

OCENA BEZPIECZEŃSTWA PŁYTOWEGO STROPU ŻELBETOWEGO

LIDIA BUDA-OŻÓG, *e-mail: lida@prz.edu.pl*

SZCZEPAN WOLIŃSKI

JOANNA KUJDA

Politechnika Rzeszowska

Katedra Konstrukcji Budowlanych

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę stanu technicznego żelbetowych stropów w budynku szpitala, zmodyfikowanych w czasie realizacji, pod kątem przekroczenia nośności na przebicie i zginanie oraz ugięcie. Do wyznaczenia sił wewnętrznych wykorzystano program Autodesk Robot Structural Analysis, w którym zbudowano model 3D przedmiotowego budynku oraz program komputerowy do nieliniowej analizy konstrukcji żelbetowych – ATENA, w którym szczegółowo zamodelowano efekty związane z przebicciem i zginaniem płyty stropowej, oraz weryfikacją ugięć stropu. W celu oceny bezpieczeństwa konstrukcji stropów rozważanego budynku, zastosowano metodę wartości obliczeniowych, dopuszczoną w normie PN-EN-1990, jako alternatywną do podstawowej metody częściowych współczynników oraz tradycyjną miarę bezpieczeństwa tzn. globalny współczynnik bezpieczeństwa. Takie podejście pozwoliło na ujawnienie zapasu bezpieczeństwa związanego z uproszczeniami przyjętymi w analizie metodą częściowych współczynników. Przedstawiono sposób wzmocnienia fragmentów stropów, gdzie nie zostały spełnione wymagania dotyczące marginesu bezpieczeństwa w stanach granicznych nośności płyty na zginanie i przebicie oraz użyteczności.

Słowa kluczowe: żelbet, strop słupowo-płytowy, przebicie, zginanie, ugięcie, wskaźnik niezawodności

1. Charakterystyka konstrukcji

Przedmiotem oceny pod kątem ugięć i nośności był strop żelbetowy w jednym z budynków szpitala zlokalizowanego na Podkarpaciu. Przedmiotowy obiekt wykonany był w latach 2004–2005 roku. Pierwotna dokumentacja konstrukcyjna zakładała układ konstrukcyjny szkieletowo-ryglowy, monolityczny o trójtraktowym $3 \times 7,20$ m układzie poprzecznym, stanowiącym oparcie dla płyt żelbetowych grubości 20 cm.

Z uwagi na liczne instalacje związane z funkcją obiektu, na etapie budowy dokonano zmian w konstrukcji. Stropy międzykondygnacyjne w budynku wykonano, jako słupowo-płytowe z dodatkowymi belkami o wymiarach 40×50 cm w polach środkowych. W części przy klatce schodowej i szybie windy, układ belek jest mieszany. Schemat konstrukcyjny analizowanego stropu przedstawiono na rysunku 1.

W całym budynku wykonano płytę stropową grubości 20 cm z betonu o wartości średniej wytrzymałości na ściskanie $f_{cm} = 35,7$ MPa. Zastosowano stal zbrojeniową zgodnie z dokumentacją projektową tj. BSt500 o $f_{yk} = 500$ MPa, otulenie zbrojenia pomierzone w wykonanych odkrywkach, wynosi 2 cm.

Zbrojenie dolne płyty w zależności od przewidywanego obciążenia wykonano z prętów średnicy 10, 12 i 16 mm, zbrojenie górne nad słupami wykonano z prętów o średnicy 16 mm i 20 mm. Zewnętrzne krawędzie płyty stropowej zwieńczono belkami obwodowymi o przekroju 26×40 cm. Słupy o przekroju 40×40 cm, zbrojono prętami $\phi 25$ mm. W stropach występują liczne otwory technologiczne o znacznie zróżnicowanych wymiarach, często umiejscowione w strefie

Prowadzony w latach 2012–2014 pomiar ugięcia nie wykazał niepokojącego ich wzrostu, pomierzona zmiana ugięcia stropu wahał się od 0 do +/- 1,19 mm.

Na początku 2016 roku w kondygnacji parteru przedmiotowego budynku, podjęto prace związane ze zmianą funkcji pomieszczeń. Wyburzono znaczną część ścian działowych i usunięto stropy podwieszane. Przeprowadzona wówczas inwentaryzacja geodezyjna ugięć stropu nad parterem, wykazała znaczne przekroczenie wartości dopuszczalnych. Pomierzone ugięcie w niektórych punktach wynosiło ponad 7 cm.

3. Obliczenia sprawdzające

3.1. Założenia przyjęte do analizy obliczeniowej stropów

Do analizy konstrukcji wykorzystano program Autodesk Robot Structural Analysis, w którym zbudowano model 3D przedmiotowego budynku oraz program komputerowy do nieliniowej analizy konstrukcji żelbetowych – ATENA, w którym szczegółowo zamodelowano efekty związane z przebiegiem płyty stropowej oraz weryfikacją ugięć stropu.

