

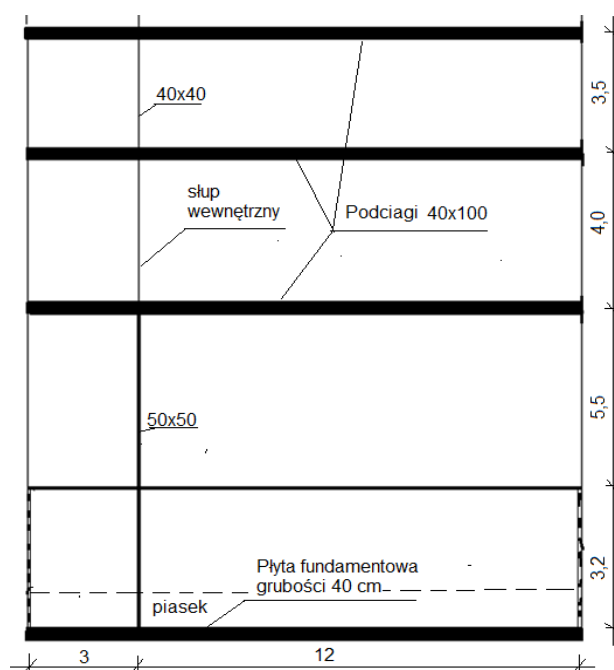
JAN LORKOWSKI

Wyższa Szkoła Zarządzania Środowiskiem w Tucholi

## WZMOCNIENIE NA PRZEBICIE OPARCIA SŁUPÓW NA PŁYCCIE FUNDAMENTOWEJ

### 1. OPIS OGÓLNY

Konstrukcję nośną czterokondygnacyjnego budynku dydaktycznego stanowią ramy żelbetowe w układzie przedstawionym na rysunku 1. Analizę oparcia słupów na płycie fundamentowej przeprowadzono w oparciu o obowiązującą normę i literaturę [1,2].

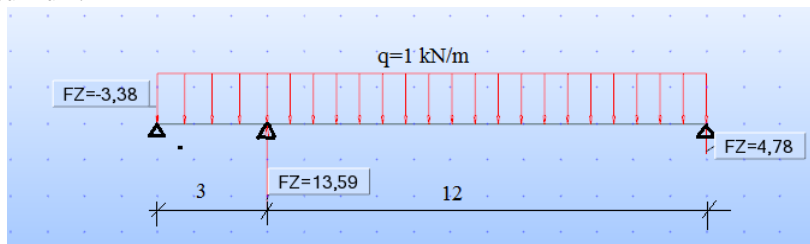


Rys. 1 Schemat ramy

Fig. 1. Frame diagram

## 2. OBCIĄŻENIA

Rozkład obciążeń na słup środkowy na 1. i 2. piętrze oraz ze stropodachu, gdzie obciążenia przekazują się poprzez dwuprzęsłowy rygiel żelbetowy przedstawia się jak na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład reakcji od podciągu, podpora środkowa rozważany słup

Fig. 2. Distribution of reactions from a downstand beam, middle support – considered column

Z całości obciążeń przekazywanych na rygiel z odcinku 15 m, na słup przekazuje się w sumie:

$$13,59 / (15 \cdot 1) = 0,906 \text{ przyjęto } 90\% \text{ obciążeń.}$$

Rozpatrzono cztery sytuacje obciążeń słupa:

- 1.1 Obecnie rzeczywiście działające obciążenie charakterystyczne oraz długotrwała część obciążeń zmiennych – 50% (bez żadnych współczynników obciążeń i bez śniegu):

$$P_1 = 3176 \text{ kN}$$

- 1.2 Obecnie rzeczywiście działające obciążenie charakterystyczne oraz długotrwała część obciążeń zmiennych – 50% (bez żadnych współczynników obciążeń i bez śniegu), ale przy zwiększonym osiadaniu słupa:

$$P'_1 = 2536 \text{ kN}$$

- 2.1 Od obciążeń obliczeniowych, na które płyta fundamentowa powinna zostać zaprojektowana na zginanie i przebicie:

$$P_2 = 4106 \text{ kN}$$

- 2.2 Od obciążeń obliczeniowych, na które płyta fundamentowa powinna zostać zaprojektowana na zginanie i przebicie, ale przy zwiększonym osiadaniu słupa

