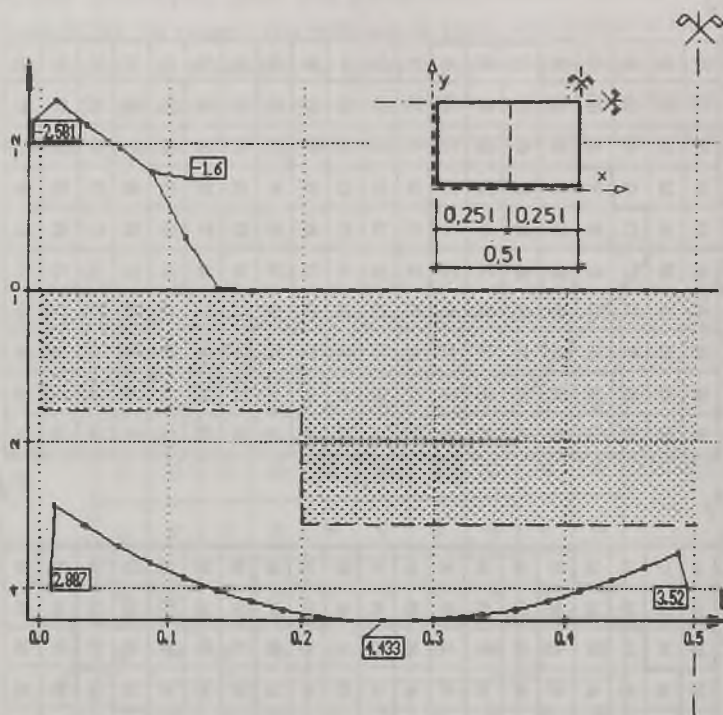
Rys. 1. Płyta kwadratowa wsparta na obwodzie obciążona równomiernie. Współczynniki $\alpha_y \times 1000$ dla zbrojenia dolnego. Grubą linią otoczono obszar wartości większych, niż to wynika z PN-84/B-03264

Fig. 1. Coefficient $\alpha_y \times 1000$ for bottom reinforcement. By thick line the area of greater values than its results from PN-84/B-03264 is surrounding



Rys.2. Płyta prostokątna $l_x/l_y=2$ wsparta na obwodzie obciążona równomiernie. Współczynniki dla zbrojenia dolnego - a) $\alpha_y \times 1000$, b) $\alpha_x \times 1000$. Grubą linią otoczono obszary wartości większych, niż to wynika z PN-84/B-03264

Fig.2. The rectangular plate $l_x/l_y=2$ supporting on circumference uniformly loaded. Coefficients for bottom reinforcement - a) $\alpha_y \times 1000$, B) $\alpha_x \times 1000$. By thick line the area of greater values than its results from PN-84/B-03264 is surrounding



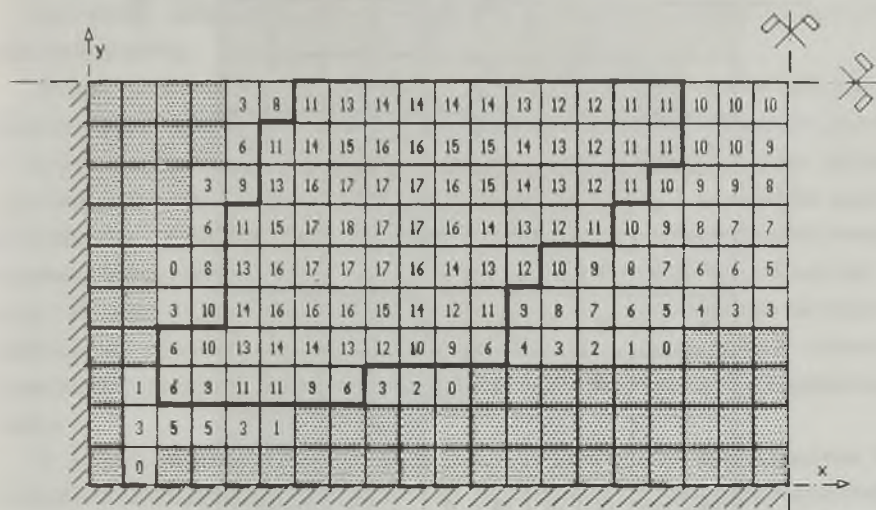
Rys.3. Płyta prostokątna $l_x/l_y = 2$ wsparta na obwodzie obciążona równomiernie.
Współczynniki $\alpha_x \times 100$ w przekroju $l_x/4$. Opis w tekście