Wartości obciążeń stałych przyjęto na podstawie odkrywek warstw stropu i zestawiono w tabeli 1. Obciążenie ścianami działowymi przyjęto, jako liniowe w miejscu ich występowania. W przeprowadzonych analizach przyjęto obciążenia stałe, jako zmienne losowe o współczynniku zmienności 5%.

Tabela 1: Zestawienie obciążeń stałych na podstawie wykonanych odkrywek

Lp.	Rodzaj obciążenia	Jednostka	Wartość Średnia	Wartość Charakterystyczna
1	Ciężar wł. płyty gr 20 cm	kN/m ²	4,63	5,00
2	Wylewka 5 cm	kN/m ²	0,97	1,05
3	Naddatek wylewki w środku stropu do 4 cm	kN/m ²	0,78	0,84
4	Ścianki działowe	kN/m	1,57	1,70
5	Ściany osłonowe $h = 3,0$ m	kN/m	7,67	8,28
	Ściany osłonowe $h = 3,75$ m	kN/m	9,58	10,35
	Ściany osłonowe $h = 4,0$ m	kN/m	10,22	11,04
6	Instalacje podwieszone	kN/m ²	0,20	0,20
Razem pozycje 1 do 3 i 6			6,58	7,09

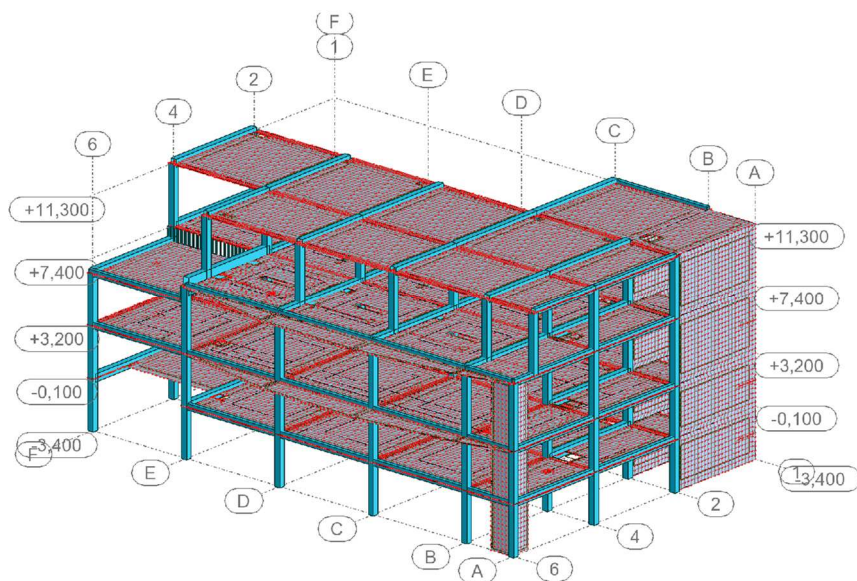
Wartości obciążeń zmiennych w poszczególnych pomieszczeniach budynku przyjęto zgodnie z ich funkcją i wytycznymi Zleceńodawcy opinii. W przeprowadzonych analizach obciążenia zmienne potraktowano, jako zmienne losowe o współczynniku zmienności 20%.

Średnicę i rozstaw zbrojenia w analizowanych płytach stropowych przyjęto na podstawie dokumentacji projektowej i odkrywek zbrojenia. Wytrzymałość stali zbrojeniowej przyjęto, jako zmienną losową o wartości średniej $f_{ym} = 565$ MPa i współczynniku zmienności, 7% co odpowiada wytrzymałości charakterystycznej dla stali BSt500 $f_{yk} = 500$ MPa.

Na podstawie wyników badań wytrzymałości betonu sporządzonych dla próbek pobieranych podczas betonowania stropów w marcu 2005 r, oszacowano średnią wytrzymałość betonu w stropach $f_{cm} = 35,7$ MPa i odchylenie standardowe $\sigma = 4,2$ MPa, co odpowiada współczynnikowi zmienności $v = 11,8\%$.

3.2. Analiza w programie ARSA 2016

Wartości sił wewnętrznych w stanie sprężystym otrzymano na podstawie analizy numerycznej przeprowadzonej w programie Autodesk Robot Structural Analysis 2016. W symulacjach uwzględniono dylatacje w osiach F i 6 wykonując przestrzenny model numeryczny dla trzech wyodrębnionych segmentów budynku. Zastosowano typ konstrukcji powłokowy o czterowzłowych, czworokątnych elementach skończonych. W miejscu ekstremalnych sił wewnętrznych siatkę zagęszczono, a w obrębie słupów zastosowano dodatkowe pogrubienia panelu płyty stropowej. Model numeryczny segmentu 1 przedstawiono na rysunku 2.



