

Podsumowanie

Montaż konstrukcji dachu z drewna klejonego warstwowo części basenowej Zespołu Hotelowo-Basenowego w Istebnej przysporzył wykonawcy obiektu wiele trudności. Ograniczenia wynikające z uwarunkowań terenowych, problemy dotyczące składowania materiałów drewnianych na placu i wewnątrz obiektu wpłynęły na dobór technologii montażu. Prowadzenie robót żelbetowych, murowych i związanych z budową dachu części hotelowej jednocześnie z montażem dachu części basenowej wydłużyło w niewielkim stopniu czas montażu.

Literatura

[1] Neuhaus W.: Budownictwo drewniane. Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów 2008.
[2] Kotwica J.: Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym. Arkady, Warszawa 2007.

[3] Mielczarek Z.: Nowoczesne konstrukcje w budownictwie ogólnym. Arkady, Warszawa 2005.

[4] Mielczarek Z., Śliwka K.: O rozwiązaniach drewnianych rusztów belkowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 5/2011, s. 253 – 255.

[5] Jasieńko J., Nowak T., Ostrycharczyk A.: Hybrydowa kopuła z drewna klejonego i stali – studium konstrukcji. Wiadomości Konserwatorskie, nr 30/2011, s. 81 – 93.

[6] Przepiórka J., Żurowski P.: Konstrukcyjne drewno klejone – nowoczesny materiał budowlany. Inżynier Budownictwa, nr 10/2008, s. 60 – 64.

[7] Sulik P., Policińska-Serwa A.: Diagnostyka konstrukcji drewnianych podstawą właściwego ich wzmocnienia. Materiały Budowlane 02/2011, s. 32 – 33, 47.

[8] Policińska-Serwa A., Kotwica E.: Konstrukcje dachowe z drewna litego i klejonego. Materiały Budowlane, nr 6/2011, s. 4 – 7.

[9] Martinek W., Nowak P., Woyciechowski P.: Technologia robót budowlanych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2010.

[10] Kotwica E., Gil Z., Orłowicz R.: Konstrukcje z drewna klejonego – analiza przyczyn awarii i katastrof. Inżynier Budownictwa, nr 5/2011, s. 76 – 80.

[11] Nowak T., Raszczyk K., Jasieńko J.: Analiza wad projektowych i wykonawczych konstrukcji hali sportowej z drewna klejonego warstwowo. Przegląd Budowlany, nr 10/2013, s. 23 – 27.

[12] Jaworski K. M.: Podstawy organizacji budowy. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004

[13] Radziszewska-Zielina E.: Metody badań marketingowych w budownictwie. KNOW-HOW, Kraków 2006.

[14] PN-EN 1995-1-1: 2010: Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-1: Zasady ogólne i zasady dla budynków.

[15] PN-EN 1194: 2000: Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo. Klasy wytrzymałości i określenie wartości charakterystycznych.

Otrzymano 15.04.2014 r.

mgr inż. Krzysztof Nepelski¹⁾

Wyznaczanie krytycznego obwodu kontrolnego w obliczeniach przebicia stopy fundamentowej wg EC2

Determination of critical perimeter in calculation of punching shear strength of reinforced concrete footing according EC2

DOI: 10.15199/33.2015.03.18

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę obliczeń nośności na przebicie żelbetowej stopy fundamentowej wg normy Eurokod 2 (EC2). Omówiono sposób wyznaczania krytycznego obwodu kontrolnego. Przedstawiono analizę wykorzystania nośności na przebicie w zależności od położenia obwodu kontrolnego. W analizie przeprowadzono obliczenia 1230 potencjalnych powierzchni przebicia.

Słowa kluczowe: przebicie, obwód kontrolny, stopa fundamentowa.

Abstract. The paper presents method of calculation of punching shear strength of reinforced concrete footing according to Eurocode 2 (EC2). The article presents how to determine the critical perimeter. There is the analysis of the punching shear strength depending on the location critical perimeter. The analysis was carried out calculations for the 1230 potential surface damage.