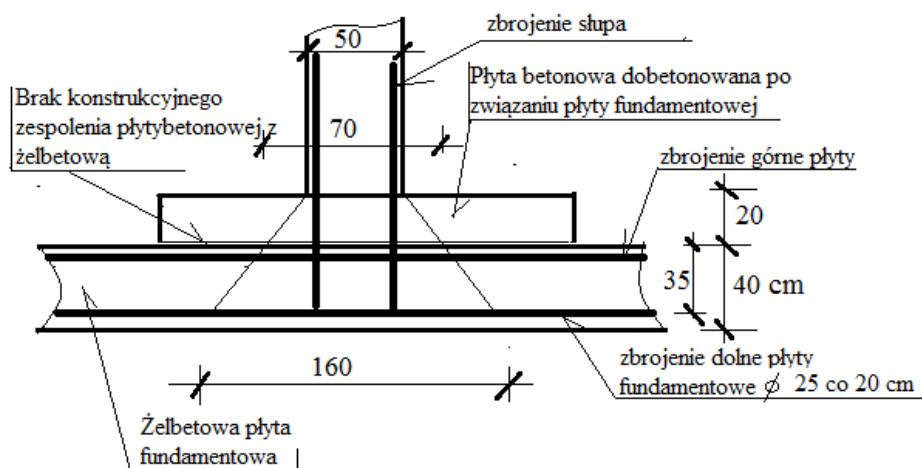
$$P'_2 = 3276 \text{ kN}$$

Jednak należy mieć świadomość, że zaistnienie sytuacji obciążeń 1.2 i 2.2 wprawdzie zmniejsza siłę na słup, ale jednocześnie jest związane z dużymi osiadaniami, co mogło już doprowadzić do zarysowań spodu płyty fundamentowej.

## 3. WARUNKI NOŚNOŚCI

Analizie poddano płytę fundamentową o grubości 40 cm. Na płycie oparte są trzy silnie obciążone słupy, na które przekazuje się siła obliczeniowa przekraczająca 4000

kN. Płyta musi spełniać warunki nośności na zginanie i przebicie pod obciążeniami obliczeniowymi oraz zarysowanie pod obciążeniami charakterystycznymi. Muszą być również spełnione warunki nośności podłoża. Schemat płyty fundamentowej w połączeniu ze słupem przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat płyty fundamentowej w połączeniu ze słupem

Fig. 3. Scheme of a foundation slab jointed with a column

### 3.2.1 NOŚNOŚĆ NA PRZEBICIE

Mimo że nadlewka na płycie jest wykonana nieprawidłowo i nie zwiększa nośności płyty na zginanie można w wersji optymistycznej uwzględnić jej wpływ na zwiększenie zastępczego obwodu krytycznego na przebicie. Dolne zbrojenie płyty wykonane jest z prętów  $\phi 25$  mm rozmieszczonych krzyżowo w rozstawie, co 25 cm. Beton płyty C16/20 (z pewnym nadmiarem), słupa C35/45, w przeliczeniu na wytrzymałość 28 - dniową. Stal AII.

Należy ocenić niekorzystnie tak znaczną różnicę między klasą betonu słupa i płyty. Różnica nie powinna przekraczać dwóch klas betonu. W tym przypadku są to cztery klasy.

Można przyjąć następujące dane do dalszych obliczeń:

$$f_{yd} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 0,87 \text{ MPa}$$

$$\text{Obwód krytyczny: } u = 160 \cdot 4 = 610 \text{ cm}$$

$$\text{Pole krytyczne: } A = 1,6 \cdot 1,6 = 2,56 \text{ m}^2$$

Średnia arytmetyczna obwodu liczonego tylko dla płyty o grubości 40 cm z uwzględnieniem nadlewki:  $u_p = (4 \cdot 90 + 4 \cdot 160) / 2 = 500 \text{ cm}$

$$d = 35 \text{ cm}$$

### 3.2.1.1. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI NA PRZEBICIE OD OBCIĄŻEŃ OBLICZENIOWYCH

Średni odpór podłoża w obrębie pola krytycznego od obciążenia  $N_{sd} = P_2 = 4106 \text{ kN}$  przyjęto jak dla płyty zarysowanej z pewnym nadmiarem  $q_f = 260 \text{ kPa}$   $q_f = 260 \text{ kPa}$ .

