

mgr inż. Damian Wieczorek<sup>1)</sup>  
dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina<sup>1)\*</sup>

# Problemy projektowe i organizacyjne na przykładzie konstrukcji dachu z drewna klejonego warstwowo

DOI: 10.15199/33.2015.03.17

Celem artykułu jest przedstawienie problemów projektowych na etapie opracowywania projektów wykonawczych, które (w uzasadnionych przypadkach) mogą prowadzić do zmiany założeń projektowych, ponownego modelowania konstrukcji oraz problemów organizacyjnych (związanych z przygotowaniem placu budowy oraz przeprowadzeniem prac poprzedzających montaż konstrukcji dachu części basenowej z drewna klejonego warstwowo) jako czynników bezpośrednio wpływających na dobór technologii montażu konstrukcji.

Można wskazać przykłady, że w skutek nieprzemyślanych decyzji projektowych, inwestor (zamawiający) musi ponieść dodatkowe koszty, gdyż np. elementy drewniane są przewymiarowane. Im większa jest objętość drewna konstrukcyjnego, tym wyższa cena wyprodukowania konstrukcji i montażu. Natomiast trudności organizacyjne mogą narażać wykonawcę konstrukcji z drewna klejonego (GL) na dodatkowe koszty, które trudno jest przewidzieć i uwzględnić w ofercie cenowej. Niewiele jest opracowań na temat problemów projektowych i organizacyjnych pokazanych na przykładach z praktyki inżynierskiej [8, 10, 11].

## Projektowanie konstrukcji z drewna klejonego warstwowo

W praktyce inżynierskiej zdarza się, że zamawiający, prosząc o przygotowanie oferty cenowej na wykonanie konstrukcji z drewna klejonego warstwowo, przedstawia dokumentację techniczną, która jest wystarczająca jedynie do uzyskania pozwolenia na budowę. Często projekt budowlany, a przede wszystkim

projekt wykonawczy konstrukcji z drewna klejonego zawierają niewystarczające dane, niezbędne do wyprodukowania elementów drewnianych oraz montażu prefabrykowanej konstrukcji. Najczęściej występujące uchybienia to:

- przyjęcie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych klas materiałowych niemożliwych do osiągnięcia przez producentów (np. najdroższa i najmniej osiągalna jest klasa GL36) lub takich, których Eurokod 5 obecnie nie klasyfikuje (GL30, GL40) [8, 10];

- niewłaściwe przyjęcie rodzaju materiału w odniesieniu do jego przeznaczenia, np. elementy z drewna sosnowego lub świerkowego poddane wpływom warunków atmosferycznych z upływem czasu niszczeją i tracą walory estetyczne mimo zabezpieczenia lakierami ochronnymi;

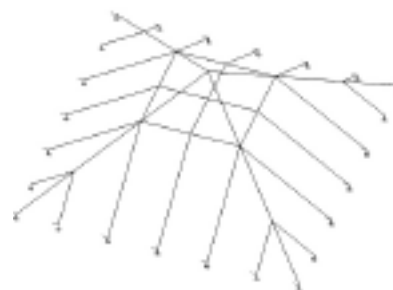
- przyjęcie do obliczeń niestandardowych wymiarów przekrojowych (np. szerokość elementów 240 – 300 mm) i/lub geometrii elementów, których wymiary przekraczają skrajnie drogową ( $\leq 3,5$  m), [10];

- niedostateczna liczba szczegółów rozwiązań połączeń elementów drewnianych zarówno pomiędzy sobą, jak i z elementami stalowymi, żelbetowymi itp. [8, 10].