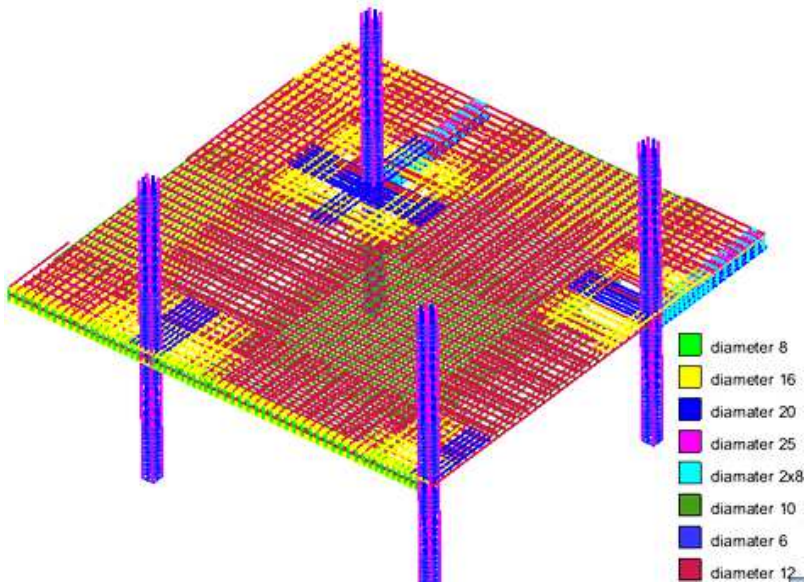
Rys. 2 Model numeryczny segmentu 1 w programie ARSA 2016

W przeprowadzonej analizie numerycznej uwzględniono wszystkie otwory przewidziane w dokumentacji projektowej, zmienną wartość obciążenia stałego wynikającą ze zmiennej grubości wylewki betonowej, dokładne rozmieszczenie ścianek działowych i osłonowych. Wszystkie obliczenia przeprowadzono dla wartości średnich efektów oddziaływań i średnich wartości parametrów materiałów.

3.3. Analiza w programie ATENA

Analizę numeryczną stropów z uwzględnieniem wszystkich elementów konstrukcji oraz występujących otworów wykonano za pomocą pakietu programów GID+ATENA STATIC. Do modelowania betonu użyto wbudowany w programie model materiałowy betonu o właściwościach przyjętych na podstawie wyników badań z 2005 r. Model ten uwzględnia zachowanie się betonu w konstrukcjach zbrojonych ze szczególnym uwzględnieniem obniżenia wytrzymałości na ściskanie przy zarysowaniu i usztywniającym wpływie betonu w strefie rozciąganej po zarysowaniu [1].

Zbrojenie zamodelowano wykorzystując model materiałowy „reinforcement”, zapewniający połączenie między betonem i zbrojeniem. Zbrojenie poszczególnych elementów konstrukcyjnych zdefiniowano, jako elementy liniowe i nadano im cechy materiałowe oraz odpowiednią średnicę. Model zbrojenia fragmentu stropu przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Model zbrojenia fragmentu stropu w programie GID+ATENA STATIC

Analiza numeryczna poprzedzona była oceną wrażliwości wymiarów siatki elementów skończonych. Istotnym etapem modelowania było wygenerowanie odpowiednio zbieżnej siatki MES dla poszczególnych brył odwzorowujących płytę, belki, słupy. Do modelu przypisano obciążenie powierzchniowe oraz liniowe zgodnie z przyjętymi założeniami. Obciążenie ściankami odwzorowano modelując dodatkowe elementy z materiału elastycznego przenoszącego ich ciężar na konstrukcję. Symulacja w programie ATENA odbywała się z uwzględnieniem odpowiednich parametrów iteracji, które dobrano w taki sposób, aby zapewnić jej zbieżność.

4. Ocena nośność i ugięcia stropów stropu

4.1 Nośność na przebicie

Ze względu na brak zbrojenia na przebicie w analizowanym stropie powinien być spełniony warunek nośności [2]:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd} \quad (1)$$

gdzie:

v_{Rdc} – nośność obliczeniowa na ścinanie w płycie bez dodatkowego zbrojenia – zgodnie ze wzorem (6.2), a) PN-EN-1992-1-1 [2],

v_{Ed} – maksymalne naprężenia styczne obliczeniowe na obwodzie kontrolnym w odległości $2d$ od lica słupa – zgodnie ze wzorem (6.38) PN-EN-1992-1-1 [2].

Obliczenia przeprowadzono w dwóch wariantach: dla obciążeń stałych oraz dla kombinacji wszystkich możliwych obciążeń stałych i zmiennych.