Warunek nośności na ścinanie dla płyty bez zbrojenia:

$$N_{sd} - q_f \cdot A < f_{ctd} \cdot u_p \cdot d$$
$$4106 - 260 \cdot 2,56 = 3440 > 0,087 \cdot 500 \cdot 35 = 1522 \text{ kN}$$

Zatem dalsze rozważania są bezprzedmiotowe. Płyta o grubości 40 cm czy nawet 60 cm nie spełni tego warunku.

Sprawdźmy, jakie warunki należy spełnić, gdyby element był zbrojony na przebicie.

W elementach zbrojonych na przebicie należy jednocześnie spełnić dwa warunki:

$$N_{sd} - q_f \cdot A < 1,4 \cdot f_{ctd} \cdot u_p \cdot d$$
$$N_{sd} - q_f \cdot A \leq \Sigma A_{sw} \cdot F_{ywd} \cdot \sin \alpha$$

gdzie:

$A_{sw}$  – zbrojenie poprzeczne na przebicie,

$A$  – nachylenie zbrojenia na przebicie.

$$4106 - 260 \cdot 2,56 = 3440 > 1,4 \cdot 0,087 \cdot 500 \cdot 35 = 2131 \text{ kN}$$

$$\Sigma A_{sw} = 3440/35 = 98 \text{ cm}^2$$

Również w tym przypadku nie jest możliwe spełnienie warunku nośności. Po pierwsze wynika to już z pierwszej zależności. Z drugiej zależności uzyskano przybliżoną powierzchnię potrzebnego zbrojenia poprzecznego na ścinanie, gdyby były to pręty pionowe.

Warunek w tej sytuacji byłby spełniony przy całkowitej grubości płyty w obrębie słupa ok. 55 cm i ilości zbrojenia na przebicie jak niżej:

$$4106 - 360 \cdot 2,56 = 3184 > 1,4 \cdot 0,087 \cdot 500 \cdot 55 = 2131 \text{ kN}$$

$$\Sigma A_{sw} = 3440/55 = 63 \text{ cm}^2$$

Przyjmując  $N_{sd} = P_2' = 3276 \text{ kN}$

$$3276 - 360 \cdot 2,56 = 2354 > 0,087 \cdot 500 \cdot 35 = 1522 \text{ kN}$$

Warunek nadal nie jest spełniony.

W tym przypadku dla najbardziej obciążonych słupów najlepszym rozwiązaniem było zastosowanie istniejących rozwiązań systemowych, np. w postaci listew Halfena.

### 3.2.1.2. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI NA PRZEBICIE OD OBCIĄŻEŃ CHARAKTERYSTYCZNYCH

Skoro warunki są tak niekorzystne, powstaje pytanie, dlaczego nadal słup nie przebił płyty. Należy sprawdzić, jak przedstawia się sytuacja przy obciążeniach charakterystycznych, czyli bez uwzględnienia współczynnika obciążeń i śniegu. Można

przyjąć, że są to obciążenia rzeczywiście działające. W tym przypadku  $N_{sd} = P_1 = 3176 \text{ kN}$ , przyjęto  $q_f = 200 \text{ kPa}$ .

Warunek nośności dla płyty bez zbrojenia na ścinanie:

$$N_{sd} - q_f \cdot A \leq f_{ctd} \cdot u_p \cdot d$$
$$3176 - 200 \cdot 2,56 = 2664 > 0,087 \cdot 500 \cdot 35 = 1522 \text{ kN}$$

Również i w tym przypadku dalsze rozważania są bezprzedmiotowe, płyta o grubości 40 cm nie spełni tego warunku. Jednak różnica jest dużo mniejsza.