Sekcja projektowa wykonawcy konstrukcji dachu z drewna klejonego przeznaczonych na część basenową Zespołu Hotelowo-Basenowego w Istebnej poprosiła biuro architektoniczne odpowiedzialne za projekt konstrukcji o przygotowanie nowej dokumentacji warsztatowej. Prośbę argumentowano tym, że projektant dobrał niestandardową szerokość elementów (200, 240 mm). Zaproponowano, aby przeprojektować przekroje na takie, których szerokość nieprzekraczająca 180 mm umożliwi wykonawcy zastosowanie obróbki cyfrowej CNC

w procesie prefabrykacji elementów. Drugi argument odwoływał się do możliwości zastosowania standardowych środków transportowych (ciągniki siodłowe z naczepą do 16,0 m) do przewiezienia elementów z hali produkcyjnej na budowę. Pierwotnie, najdłuższe dźwigary narożne zaprojektowano jako elementy ciągle długości ok. 25,0 m. Wykonawca zaproponował, aby dźwigar narożny podzielono na dwie belki, które można byłoby połączyć ze sobą przegubowo na wysokości belek obwodowych. W efekcie element narożny składał się z dźwigara i krokwi narożnej o długości odpowiednio ok. 16,3 m oraz 8,6 m. Dodatkową zaletą tych zmian była możliwość zróżnicowania przekrojów dźwigarów, które zwymiarowano jako belki szerokości 200 mm i wysokości 1400 mm. Po zaakceptowaniu zmian przez biura architektoniczne i konstrukcyjne, projektant z ramienia wykonawcy zamodelował konstrukcję jako układ elementów geometrycznych, współpracujących ze sobą przestrzennie, z założeniem podziału dźwigarów narożnych na dwie belki połączone przegubowo (rysunek 1).

Po przeprowadzonych obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych otrzymano nowe przekroje poszczególnych elementów z GL. Proces projektowy, dzięki któremu zmniejszono wymiary prze-



Rys. 1. Układ statyczny modelowanej konstrukcji (opracowanie własne)

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
e-mail: eradzisz@izwbibit.pk.edu.pl

krój, wpłynął korzystnie na ostateczną wartość cenową zamówienia. W tabeli 1 porównano parametry fizyczne przekrojów oraz zapotrzebowanie na drewno w przypadku obu warianów.

występuje gwałtowny uskok terenu (po obu jego stronach). Uniemożliwia on wjazd dźwigów i sprzętu pomocniczego do wnętrza obiektu. Zdarza się, że podwaliny są skuwane lub specjalnie spro-

wadzone dźwig, który przekładał podnośniki koszowe i zwykłe nożycowe ponad ścianami. Takie sytuacje generują dodatkowy koszt pracy sprzętu oraz spory na linii zamawiający – wykonawca montażu;

5) w przypadku montażów konstrukcji z GL zdarza się, że generalni wykonawcy obiektów prowadzą jednocześnie roboty murowe, żelbetowe i związane z izolacjami ścian przyziemia. Czasem brygady murarzy ustawiają rusztowania ramowe po stronie wewnętrznej wznoszonych ścian, przez co ekipa montażowa przygotowująca elementy do wbudowania nie ma możliwości ich odstawiania pod ściany zewnętrzne. Wówczas wydłuża się czas montażu średnio o 50 – 60% oraz wzrastają koszty pracy dźwigów. W tabeli 2 scharakteryzowano problemy występujące podczas realizacji inwestycji i przedstawiono propozycje ich ograniczenia.

Tabela 1. Porównanie parametrów fizycznych przekrojów (opracowanie własne)

Element	Projekt wykonawcy (pierwotny)		Projekt warsztatowy (wykonawcy konstrukcji)	
	Przekrój [mm]	Klasa drewna	Przekrój [mm]	Klasa drewna
Dźwigary powtarzalne D1, D2	200 x 1400	GL32C	140 x 1000	GL28C
Krokwie narożne DN1, DN2	brak	GL32C	120 x 600	GL24H
Dźwigary narożne D3	240 x 1400	GL32C	140 x 1200	GL32C
Dźwigary powtarzalne D4	200 x 1400	GL32C	120 x 600	GL24H
Belki obwodowe B1, B2, B3, B4	200 x 1400	GL32C	140 x 1000	GL24H
Tężniki poziome	brak	GL32C	120 x 160	GL24H
Płatwie	120 x 300	GL32C	120 x 320	GL24H
Przybliżona łączna objętość drewna konstrukcyjnego [m <sup>3</sup> ]	119,00 m <sup>3</sup>		81,80 m <sup>3</sup>	
Relacja cen jednostkowych drewna klejonego [zł/m <sup>3</sup> ] w zależności od klas: C <sub>j</sub> <sup>GL24H</sup> < C <sub>j</sub> <sup>GL28C</sup> < C <sub>j</sub> <sup>GL32C</sup>				