Fig.3. The rectangular plate $l_x/l_y=2$ supporting on circumference uniformly loaded.
Coefficient $\alpha_x \times 1000$ in section $l_x/4$. Description in the text

4. ZBROJENIE GÓRNE W NAROŻACH PŁYT SWOBODNIE PODPARTYCH BEZ MOŻLIWOŚCI ODERWANIA

Norma wymaga, aby naroża górnej płaszczyzny płyt swobodnie podpartych były dodatkowo zbrojone w obu kierunkach. Zbrojenie to, o mocy równej połowie mocy maksymalnej w środku płyty, powinno być rozłożone na powierzchni kwadratu o boku równym $1/5$ długości dłuższej krawędzi płyty.

Wyliczone algorytmem wg Eurocode 2 zbrojenie górne przynaroznikowe przekracza dla płyty kwadratowej (rys. 5) zbrojenie wymagane przez PN-84/B-03264, lokalnie nawet o 80%. Także obszar, na którym konieczne jest zazbrojenie górnej płaszczyzny płyty, jest znacznie większy. W miarę wydłużania płyty maleje różnica pomiędzy zbrojeniem wylczonym z algorytmu Eurocode 2 a wymaganiami PN-84/B-03264.



Rys.4. Płyta prostokątna $l_x/l_y = 2$ zamocowana na obwodzie obciążona równomiernie. Współczynniki $\alpha_x \times 1000$ dla zbrojenia dolnego. Grubą linią otoczono obszar wartości większych, niż to wynika z PN-84/B-03264.

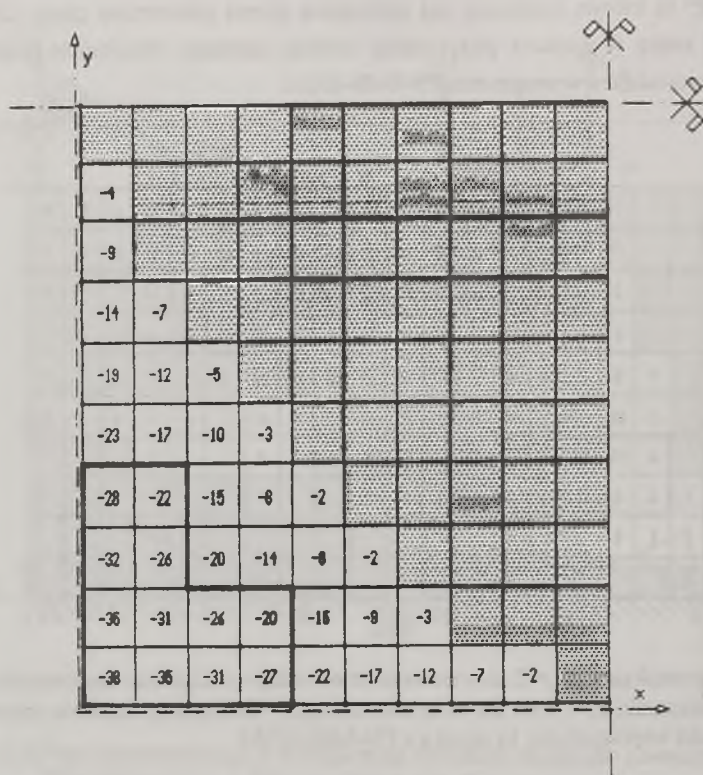
Fig.4. The rectangular plate $l_x/l_y=2$ fixed on circumference uniformly loaded. Coefficient $\alpha_x \times 1000$ for bottom reinforcement. By thick line the area of greater values than its results from PN-84/B-03264 is surrounding

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione wrywkowe wyniki obliczeń pozwalają stwierdzić, że w stosunku do wymagań normy PN-84/B-03264 zastosowanie algorytmu wg Eurocode 2 powoduje zwiększenie:

- zbrojenia w pasmach skrajnych,
- zbrojenia przęsłowego w kierunku równoległym do długości płyty - w skrajnym przypadku ($l_x/l_y = 2$) aż o 100%;

- zbrojenia narożnikowego górnego, w skrajnym przypadku ($l_x/l_y = 1$) prawie o 100 %.
Omawiany algorytm jest przystosowany do obliczania płyt metodami komputerowymi.