Keywords: punching shear, critical perimeter, spread footing.

Procedura projektowania fundamentów bezpośrednich zawarta jest w normie Eurokod 7 [1]. Z wyróżnionych tam pięciu stanów granicznych nośności, które należy rozważyć (GEO, STR, EQU, UPL, HYD), stan STR odnosi się do nośności konstrukcji, a jego spraw-

zenia dokonuje się zgodnie z Eurokodem 2 [2]. Obliczenia polegają na doborze zbrojenia z warunku na zginanie oraz sprawdzeniu nośności na przebicie, która uzależniona jest przede wszystkim od wysokości elementu (w uzasadnionych przypadkach wprowadza się odpowiednio ukształtowane zbrojenie na przebicie). W obliczeniach przyjmuje się określoną powierzchnię zniszczenia, a następnie wyznacza

maksymalne naprężenia i wytrzymałość w założonym przekroju kontrolnym.

W artykule opisano procedurę sprawdzania nośności na przebicie stóp fundamentowych wg wytycznych Eurokodu 2 [2] oraz przedstawiono wyniki analizy obliczeniowej przeprowadzonej na przykładowych fundamentach. W analizie szczególną uwagę zwrócono na wyznaczenie lokalizacji krytycznego obwodu kontrolnego.

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury; e-mail: k.nepelski@pollub.pl

Procedura sprawdzania nośności na przebicie wg Eurokodu 2

Zgodnie z wymaganiami Eurokodu [2] nośność na przebicie stopy fundamentowej przez słup określona jest warunkiem:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

gdzie:

V_{Ed} – naprężenia styczne w rozważanym przekroju kontrolnym;

$V_{Rd,max}$ – maksymalna wytrzymałość na ścinanie wzdłuż rozważanego przekroju kontrolnego.

Nośność stóp fundamentowych na przebicie należy sprawdzać na obwodach kontrolnych „u” leżących w granicach $2d$ od krawędzi słupa (d – wysokość użyteczna przekroju). Tak więc sprawdzenie warunku nośności powinno się odbywać w przypadku przekrojów ukośnych nachylonych pod kątem nie mniejszym niż $26,6^\circ$. Stosowana dotychczas w Polsce norma [3] przewidywała dokonanie sprawdzenia w przypadku przekrojów poprowadzonych pod kątem nie mniejszym niż 45° , przy założeniu minimalnego stopnia zbrojenia 0,5%.

W przypadku stopy fundamentowej błędne jest przyjmowanie założenia na etapie projektowania, że najbardziej niekorzystny jest przekrój oddalony o $2d$ od krawędzi słupa. Jest o tym wyraźnie wspomniane w normie [2] w punktach 6.4.2 (2) *Jeżeli siły skupionej przeciwstawiają się duży, rozłożony równomiernie nacisk (np. nacisk gruntu na podstawę fundamentu), albo efekty reakcji lub obciążenia wewnątrz obszaru ograniczonego obwodem oddalonym o $2d$ od pola obciążenia, to należy wziąć pod uwagę obwód kontrolny leżący w odległości mniejszej niż $2d$ od tego pola. oraz 6.4.4 (2) Nośność fundamentów słupów na przebicie (przez ścinanie) należy sprawdzać na obwodach kontrolnych leżących w granicach $2d$ od skraju słupa.* Niestety zauważono, że w niektórych programach obliczeniowych przyjmuje się ten obwód jako najniekorzystniejszy, co wiąże się z zawyżeniem nośności na przebicie.

Naprężenia styczne v_{Ed} wyznacza się ze wzoru:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud} \left(1 + k \frac{M_{Ed}u}{V_{Ed,red}W} \right)$$

na podstawie siły netto

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

gdzie:

V_{Ed} – przyłożona siła ścinająca;

ΔV_{Ed} – siła netto skierowana ku górze, działająca w granicach rozważanego obwodu kontrolnego.