### Montaż konstrukcji z drewna klejonego

Podstawowe problemy organizacyjne, towarzyszące procesom montażowym konstrukcji obiektów z drewna klejonego:

1) projektanci zadają elementom nośnym geometrię o wymiarach nadgabarytowych (w szczególności wysokość i długość), co powoduje problemy podczas ich prefabrykacji oraz transportowania w miejsce wbudowania;

2) na placach budowy projektowane są sieci dróg transportu wewnętrznego oraz place składowe na materiały budowlane, których się nie utwardza. W przypadku opadów atmosferycznych ekipy oraz sprzęt montażowy muszą pracować w utrudnionych warunkach, co wydłuża czas montażu;

3) posadzki betonowe we wnętrzu wznoszonych obiektów wykonywane są z betonów klas niższych niż założono w projektach. W rzeczywistości służą one jako tymczasowe place do scalania elementów (np. dźwigary kratowe). Problematyczne staje się więc obciążanie posadzek materiałem drewnianym oraz sprzętem niezbędnym do przygotowania i przeprowadzenia montażu;

4) w ścianach szczytowych hal projektowane są bramy wjazdowe o wysokości użytkowej nieprzekraczającej 4,0 m. Generalni wykonawcy, prowadząc roboty, wykonują „na gotowo” żelbetowe belki podwalinowe i nadprożowe. Problem pojawia się w momencie, gdy przy progu

wadzone dźwig, który przekładał podnośniki koszowe i zwykłe nożycowe ponad ścianami. Takie sytuacje generują dodatkowy koszt pracy sprzętu oraz spory na linii zamawiający – wykonawca montażu;

W przypadku montażu konstrukcji dachu części basenowej w Istebnej na podzielenie placu budowy na strefę bezpośrednią prowadzenia robót budowlanych oraz plac składowania materiałów budowlanych z zapleczem socjalno-technicznym, który zlokalizowano na wolnej działce po przeciwnej stronie rzeki Olzy, miały wpływ:

#### W przypadku montażu konstrukcji dachu części basenowej w Istebnej

na podzielenie placu budowy na strefę bezpośrednią prowadzenia robót budowlanych oraz plac składowania materiałów budowlanych z zapleczem socjalno-technicznym, który zlokalizowano na wolnej działce po przeciwnej stronie rzeki Olzy, miały wpływ:

- ograniczona ilość miejsca wokół planowanej powierzchni zabudowy;
- uwarunkowania terenowe.

Problematyczne okazało się ustalenie drogi dojazdowej do placu budowy

i wydzielenie strefy na zaplecze socjalno-techniczne oraz do składowania materiałów budowlanych. Po stronie północnej budynku głównego ośrodka wyznaczono i utwardzono drogę dojazdową do placu budowy. Transport materiałów budowlanych z placu składowego na teren budowy rozwiązano za pomocą żurawia wieżowego. Dojście z części socjalno-technicznej zrealizowano za pomocą drewnianej kładki łączącej oba brzozy Olzy, którą wykonano na czas realizacji budowy. Transport wewnętrzny zaprojektowano w układzie pierścieniowym sieci dróg w strefie robót. Jedynym mankamentem było odroczenie w czasie decyzji o utwardzeniu terenu wokół budowy.

Prowadzenie robót budowlanych oraz montażowych w przypadku części basenowej z wykorzystaniem dźwigów samojezdnych możliwe było jedynie od strony zachodniej, tj. strefy obiektów czynnych. Rozładunek dostarczonych elementów konstrukcji dachu części basenowej w bezpośrednim otoczeniu wznoszonego obiektu lub wewnątrz budowanego obiektu były niemożliwe. Składowanie elementów nośnych wewnątrz niecki wykluczono z następujących powodów:

■ wykonawca elementów żelbetowych wykonał wewnątrz niecki basenowej elementy ozdobne (studnie, rampy, podejścia, wyspy itd.), przez co powierzchnia niecki została ograniczona;

■ nadmierne obciążanie dna niecki mogłoby doprowadzić do zarysowania płyty dennej, co spowodowałoby jej rozszczelnienie.