Do porównania obliczeniowych wartości efektów oddziaływań i nośności wykorzystano metody poziomu II [3] podane PN-EN-1990- Załącznik C [4]. Docelową wartość współczynnika niezawodności dla okresu użytkowania 50 lat i klasy niezawodności konstrukcji RC2 przyjęto $\beta = 3,8$ zgodnie z Tablicą B2, PN-EN-1990 [4]. W obliczeniach uwzględniono współczynniki wrażliwości FORM, dla nośności $\alpha_R = 0,8$ oraz efektów oddziaływań $\alpha_E = -0,7$.

Dla średnich wartości efektów oddziaływań – v_E i nośności – v_R , wartości obliczeniowe wyznaczono z zależności (2) i (3):

– v_{Ed} – naprężenia styczne na obwodzie kontrolnym dla obliczeniowych wartości efektów oddziaływań z zależności (2):

$$v_{Ed} = v_E \cdot (1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot v_q) \quad (2)$$

gdzie:

v_q – współczynnik zmienności obciążenia, odpowiednio: dla obciążeń stałych $v_q = 5\%$, dla obciążeń zmiennych $v_q = 20\%$,

v_{Rd} – obliczeniowa nośność na ścinanie w płycie, bez dodatkowego zbrojenia wyrażona zależnością (3):

$$v_{Rd} = v_R \cdot (1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot v_c) \quad (3)$$

gdzie:

v_c – współczynnik zmienności betonu.

Alternatywnie, dla otrzymanych wartości średnich wyznaczono globalny współczynnik bezpieczeństwa zdefiniowany, jako stosunek nośność na ścinanie dla średnich właściwości materiałów do naprężenia stycznego na obwodzie kontrolnym wyznaczonego dla średnich wartości efektów oddziaływań, wyrażony wzorem (4):

$$\gamma = \frac{v_{Rd}}{v_{Ed}} \quad (4)$$

Przykładowe wyniki analiz dla fragmentu segmentu 1 i stropu w poziomie +3,2 m, zestawiono w tabeli 2. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości niespełniające warunku (1) – nośności na przebicie.

Tabela 2: Nośność płyty na przebicie, naprężenia styczne na obwodzie kontrolnym dla średnich wartości obciążeń i parametrów materiałów w płycie, wartości obliczeniowe nośności i oddziaływań według PN-EN-1990 oraz globalny współczynnik bezpieczeństwa

Element	Wartości średnie					Wartości obliczeniowe		Wsp. bezpieczeństwa γ
	efekty oddziaływań				nośność	oddział.	nośność	
	M_{Ex} [kNm]	M_{Ey} [kNm]	V_E [kN]	v_E [MPa]	v_R [MPa]	v_{Ed} [MPa]	v_{Rd} [MPa]	
2-C	64,40	92,10	237,00	0,97	1,29	1,17	0,83	1,33
2-D	79,80	83,80	263,00	0,88	1,29	1,06	0,83	1,47
2-E	80,74	99,50	237,00	1,05	1,29	1,26	0,83	1,23
2-F	67,20	66,80	228,00	1,06	1,25	1,26	0,80	1,18
4-B	69,30	58,80	154,50	0,60	1,29	0,74	0,83	2,15
4-C	94,80	85,70	187,00	0,72	1,29	0,89	0,83	1,79
4-D	88,90	82,70	192,00	0,71	1,29	0,88	0,83	1,82
4-E	100,00	89,07	198,00	0,76	1,29	0,93	0,83	1,70
4-F	68,20	57,80	187,00	0,78	1,25	0,94	0,80	1,60
1-C	50,30	51,30	145,00	0,63	1,25	0,76	0,80	1,98
1-D	51,00	51,00	161,00	0,67	1,25	0,80	0,80	1,87
1-E	53,70	53,20	168,00	0,70	1,25	0,83	0,80	1,79
1-F	45,80	36,60	171,50	0,69	1,25	0,82	0,80	1,81

4.2. Nośność na zginanie

Nośność przekroju zginanego obliczono korzystając z metody uproszczonej (prostokątny rozkład naprężeń w betonie ściskany) wyznaczono z zależności:

$$M_R = A_s \cdot f_y \cdot d - 0,5 \cdot \frac{A_s^2 \cdot f_y^2}{b \cdot f_c} = M_{RA} - M_{RB} \quad (6)$$

gdzie: A_s – powierzchnia przekroju zbrojenia, f_y – wytrzymałość stali zbrojeniowej, d – wysokość użyteczna przekroju, f_c – wytrzymałość betonu.