Przyjmując  $N_{sd} = P_1' = 2536 \text{ kN}$

$$2536 - 200 \cdot 2,56 = 2024 > 0,087 \cdot 500 \cdot 35 = 1522$$

Warunek nadal nie jest spełniony. W tym przypadku różnica jest jeszcze mniejsza niż przedstawiona wyżej. Gdyby uwzględnić jeszcze pewne rezerwy wytrzymałościowe stali i betonu, można by przyjąć, że w tej sytuacji warunek jest spełniony. Wyjaśnia to, dlaczego nie doszło do poważniejszej awarii. Zatem warunek można uznać za prawie spełniony, gdy pominie się wszystkie współczynniki bezpieczeństwa i dopuści do pewnych nieodwracalnych zachowań konstrukcji. Jednak takie podejście jest niedopuszczalne. Płyta musi przenieść obciążenia obliczeniowe z zachowaniem wymaganych współczynników bezpieczeństwa zarówno w stosunku do obciążeń, jak i cech materiałowych.

#### 4. NOŚNOŚĆ NA ZGINANIE

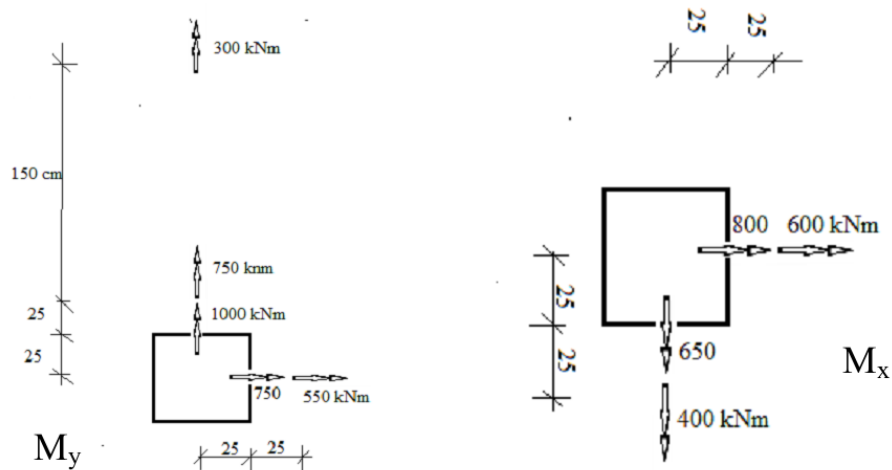
##### 4.1. DLA STANU ISTNIEJĄCEGO – PŁYTA GRUBOŚCI 40 CM

W tym przypadku nie można uwzględniać nadlewki o grubości 20 cm z uwagi na brak wystarczającej wytrzymałości na ścianie w płaszczyźnie zespolenia płyt. Obliczono nośność płyty przy zastosowanym zbrojeniu.

$$\xi_{eff} = A_s \cdot d / (b \cdot d \cdot \alpha \cdot f_{cd}) = 24,5 \cdot 35 / (100 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 1,06) = 0,27, \quad \zeta = 0,865$$
$$M_{Rd} = \zeta \cdot d \cdot A_s \cdot f_{yd} = 0,865 \cdot 35 \cdot 24,5 \cdot 35 = 260 \text{ kNm}$$

Przyjmując przekrój podwójnie zbrojony, górną  $8 \text{ cm}^2/\text{m}$  zbrojenia, otrzymano  $M_{Rd} = 270 \text{ kNm}$ . Uzyskane wartości nośności  $M_{Rd}$  są w obrębie słupa znacznie mniejsze od momentów obliczeniowych przedstawionych na rysunku 4.

Zatem i w tym przypadku sytuacja jest niedopuszczalna. W tej sytuacji można przyjąć, że stan zarysowania jest znacznie przekroczony. Można się spodziewać rys rzędu 0,6 mm. Jest to niedopuszczalne przy fundamentach, tym bardziej że mamy tu do czynienia ze znacznym zawilgoceniem gruntów – przynajmniej okresowym. Może to spowodować przyspieszoną korozję, trwałość konstrukcji jest znacznie ograniczona. Korzystnym faktem może być stwierdzone wysokie pH betonu i gruba otulina dolnych prętów.