Pozostałe oznaczenia:

$k = 1 + (200 \text{ mm}/d)^{1/2}$ – współczynnik skali;
 M_{Ed} – moment wyznaczony względem środka ciężkości podstawy fundamentu;
 W – odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych (jest funkcją podstawowego obwodu kontrolnego).

Nośność na ścinanie określa się jako większą z wartości:

$$V_{Rd,1} = C_{Rd,c} k (100 \rho_L f_{ck})^{1/3} 2d/a,$$

$$V_{Rd,2} = 0,035 k^{3/2} f^{1/2}_{ck} 2d/a$$

gdzie:

$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$

$k = 1 + \sqrt{200 \text{ mm}/d}$ – współczynnik skali;

ρ_L – średni stopień zbrojenia stopy na obydwu kierunkach;

f_{ck} – wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie;

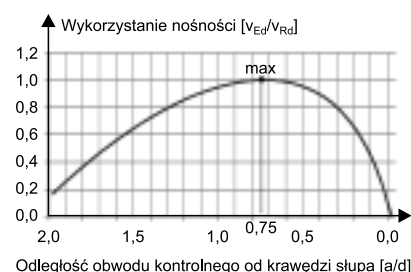
a – odległość rozważanego obwodu kontrolnego od krawędzi słupa.

Analiza położenia krytycznego obwodu kontrolnego

W celu wyznaczenia najniekorzystniejszego obwodu kontrolnego przeprowadzono obliczenia nośności na przebicie przykładowych stóp fundamentowych. Do obliczeń przyjęto następujące stopy: 200 x 200 cm (słup 25 x 25 cm), 200 x 200 cm (słup 40 x 40 cm), 300 x 300 cm (słup 40 x 40 cm), 300 x 300 cm (słup 60 x 60 cm), 400 x 400 cm (słup 60 x 60 cm). W przypadku każdego z wymienionych fundamentów przeprowadzono obliczenia dla odporu gruntu 200, 300, 400, 500, 600, 700 kPa. Wysokość stóp wyznaczano jako minimalną ze względu na przebicie, przy założeniu minimalnego zbrojenia oszacowanego z warunku na zginanie. W celu wyznaczenia granicznych wymiarów stopy, do obliczeń przyjęto stopniowanie wysokości co 1 cm. Obliczono naprężenia styczne w przekroju każdego z rozważanych fundamentów oraz wytrzymałość na ścinanie dla obwodów kontrolnych leżących od krawędzi słupa do odległości $2d$, stosując skok co 0,05d. W rezultacie otrzymano wyniki nośności na przebicie 41 przekrojów kontrolnych. Łącznie sprawdzono 1230 potencjalnych powierzchni przebicia.

Wyniki obliczeń

Rysunek 1 przedstawia zależność wykorzystania nośności przekroju na przebicie od odległości obwodu kontrolnego od krawędzi słupa w przypadku jednego z analizowanych fundamentów (stopa 300 x 300 x 73 cm – słup 40 x 40 cm). Jak widać, maksy-