Rys.5. Płyta kwadratowa wsparta na obwodzie obciążona równomiernie. Współczynniki $\alpha_y \times 1000$ dla zbrojenia górnego. Grubą linią otoczono obszar wartości większych, niż to wynika z PN-84/B-03264

Fig.5. Coefficient $\alpha_y \times 1000$ for upper reinforcement. By thick line the area of greater values than its results from PN-84/B-03264 is surrounding

Ponieważ znaczna część obliczeń wykonywana będzie dalej metodami tradycyjnymi przy użyciu tablic, to dla uzyskania zgodności wyników obu tych sposobów obliczeń należałoby w zaleceniach konstrukcyjnych przyjąć, że:

- zbrojenie dolne jednostkowe, wynikające z maksymalnych momentów, rozkłada się równomiernie odpowiednio na całej szerokości płyty, a więc bez pasów skrajnych o połówkowej intensywności,

- zbrojenie dolne równoległe do dłuższego boku płyty jest większe niż to wynika z maksymalnego momentu w przekroju środkowym (asekuracyjnie będzie to wartość dwukrotnie większa),
- zbrojenie górne nad narożnikami swobodnie podpartymi powinno być co do mocy równe maksymalnej wartości występującej w przęśle, a nie jak dotąd równe połowie tej wartości.

Oczywiście, zamiast tych przyjęć dokonanych z nadmiarem, można by opracować odpowiednie tablice.

Skrajnie przeciwnym do algorytmu wg Eurocode 2 jest klasyczne podejście do wymiarowania zbrojenia płyty. Polega ono na odpowiednim rozłożeniu momentów głównych w każdym punkcie płyty na kierunek x i y . W tym przypadku uzyskujemy pełną zgodność wyliczonego zbrojenia z obowiązującymi zaleceniami PN-84/B-03264, z wyjątkiem górnego zbrojenia naroży w płytach o $l_x/l_y > 1$. W miarę wydłużania płyty następuje spadek stosunku zbrojenia górnego narożnikowego do maksymalnego zbrojenia przęsłowego, od wartości 0,5 do 0,3 dla płyty o $l_x/l_y = 2$. Jest oczywiście problemem, czy górne zbrojenie narożnikowe określane wg zaleceń normy [1] jest poprawnie związane z maksymalnym momentem przęsłowym, czy też powinno być uwarunkowane od momentu skręcającego występującego w narożu.

U podstaw przyjęcia jednego z dwóch skrajnych sposobów obliczania zbrojenia leży konieczność rozstrzygnięcia kwestii zasadniczej. Jeżeli bowiem jako podstawę wymiarowania zbrojenia w płytach przyjmie się założenie, że wzdłuż powstałych zarysowań może nastąpić przesunięcie, to zasadne jest stosowanie algorytmu wg Eurocode 2 lub szeregu innych algorytmów autorskich, bazujących w różny sposób na tym przyjęciu. Jeżeli z kolei założymy, że dyslokacja zarysowanych części płyty jest niemożliwa, a odpowiednie siły ścinające przenosi ściskana część jednostronnie zarysowanego przekroju, to w konsekwencji powinniśmy stosować klasyczne lub zbliżone podejście do wymiarowania zbrojenia w płytach, a zalecenia normy PN-84/B-03264 będą w pełni zasadne.

LITERATURA

- [1] PN-84/B-03264. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie. Wydawnictwa Normalizacyjne "ALFA", 1984.
- [2] ENV 1992-1-1:1991. Eurocode no.2: Design of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Building.

Recenzent: Prof. dr hab. Kazimierz Flaga

Wpłynęło do Redakcji 10.06.1995 r.

Abstract

The project of Eurocode 2 [2] leads to standardising sanction one of the computer algorithms to calculating the reinforcement in two-way reinforced plates. It's inclining to compare the results of calculations obtained by this algorithm with traditional solving approved by PN-84/B-03264 [1]. An analysis, which is the aim of this article showing, that introducing of algorithms by Eurocode 2 increasing reinforcement of this plates in comparison to traditional calculations. To remaining the con formability of computer results and results obtaining by calculations using tables, many of constructions' rules must be change. In presented article these changes proposed.

To solving is the essential question. Is it correct, how is now proposing, to acceptance as the basis of calculating reinforcement, the assumption that along existing cracking could following the displacement? Perhaps, it's the traditional assumption that arrangement of cracked parts of the plate, is possible and suitable shear forces are carrying by compression part of one-sided cracked cross-section.