Rys. 4. Orientacyjne wartości momentów zginających w płycie w obrębie najbardziej obciążonego słupa

Fig. 4. Approximate values of bending moments in a slab in the area of the column with the highest load

#### 4.2. DLA STANU PROJEKTOWANEGO PŁYTA GRUBOŚCI 60 CM

Nośność płyty przy zastosowanym zbrojeniu wyniesie:

$$\xi_{\text{eff}} = A_s \cdot d / (b \cdot d \cdot \alpha \cdot f_{cd}) = 24,5 \cdot 55 / (100 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 1,06) = 0,424, \quad \zeta = 0,79$$

$$M_{Rd} = \zeta \cdot d \cdot A_s \cdot f_{yd} = 0,79 \cdot 55 \cdot 24,5 \cdot 35 = 373 \text{ kNm} \gg 700 \text{ kNm}$$

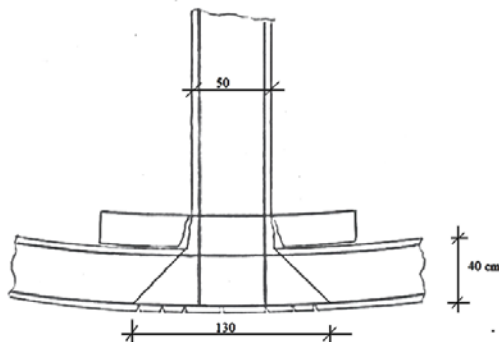
Przyjmując przekrój podwójnie zbrojony, górą 8 cm<sup>2</sup>/m zbrojenia otrzymamy:

$$M_{Rd} = 440 \text{ kNm}$$

W tym przypadku wartości momentów będą nieco niższe od przedstawionych na rysunku 3 (o ok. 100 kNm). Jednak nadal uzyskane nośności  $M_{Rd}$  będą niższe od momentów obliczeniowych panujących w płycie w sąsiedztwie słupa.

#### 4.3. WARUNKI NOŚNOŚCI – WERSJA PESYMISTYCZNA

Jest to wersja pesymistyczna, jednak dla wykonanej płyty najbardziej realna. Trzeba przyjąć, że powinna to być w tym przypadku wersja obliczeniowa. Należy zauważyć, że prędzej czy później nawet od obciążeń charakterystycznych, a tym bardziej obliczeniowych płyta zachowa się tak jak przedstawiono to na rysunku 5. Z uwagi na brak konstrukcyjnego połączenia betonowej nadlewki z żelbetową płytą nastąpi zrywanie, a następnie ścięcie w płaszczyźnie styku i betonowa nadlewka w obrębie krawędzi słupa prędzej czy później pęknie. Wówczas znacznie zmniejszy się obwód i płaszczyzna krytyczna, którą należy uwzględnić przy obliczaniu nośności na przebicie. Nie bez znaczenia jest tu mała sztywność płyty fundamentowej i jej mała nośność na zginanie. Zmianie nie ulegnie nośność na zginanie  $M_{Rd}$ , i będzie ona nadal taka, jak obliczono to w punkcie 4.1. Istotnie spadnie natomiast nośność na przebicie.



Rys. 5. Prawdopodobne zachowanie się płyty fundamentowej w obrębie słupa

Fig. 5. A possible reaction of a foundation slab in the area of the column

Obwód krytyczny:  $u = 130 \cdot 4 = 520 \text{ cm}$

Pole krytyczne:  $A = 1,3 \cdot 1,3 = 1,69 \text{ m}^2$

Średnia arytmetyczna obwodu:  $u_p = (4 \cdot 60 + 4 \cdot 130)/2 = 380 \text{ cm}$

$d = 35 \text{ cm}$

Średni odpór podłoża w obrębie pola krytycznego od obciążenia  
 $N_{sd} = P_2 = 4106 \text{ kN}$ .

Z uwagi na silne zarysowanie przyjęto  $q_f = 400 \text{ kPa}$ , co należy uznać za wartość zawyżoną i korzystną dla nośności na przebicie. Warunek nośności dla płyty bez zbrojenia na ścinanie przy obciążeniach obliczeniowych:

$$N_{sd} - q_f \cdot A \leq f_{ctd} \cdot u_p \cdot d$$

$$4106 - 400 \cdot 1,69 = 3430 \text{ kN} > 0,087 \cdot 380 \cdot 35 = 1157 \text{ kN}$$

Otrzymano niedoszacowanie ok. 210%.