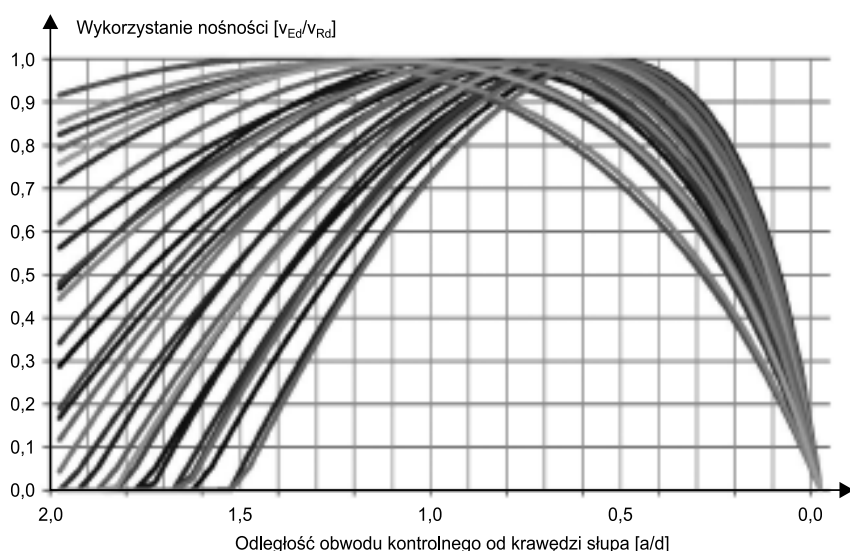


Rys. 1. Wykorzystanie nośności na przebicie na obszarach kontrolnych wokół słupa

Fig. 1. Use of punching shear bearing capacity in control areas around the column

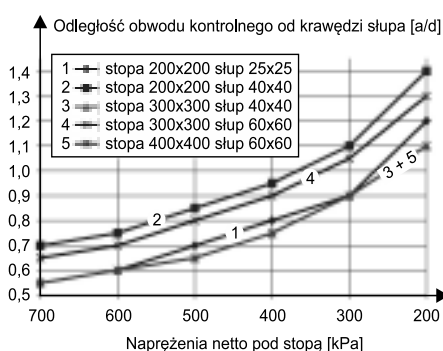
malne wykorzystanie nośności występuje w odległości $0,75d$, nie zaś na obwodzie w odległości $2d$ od krawędzi słupa. Podobne rezultaty otrzymano z obliczeń pozostałych stóp fundamentowych. Wykresy w każdym przypadku mają kształt paraboliczny, osiągając wartość maksymalną w odległości od $0,55d$ do $1,4d$. W żadnym z analizowanych przypadków nie stwierdzono maksymalnego wykorzystania nośności w najdalej położonym obwodzie.

Zestawienie obliczeń wszystkich analizowanych fundamentów w formie krzywych „wykorzystanie nośności – odległość od krawędzi słupa” przedstawiono na rysunku 2, z którego wynika, że przekrój najbardziej narażony na przebicie znajduje się w odległości bliższej niż $2d$. W zależności od warunków pracy fundamentu, dla analizowanych przypadków odległość ta wynosi od $0,55d$ do $1,4d$ od krawędzi słupa, co dodatkowo pokazano na rysunku 3. Rysunek 4 przedstawia wykorzystanie nośności dla obwodu kontrolnego położonego w odległości „d” od krawędzi słupa, przy minimalnej wysokości dobranej ze względu na przebicie. Obwód ten odpowiada przyjmowanemu w normie [3], gdzie zakładało się rozchodzenie naprężeń pod kątem 45° . Jak widać, nie jest to najniekorzystniejszy obwód. W przypadku typowych stóp fundamen-



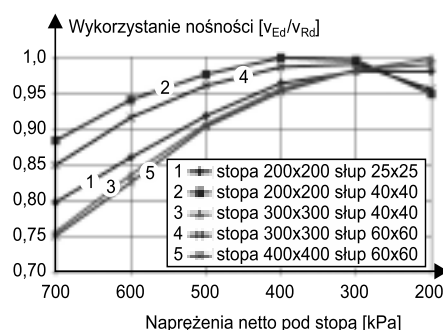
Rys. 2. Wykorzystanie nośności na przebiecie w zależności od odległości od krawędzi słupa dla wszystkich rozpatrywanych przypadków obliczeniowych

Fig. 2. Use of punching shear bearing capacity depending on distance from the column edge for each case of considered



Rys. 3. Odległość najniekorzystniejszego obwodu kontrolnego od krawędzi słupa dla wszystkich rozpatrywanych przypadków obliczeniowych