Wartość obliczeniową nośności i efektów oddziaływań wyznaczono analogicznie jak w pkt. 4.1, przyjmując zgodnie z PN-EN-1990, że nośność obliczeniowa jest kwantylem rzędu 0,00118 zmiennej losowej M_{Rd} :

$$M_{Rd} = M_{RdA} - M_{RdB} \quad (7)$$

$$M_{RdA} = M_{RA} \cdot (1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot v_s) \quad (8)$$

gdzie:

v_s – współczynnik zmienności stali $v_s = 7\%$

$$M_{RdB} = M_{RB} \cdot (1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot v_B) \quad (9)$$

v_B – współczynnik zmienności B z zależności: $v_B = \sqrt{v_s^2 + v_c^2}$

v_c – współczynnik zmienności betonu $v_c = 11,8\%$

Obliczeniowa wartość efektu oddziaływań w analizowanym przekroju jest kwantylem rzędu 0,00391 zmiennej losowej M_{Ed} :

$$M_{Ed} = M_E \cdot (1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot v_q) \quad (10)$$

gdzie:

v_q – współczynnik zmienności obciążenia, analogicznie jak w pkt. 4.1.

M_E – moment zginający otrzymany dla wartości średnich obciążeń, na podstawie modelu MES

Alternatywnie dla otrzymanych wartości średnich wyznaczono współczynnik bezpieczeństwa zdefiniowany, jako stosunek nośność przekroju na zginanie do efektów oddziaływań.

$$\gamma = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \quad (11)$$

Wynik analiz dla wybranego fragmentu segmentu 1 i stropu w poziomie +3,2 m, zestawiono w tabeli 3. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości niespełniające warunku (5) – nośności na zginanie.

Wyniki symulacji numerycznych przeprowadzone w programie ATENA dla fragmentu stropu przedstawiono na rysunku 8, gdzie porównano stan istniejący i po zaproponowanym wzmocnieniu. Na rysunku, widoczne są rysy od zginania wokół słupa o szerokości ponad 0,4 mm oraz promieniowe o szerokości 0,3–0,2 mm. Maksymalne naprężenia ścinające od średnich wartości oddziaływań wynoszą od 0,79 do 1,0 MPa (wyniki są zgodne z obliczeniami uzyskanymi z programu ARSA i zestawionymi w tabelach 2 i 3). Z uwagi na użytkowanie budynku nie było możliwość porównania otrzymanego z symulacji numerycznych obrazu zarysowania ze stanem istniejącym.

Tabela 3: Nośność płyty na zginanie, moment zginający dla średnich wartości obciążeń i parametrów materiałów, wartości obliczeniowe nośności i oddziaływań wg PN-EN-1990 oraz globalny współczynnik bezpieczeństwa

Element	Średnie efekty oddziaływań		Nośność dla wartości średnich		Obliczeniowe efekty oddziaływań		Nośność obliczeniowa		Wsp. bezpieczeństwa	
	M_{Ex} [kNm]	M_{Ey} [kNm]	M_{Rx} [kNm]	M_{Ry} [kNm]	M_{Edx} [kNm]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdx} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	γ_{Mx}	γ_{My}
2-C	64,40	92,10	118,39	220,26	79,21	113,28	94,83	182,37	1,84	2,39
2-D	79,80	83,80	118,39	220,26	98,15	103,07	94,83	182,37	1,48	2,63
2-E	80,74	99,50	118,39	220,26	99,31	122,39	94,83	182,37	1,47	2,21
2-F	67,20	66,80	118,39	183,26	82,66	82,16	94,83	150,01	1,76	2,74
4-B	69,30	58,80	118,39	220,26	85,24	72,32	94,83	182,37	1,71	3,75
4-C	94,80	85,70	118,39	220,26	116,60	105,41	94,83	182,37	1,25	2,57
4-D	88,90	82,70	118,39	220,26	109,35	101,72	94,83	182,37	1,33	2,66
4-E	100,00	89,07	118,39	220,26	123,00	109,56	94,83	182,37	1,18	2,47
4-F	68,20	57,80	118,39	220,26	83,89	71,09	94,83	150,01	1,74	3,81
1-C	50,30	51,30	118,39	183,26	61,87	63,10	94,83	150,01	2,35	3,57
1-D	51,00	51,00	118,39	183,26	62,73	62,73	94,83	150,01	2,32	3,59
1-E	53,70	53,20	118,39	183,26	66,05	65,44	94,83	150,01	2,20	3,44
1-F	45,80	36,60	118,39	183,26	56,33	45,02	94,83	150,01	2,58	5,01

4.3. Ugięcie stropu

Wartości ugięcia płyty stropowej w analizowanych segmentach wyznaczono na podstawie obliczeń MES. Przyjmując średnie wartości efektów oddziaływań i średnie właściwości materiałów oraz przyjęte w dokumentacji projektowej zbrojenie, zbudowano w tym celu model numeryczny w programie Autodesk Robot Structural Analysis oraz kontrolnie w programie ATENA.