Dla stanu  $N_{sd} = P'_2 = 3276 \text{ kN}$

$$3276 - 400 \cdot 1,69 = 2600 \text{ kN} > 0,087 \cdot 380 \cdot 35 = 1157 \text{ kN}$$

Warunek nadal nie jest spełniony.

## 5. WNIOSKI

Podstawową przyczyną zaistniałej sytuacji jest błędnie zaprojektowana płyta fundamentowa. Nawet gdyby została wykonana zgodnie z projektem, zarówno warunki nośności na zginanie, jak i przebicie nie byłyby spełnione. Sytuację mogła poprawić prawidłowo wykonana nadlewka w obrębie słupów, gdyby:

- została wykonana z silniejszego betonu,
- została silnie zbrojona na zginanie i przebicie,
- została powiązana pionowymi trzpieniami z płytą fundamentową,
- miała większą grubość.

Na etapie projektowania popełniono kardynalne błędy, których wykonawca nie skorygował, natomiast projektant swoim wpisem w dzienniku budowy o poprawności wykonania zbrojenia płyty fundamentowej w tym go utwierdził.

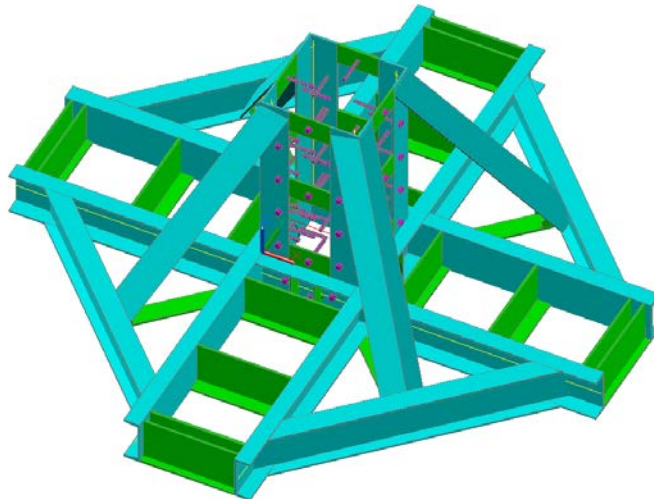
W obecnym stanie, po przeanalizowaniu wielu możliwych sytuacji obciążeń, pod wszystkimi silnie obciążonymi słupami nie są spełnione warunki nośności. Jest to sytuacja bardzo poważna i stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa konstrukcji. Zachodzi niebezpieczeństwo „tąpnięcia” najsilniej obciążonych słupów. Konieczne jest wzmocnienie tzn. wykonanie rozwiązań zabezpieczających płyty przed przebicciem.

## 6. WZMOCNIENIE NA PRZEBICIE

W analizowany przypadku występują dwa rodzaje słupów:

- silnie obciążone (4000 kN) – gdzie konieczne jest rozłożenie obciążenia od słupów na większą powierzchnię
- słupy mniej obciążone (ok. 2000 kN) – gdzie wzmocnienie na przebicie można wykonać poprzez powiązanie nadlewki z płytą fundamentową.

Słupy silnie obciążone usytuowane są w części piwnicznej nieprzeznaczonej na cele użytkowe. Zatem 80 cm warstwa gruntu spoczywająca na płycie fundamentowej jest przykryta jedynie styropianem i posadzką betonową. Odkrycie słupów nie wiązało się tu z dewastacją posadzek i pomieszczeń. W tym przypadku odkryto słupy i płytę w obrębie słupów i wykonano sztywny ruszt i obejmy (przedstawione na rysunku 6), przekazując obciążenia na większą powierzchnię. Obejmy mocowano na pasowane na docisk do otworów kotwy Hilti. Po zamocowaniu wszystkich kotew ruszt podklinowano i wstępnie naprężono, a następnie wykonano ekspansywne polewki. Następnie konstrukcję obetonowano. Realizację wzmocnienia przedstawia rysunek 7.