Elementów konstrukcyjnych nie można było rozładować na składowisku materiałów budowlanych. Problem tkwił w rozwiązaniu sposobu ewentualnego przeniesienia dźwigarów i płatwi nad część basenową. Wykonawca montażu konstrukcji dachu części basenowej, w cenie zapisanej w umowie z zamawiającym zawarł koszty pracy dźwigów samojezdnych, ale nie przewidział, że rzeka Olza wymuszać będzie zastosowanie dźwigów o zwiększonym wysięgu, co w efekcie podwyższyłoby koszty pracy sprzętu. Wykluczono również możliwość użycia żurawia wieżowego, gdyż generalni wykonawca miał przygotowany harmonogram pracy żurawia na potrzeby własne. Jednocześnie z montażem konstrukcji z GL realizowano roboty żelbetowe, murowe i związane z bu-

**Tabela 2. Charakterystyka problemów projektowych, organizacyjnych oraz propozycja ich ograniczenia (opracowanie własne)**

Charakterystyka problemu	Wskazówki pozwalające na ograniczenie lub eliminację problemu
<b>PROBLEMY PROJEKTOWE</b>	
Założenie do obliczeń klas materiałowych niemożliwych lub rzadko osiągalnych w produkcji (np. GL36 wg EC5) lub klas wg nieaktualnych oznaczeń (GL30, GL40 nieklasyfikowane wg EC5)	dobór klas materiałowych powszechnie dostępnych na rynku (GL24, GL28, GL32)
Niewłaściwe przyjęcie rodzaju materiału w odniesieniu do jego umiejscowienia w konstrukcji (np. zastosowanie drewna sosnowego lub świerkowego na elementy ozdobne wbudowane na zewnątrz konstrukcji)	zastosowanie drewna egzotycznego z daglezji w przypadku elementów poddanych oddziaływaniom atmosferycznym
Przyjęcie do obliczeń szerokości przekrojów powyżej 240 mm, wysokości przekraczającej 3,5 m i/lub długości elementów przekraczającej 16,5 m, które warunkują możliwości transportowe	przyjmowanie do obliczeń szerokości przekrojów do 240 mm (z uwagi na możliwości produkcyjne i późniejszą obróbkę elementów), a w przypadku doboru geometrii dźwigarów, luków, kratownic itp. podział na mniejsze sekcje np. przez wprowadzenie dodatkowych styków montażowych
<b>PROBLEMY ORGANIZACYJNE</b>	
Nieutwardzanie dróg dojazdowych i technologicznych oraz placów składowych na materiały budowlane w obrębie placu budowy	utwardzanie ogranicza znacznie zagrożenia związane z ewentualnym wydłużeniem czasu pracy sprzętu i brygad montażowych wskutek utrudnień, związanych z koniecznością prowadzenia prac podczas opadów atmosferycznych. Utwardzenie terenu wpływa również na stopień utrzymania czystości obrabianych i montowanych elementów konstrukcyjnych
Wykonywanie posadzek betonowych w obiektach z betonów niższych klas wytrzymałościowych, niż przewidziano w projekcie	wykonywanie posadzek w sposób zgodny z projektem. Posadzki służą wielokrotnie jako składowiska materiałów drewnianych, tymczasowe place robocze, w których następuje scalanie elementów w całość i/lub miejsca lokowania sprzętu niezbędnego do prowadzenia procesów montażowych
Wykonywanie otworów w ścianach szczytowych hal (przed przystąpieniem do montażu konstrukcji z GL) „na gotowo”, tj. z wykonaniem belek podwalinowych, które uniemożliwiają lub utrudniają wjazd dźwigów i sprzętu pomocniczego do wnętrza obiektu	przewodzenie robót murowych i żelbetowych do wysokości dolnej krawędzi nadproża nad otworem wjazdowym. Organizacja przerwy technologicznej na czas montażu konstrukcji z drewna. Dokończenie robót po zakończeniu montażu
Prowadzenie równoległe do montażu robót murowych, żelbetowych, izolacji przyziemia lub termoizolacji ścian osłonowych	organizowanie przerw technologicznych na czas montażu drewnianej konstrukcji lub określenie w harmonogramach wykonania robót montażowych jako czynności warunkujących możliwość prowadzenia dalszego frontu robót, dopiero po zakończeniu montażu