Do porównania ugięć obliczonych dla średnich wartości obciążeń stałych i zmiennych z wykorzystaniem programów ARSA i ATENA oraz ugięć dopuszczalnych, zdefiniowanych, jako 1/250 rozpiętości płyty, wykorzystano metody poziomu II podane PN-EN-1990 Załącznik C [3]. Docelową wartość współczynnika niezawodności dla okresu użytkowania 50 lat, klasy niezawodności konstrukcji RC2 i stanu użytkowalności, przyjęto $\beta = 1,5$ – zgodnie z tabelicą B2, PN-EN-1990. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z algorytmem:

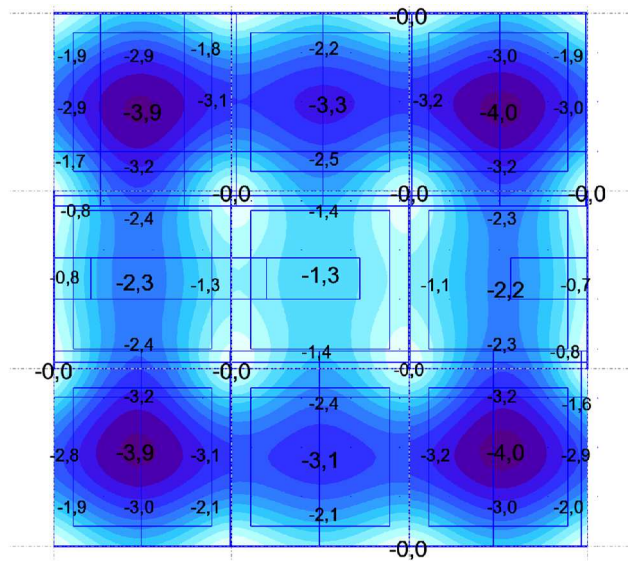
$$\alpha \leq \alpha_{dop} \quad (11)$$

gdzie: α – ugięcie dla quasi – stałej kombinacji obciążeń wyznaczone z zależności:

$$\alpha = \bar{\alpha} \cdot (1 + \beta \cdot \nu) \quad (12)$$

$\bar{\alpha}$ – ugięcie z obliczone MES dla wartości średnich obciążeń i właściwości materiałowych, $\nu = 15\%$ – globalny współczynnik z uwzględnieniem zmienności obciążenia i właściwości materiałowych tj., dla obciążeń stałych $\nu_q = 5\%$, dla obciążeń zmiennych $\nu_q = 20\%$, dla stali $\nu_s = 7\%$, dla betonu $\nu_c = 11,8\%$.

Wartości ugięć dla średnich efektów oddziaływań obliczono w programie ARSA metodą sztywności lokalnej, tzn. uwzględniając sztywność giętą przekroju zarysowanego i wpływy reologiczne przedstawiono na rysunku 4.

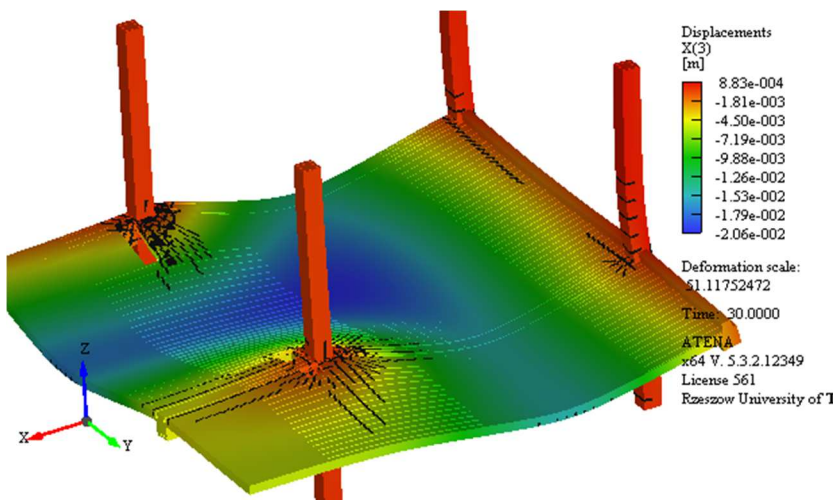


Rysunek 4. Ugięcia fragmentu stropu obliczone w programie ARSA

Maksymalne ugięcia obliczone zgodnie z PN-EN-1990 wynoszą:

$$\alpha = \bar{\alpha} \cdot (1 + \beta \cdot \nu) = 4,0 \cdot (1 + 1,5 \cdot 0,15) = 4,9 \text{ cm}$$