Fig. 3. The distance the most unfavorable control perimeter from the column edge for each case of considered



Rys. 4. Wykorzystanie nośności na obwodzie kontrolnym położonym w odległości „d” od krawędzi słupa

Fig. 4. Use of bearing capacity on the control perimeter located within the distance „d” from the column edge

wych jest on niewiele oddalony od najbardziej wyęźżonego. Można zauważyć, że dla stóp obciążonych reakcją gruntu do 500 kPa, wykorzystanie nośności dla tego obwodu kontrolnego jest nie mniejsze niż 90%. Na podstawie przedstawionych danych można dojść do wniosku, że **przyjęcie na etapie projektowania obwodu kontrolnego w odległości „d” od krawędzi słupa, z założeniem maksymalnego wykorzystania nośności 90%, gwarantuje spełnienie warunku nośności dla wszystkich pozostałych obwodów.**

Wnioski

Przyjmowanie na etapie projektowania stopy fundamentowej założenia, że przekrój najbardziej niekorzystny jest oddalony o 2d od krawędzi słupa, jest błędne. Przekrój w odległości 2d jest decydujący jedynie w przypadku płyt stropowych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że największe wykorzystanie nośności występuje w przekrojach oddalonych o 0,55d – 1,4d od krawędzi słupa, czyli nachylenych pod kątem 35 – 61°. Zauważono też, że mniejszy kąt występuje w przypadku stóp obciążonych niewielkim odporem gruntu (w analizie 200 kPa), natomiast zwiększenie kąta nachylenia przekroju krytycznego występowało podczas zwiększania odporu gruntu. Maksymalny kąt 61°

osiągnięty został dla odporu 700 kPa. Z otrzymanych wyników wyznaczono średni kąt, przy którym otrzymano maksymalne wykorzystanie nośności i wynosi on 50°, co odpowiada obwodowi kontrolnemu oddalonemu o 0,83d od krawędzi słupa.

Do prawidłowego zaprojektowania fundamentu, ze względu na przebiecie zgodnie z Eurokodem [2], niezbędne jest wykorzystanie w obliczeniach programów lub arkuszy kalkulacyjnych umożliwiających oszacowanie i porównanie wyników nośności wielu potencjalnych powierzchni przebiecia. Zgodnie z przedstawionymi analizami stwierdzono, że dla stóp o wymiarach boku do 4 m, przenoszących obciążenie z konstrukcji na grunt do 500 kPa, przyjęcie powierzchni przebiecia pod dotychczas stosowanym kątem 45° daje rezultaty bezpieczne z założeniem 10% niedoszacowania.

Mówiąc prościej, **projektowanie typowych stóp z założeniem wykorzystania nośności na przebiecie w 90% dla obwodu kontrolnego oddalonego o odległość „d” od krawędzi słupa, nie spowoduje przebiecia wzdłuż żadnego innego przekroju.**

W przypadku projektowania stopy większej, bądź obciążonej znacznym odporem gruntu, należy przeprowadzić szczegółową analizę nośności na przebiecie. Ponadto zauważono, że zwiększając podczas obliczeń wysokość stopy o 1 cm, wykorzystanie nośności może się zmniejszyć o kilka procent. Przy ogólnie przyjętym, ze względu na wykonawstwo, stopniowaniu fundamentów co 10 cm, często trudno osiągnąć wykorzystanie nośności 80 – 100%. W związku z tym, biorąc pod uwagę niepewność związaną z przyjęciem odpowiedniej odległości obwodu kontrolnego oraz wykonawcze warunki doboru wysokości, **wykorzystanie nośności na przebiecie w przedziale 50 – 90%** można uznać za racjonalne.

Literatura

- [1] PN-EN 1997-1 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [2] PN-EN 1992-1-1:2008/NA: 2010 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [3] PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Obliczenia statyczne i projektowanie.

Otrzymano 25.11.2014 r.