Rys. 6 Wzmocnienie oparcia słupów silnie obciążonych

Fig. 6. Strengthening of the highly loaded supporting columns

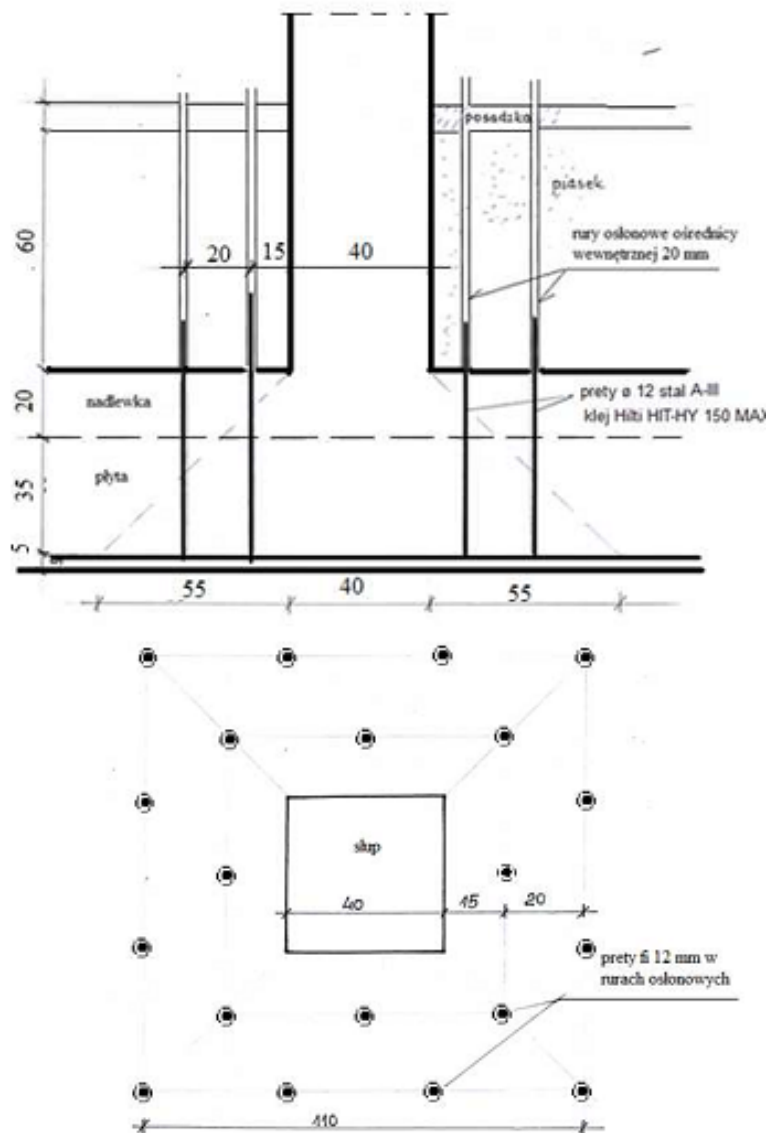




Rys. 7 Realizacja wzmocnienia słupów silnie obciążonych

Fig. 7. Completion of strengthening of the highly loaded supporting columns

Słupy mniej obciążone o wymiarach 50x50 cm znajdują się w obrębie piwnic zagospodarowanych z wykończonymi posadzkami i ściankami działowymi. Znajdują się tam laboratoria i inne pomieszczenia użytkowe. Wzmacnianie oparcia słupów w sposób opisany wyżej wymagałoby dewastacji posadek i pomieszczeń. Poza tym obciążenia są tu znacznie mniejsze i przy zapewnieniu współpracy płyt fundamentowej i nadlewki oraz umieszczeniu zbrojenia na ścinanie jest możliwe zapewnienie nośności zespolonej płyty na przebiecie. W tym przypadku zaproponowano rozwiązanie przedstawione na rysunku 8.



Rys. 8 Wzmocnienie w obrębie oparcia słupów słabo obciążonych  
 Fig. 8. Strengthening in the area of the weakly loaded supporting columns

## LITERATURA

- [1] Łapko A., 2001. Projektowanie konstrukcji żelbetowych. Warszawa Arkady.
- [2] PN-B-032-64 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone.

## STRENGTHENING OF A PUNCTURE IN THE SUPPORTING COLUMNS PLACED ON A FOUNDATION SLAB

### Summary

The article presents an example of a completion of a reinforced concrete construction – joining of highly loaded columns with a foundation slab. The joint has been designed and made without providing capacity to puncture. A few construction solutions, which provided adequate capacity to puncture, have also been shown.