Ugięcia obliczone w programie ATENA z uwzględnieniem zmiany sztywności przekroju na każdym etapie iteracji i wpływów reologicznych przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Ugięcia i zarysowanie (widoczne rysy o szerokości ponad 0,1 mm) fragmentu stropu obliczone w programie ATENA

Maksymalne ugięcia obliczone zgodnie z zależnością (12) wynoszą:

$$\alpha = \bar{\alpha} \cdot (1 + \beta \cdot \nu) = 2,06 \cdot (1 + 1,5 \cdot 0,15) = 2,52 \text{ cm}$$

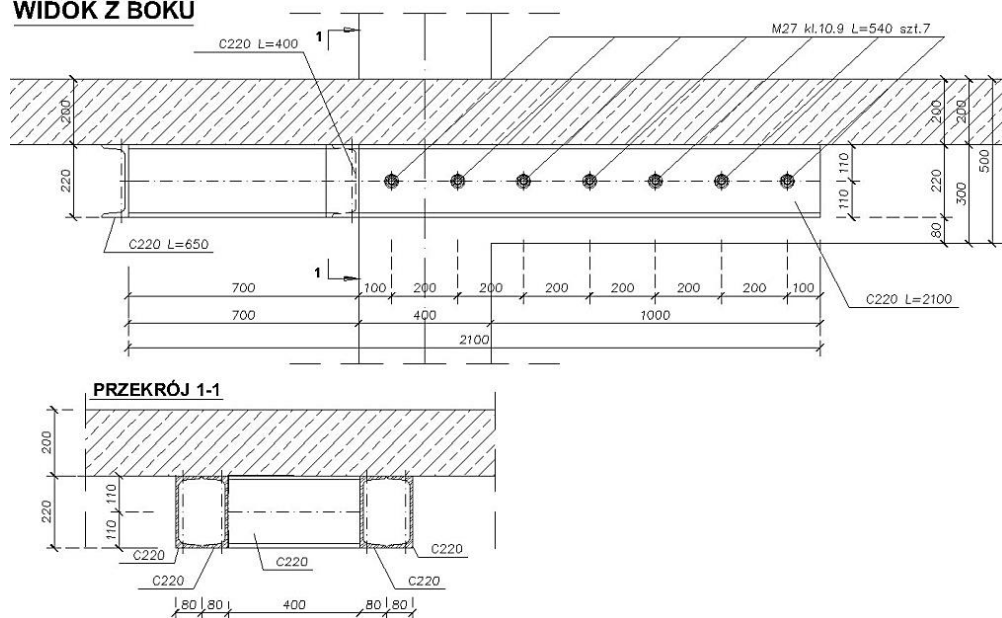
Norma PN-EN-1992-1-1 nie podaje granicznych wartości ugięć, w pkt. 7.4.1 (4) istnieje tylko zapis, że jeżeli strzałka ugięcia od quasi-stałej kombinacji obciążeń przekracza $1/250$ rozpiętości to wygląd i ogólna przydatność konstrukcji mogą być niezadawalające. Dla płyty o rozpiętości 720 cm, $\alpha_{dop} = 2,88$ cm.

5. Projekt wzmocnienia

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że przyjęte zbrojenie płyt stropowych w niektórych miejscach, nie zapewnia spełnienia warunków SGN na zginanie i przebicie. Otwory w płycie umiejscowione przy słupach są przyczyną niekorzystnych zaburzeń liniowego rozkładu odkształceń i koncentracji naprężeń, co powoduje zwiększenie wartości sił przekrojowych i zmniejszenie długości obwodu kontrolnego na przebicie.

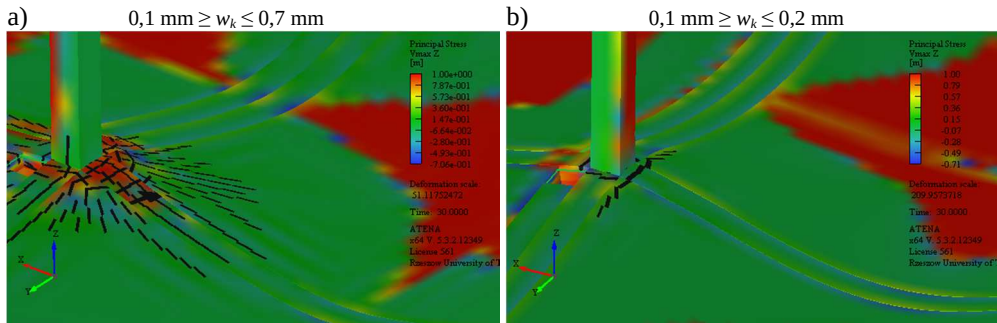
W celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania dla fragmentów stropu, gdzie wartość globalnego współczynnika bezpieczeństwa na zginanie lub przebicie była mniejsza od 1,5 zaproponowano wzmocnienie stropu. W przyjętym rozwiązaniu celem nadrzędnym była zarówno skuteczność wzmocnienia jak i łatwość jego wykonania [5,6]. Zaproponowano wzmocnienie poprzez zwiększenie wymiarów słupa – wprowadzenie kształtowników UPN260 wokół słupa oraz zmniejszenie rozpiętości płyty w kierunku, w którym nie jest spełniony warunek nośności na zginanie. Połączenie pomiędzy stalowymi elementami wzmocnienia a elementami betonowymi zamodelowano w postaci prętów stalowych – symulujących kotwy łączące. Zaproponowane wzmocnienie przedstawiono na rysunku 6.