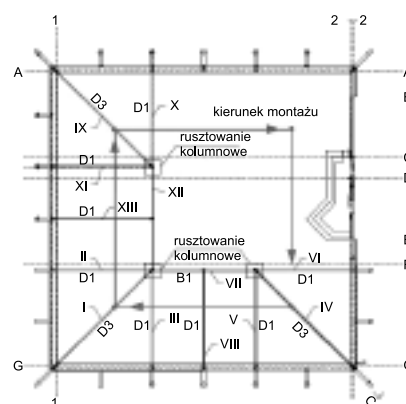
dową dachu części hotelowej. Tym samym współzależność ekip montażowej i budowlanych doprowadziłaby do wydłużenia czasu montażu konstrukcji dachu części basenowej i prac realizowanych na części hotelowej przez GW. Dodatkowo okazało się, że nośność żurawia przy maksymalnym wysięgu nie byłaby wystarczająca do przeniesienia najbardziej masywnych dźwigarów.

Po porozumieniu stron zdecydowano się na złożenie elementów w strefie „wolnego placu” pomiędzy częścią czynną ośrodka a częścią nowo powstającą. Wybór nie był do końca trafny, gdyż nieutwardzony teren po każdorazowych opadach atmosferycznych stawał się grząski. Jako alternatywne rozwiązanie autorzy sugerują utwardzenie „wolnego placu” oraz przeznaczenie antresoli części basenowej na potrzeby prowadzenia prac montażowych.

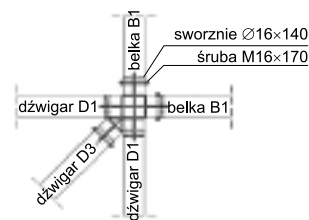
Uwarunkowania terenowe oraz ograniczona ilość miejsca na placu budowy wymusiły opracowanie technologii montażu z użyciem tylko jednego dźwigu samojazdnego, podającego dźwigar narożny D3 na podpory tymczasowe, tj. rusztowania kolumnowe, których zadaniem było oparcie i stabilizacja dźwigarów narożnych D3, do momentu zamknięcia ich po obwodzie elementami belkowymi B1 – B4, zapewniającymi sztywność konstrukcji.

Montaż rozpoczęto od strony stoku, czyli od osi konstrukcyjnej G części basenowej (rysunek 2). Uzbrojony w okucia podporowe oraz węzłowe, dźwigar narożny D3 położono na rusztowaniu kolumnowym. Miejsce tymczasowego oparcia dźwigara D3 na kolumnie zabezpieczono przekładką z drewna miękkiego. Zgodnie z wytycznymi montażu dołożono dźwigary D1 (elementy I – III),

które nacięto na całej wysokości, aby podczas montażu możliwe było ich wsuwanie od góry, w odpowiednie skrzydełko okucia F8 (rysunek 3). W następnym etapie postawiono i oparto na drugiej kolumnie kolejne dźwigary D3 i D1 (elementy IV – VI). Tę część konstrukcji spięto belką obwodową B1 i brakującym w polu przy osi G dźwigarem D1 (elementy VII, VIII). Zgodnie z opisanym schematem zmontowano sekcje 3 i 4 elementów przy pozostałych dwóch dźwigarach narożnych D3. Sztywność konstrukcji nośnej uzyskano przez założenie belek obwodowych B1 i pozostałych dźwigarów D1, D2 i D4. Po wbudowaniu płatwi w tę część dachu przeprowadzono ostatni etap prac montażowych (górną część dachu). Do krokwi narożnych DN1, DN2 podpięto płatwie i założono układ łożników poziomych w płaszczyźnie belek obwodowych. Widok gotowej konstrukcji dachu przedstawiono na fotografii.



**Rys. 2. Schemat montażu (opracowanie własne)**



**Rys. 3. Schemat połączenia elementów za pomocą okucia F8 (opracowanie własne)**



**Widok konstrukcji dachu po montażu**  
[archiwum własne]

## 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 Nepelski<sup>1)</sup>

# 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-

dzienia 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.

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