WIDOK Z BOKU



Rysunek 6. Proponowane wzmocnienie stropu

Skuteczność przyjętego rozwiązania sprawdzono podczas symulacji numerycznych w programie ATENA. Porównanie naprężeń i zarysowania dla fragmentu stropu bez i ze wzmocnieniem przedstawiono na rysunku 7.



Rysunek 7. Zarysowanie oraz naprężenia ścinające fragmentu stropu obliczone w programie ATENA, a) strop bez wzmocnienia, b) strop z zaproponowanym wzmocnieniem

6. Podsumowanie

W celu oceny stanu bezpieczeństwa konstrukcji stropów rozważanego budynku, zastosowano metodę wartości obliczeniowych, dopuszczoną w normie PN-EN-1990, jako alternatywną do podstawowej metody częściowych współczynników, która umożliwia ujawnienie zapasu bezpieczeństwa związanego z uproszczeniami przyjętymi w metodzie podstawowej.

Obie metody pozwalają jedynie na dwuwartościową ocenę bezpieczeństwa; konstrukcję można uznać za bezpieczną lub niebezpieczną. Zastosowanie dodatkowej, tradycyjnej miary bezpieczeństwa, tzn. globalnego współczynnika bezpieczeństwa zdefiniowanego, jako iloraz średniej wartości nośności do średniej wartości efektów obciążeń, pozwala ocenić stan bezpieczeństwa rozważanej konstrukcji w odniesieniu do analogicznych konstrukcji, które są użytkowane przez wiele lat bez istotnych uszkodzeń. Ponieważ obciążenie stałe stropów jest ponad dwukrotnie większe od obciążeń zmiennych, jako minimalną wartość dopuszczalną globalnego współczynnika bezpieczeństwa przyjęto $\gamma = 1,5$. Uwzględniając bezpieczeństwo użytkowania budynku, klasę konsekwencji oraz zmienność występujących obciążeń, przewidziano konieczność wzmocnienia fragmentów stropu, w których globalny współczynnik bezpieczeństwa jest mniejszy od 1,5.

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że pomierzone ugięcie o wartości 7 cm, a raczej różnica poziomu podparcia i najniższego punktu na dolnej powierzchni płyty, wynika w znacznym stopniu z ugięcia deskowania w czasie betonowania płyty. Świadczy o tym również rozkład pomierzonych „ugięć” na dolnej powierzchni płyty stropu.

Literatura

1. ATENA Program Documentation, Theory, Praga 2014.
2. PN-EN-1992-1-1:2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
3. Nowak A.S, Collins K.R: Reliability of Structures. McGraw-Hill Higher Education, 2000.
4. PN-EN-1990: 2004. Podstawy projektowania.
5. Urban T.: Diagnostyka i wzmocnianie płyty żelbetowych na przbicie, Przegląd Budowlany 11/2008.
6. Godycki-Ćwirko T., Nagrodzka-Godycka K., Piotrowski P., Sikorska M.: Awaryjne zarysowanie oraz błędy projektowe stropu płaskiego hali widowiskowo-sportowej, XXV Konferencja Awarie Budowlane, Międzyzdroje 2011.

SAFETY ASSESSMENT OF RC TWO-WAY SLAB FLOOR

Abstract: The paper presents an analysis of the condition of the two-way RC slab floors in the hospital building, modified during implementation, for exceeding the capacity for deflection, bending and punching load bearing capacity. The structural analysis has been carried out for 3D model of the building using both, the Autodesk Robot Structural Analysis and ATENA softwares for nonlinear analysis of RC structures. This enabled modeling of the effects associated with the punching shear, bending and the deflections of the floor slab. In order to evaluate the safety level of the slab, the simplified probabilistic method (the β - index method) recommended by the PN-EN-1990 and the intuitive measure of structural safety, namely the global safety factor was used. This approach allowed for disclosure of safety margin related to simplifications accepted in the basic semi-probabilistic method of partial factors. The method of strengthening of the fragments of the slab, for which safety requirements are not met, is also presented.

Keywords: reinforced concrete, flat plate, bending, deflection, reliability index