

Jerzy TARKA*
Politechnika Łódzka

WZMACNIANIE POŁĄCZEŃ PŁYTA-SŁUP TAŚMAMI CFRP

Streszczenie. W pracy opisano badania eksperymentalne przeprowadzone na modelach połączeń płyty ze słupem, stanowiących wycinek żelbetowej konstrukcji szkieletowej typu płyta-słup. Celem badań była weryfikacja skuteczności koncepcji wzmocnienia stropów na przebiegu przez zwiększanie mocy zbrojenia płytowego (mechanicznego stopnia zbrojenia – $\rho_l \cdot f_{yk} / f_{ck}$) w postaci dodatkowego zbrojenia zewnętrznego.

Analizowana seria badawcza składała się z 4 modeli wykonanych w skali 1:1. Trzy modele wzmocniono za pomocą mocowanych do rozciąganej powierzchni płyty taśm CFRP – w jednym z modeli przez przyklejenie taśm na całej powierzchni styku z płytą, w dwóch pozostałych zaś dodatkowo także za pomocą śrub wklejanych. Uzyskany maksymalny wzrost nośności w stosunku do modelu świadka wyniósł około 36%.

STRENGTHENING OF SLAB-COLUMN CONNECTIONS WITH CFRP STRIPS

Summary. The paper describes experimental research of slab-column connections examined on specimen designed as a part of reinforced concrete frame structure. The aim of the research was efficiency verification of slab reinforcement concept against punching by increasing slab's mechanic reinforcement ratio by applying an additional external reinforcement.

The got maximum growth of carrying capacity in relation to the witness model was about 36%.

1. Wprowadzenie

W budownictwie ogólnym konstrukcje szkieletowe typu płyta-słup w ostatnich kilkudziesięciu latach są szeroko stosowane. Za ich popularnością przemawia wiele czynników, takich jak swoboda aranżacji wnętrz czy prostota realizacyjna. Masowość

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Tadeusz Urban.

stosowania powoduje rosnące niebezpieczeństwo wystąpienia błędów projektowych i wykonawczych. Dodatkowo wiele obiektów tego typu już obecnie wymaga przebudowy bądź wzmocnienia wynikającego ze zmiany sposobu użytkowania i przeznaczenia obiektu, a co za tym idzie konieczności doprowadzenia budynku do zgodności z nowymi, bardziej rygorystycznymi przepisami. Wszystkie wymienione problemy coraz częściej zwracają uwagę projektantów i badaczy na sposoby wzmocniania płyt żelbetowych na przebiecie.

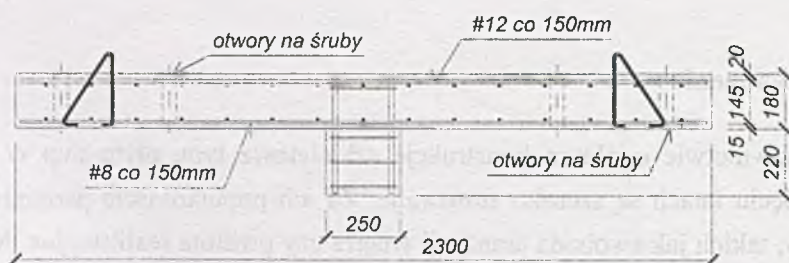
Strefa podporowa stanowi najbardziej wyteżony obszar stropu płaskiego, a zagadnienie przebiecia jest podstawowe dla bezpieczeństwa konstrukcji. Zwykle nośność na przebiecie decyduje o nośności całego stropu, a wszelkie awarie zazwyczaj mają swój początek w strefie podporowej.

Zagadnienie przebiecia w żelbetowych konstrukcjach szkieletowych jest złożonym problemem zależnym od wielu czynników. Do najistotniejszych zaliczyć można: stopień zbrojenia głównego, występowanie zbrojenia poprzecznego, wymiary poprzeczne słupa, stosunek boku słupa do wysokości użytecznej płyty. Sam wybór sposobu wzmocnienia złącza płyta-słup jest uwarunkowany parametrami wzmocnianej konstrukcji i możliwościami technicznymi przeprowadzenia tej operacji. Możliwości w tym względzie przedstawiono w pracach [1, 2].

W prezentowanych badaniach podjęto próbę wykorzystania możliwości wzmocnienia złącza płyta-słup na przebiecie przez zwiększenie stopnia zbrojenia na zginanie (mocy zbrojenia) za pomocą zewnętrznych taśm typu CFRP. Podobna próba była podjęta przez badaczy kanadyjskich [3], ale na modelach w małej skali.

2. Program badań

Na rysunku 1 pokazano przekrój przez płytę modelu przed wzmocnieniem.



Rys. 1. Przekrój przez płytę modelu przed wzmocnieniem
Fig. 1. The slab's section of the model before strengthening

Program badań obejmował 4 modele wykonane z tej samej mieszanki betonowej i jednakowo zbrojone. Elementy badawcze w postaci płyt kwadratowych o boku 2,3×2,3 m i grubości 180 mm były zmonolityzowane z odcinkiem słupa o przekroju kwadratowym 0,25×0,25 m. Zbrojenie modeli wykonano ze stali klasy A-IIIN. Siatka zbrojenia dolnego została wykonana z prętów o średnicy $\varnothing 8$, a zbrojenia górnego z prętów średnicy $\varnothing 12$. Obie siatki miały jednakowy rozstaw prętów w obu kierunkach, wynoszący 150 mm. Stopień zbrojenia głównego płyt wyniósł około 0,5%.

W tabeli 1 zestawiono badane modele wraz z liczbami taśm wzmacniających.

Tabela 1

Model	Liczba taśm CFRP	Sposób wzmocnienia
S-2	-	-
WT-CF-8	8	taśmy klejone do płyty
WT-CF-K-8	8	taśmy klejone do płyty oraz zakotwione wklejanymi śrubami M10
WT-CF-K-16	16	dwie warstwy taśm klejone do płyty oraz zakotwione wklejanymi śrubami M10

Wymiary modeli przyjęto w ten sposób, by fragment badanej płyty odpowiadał fragmentowi wyodrębnionemu w realnej konstrukcji w miejscu zerowania się momentów radialnych.

Betonowanie wszystkich 4 modeli odbyło się z jednej partii betonu. Najwcześniej zbadany został model WT-CF-8 (po 257 dniach od daty betonowania), natomiast jako ostatni element WT-CF-K-16 (po 357 dniach od zabetonowania). Pomimo różnic wieku betonu, w trakcie badania poszczególnych modeli, nie zanotowano istotnych różnic wytrzymałości betonu. Ostatecznie średnie parametry betonu dla całej serii zakwalifikowano następująco:

$$f_{c,cube} = 48,3 \text{ MPa}; \quad f_{sp} = 3,42 \text{ MPa}; \quad f_{cm} = 38,8 \text{ MPa}; \quad E_{cm} = 25680 \text{ MPa}.$$

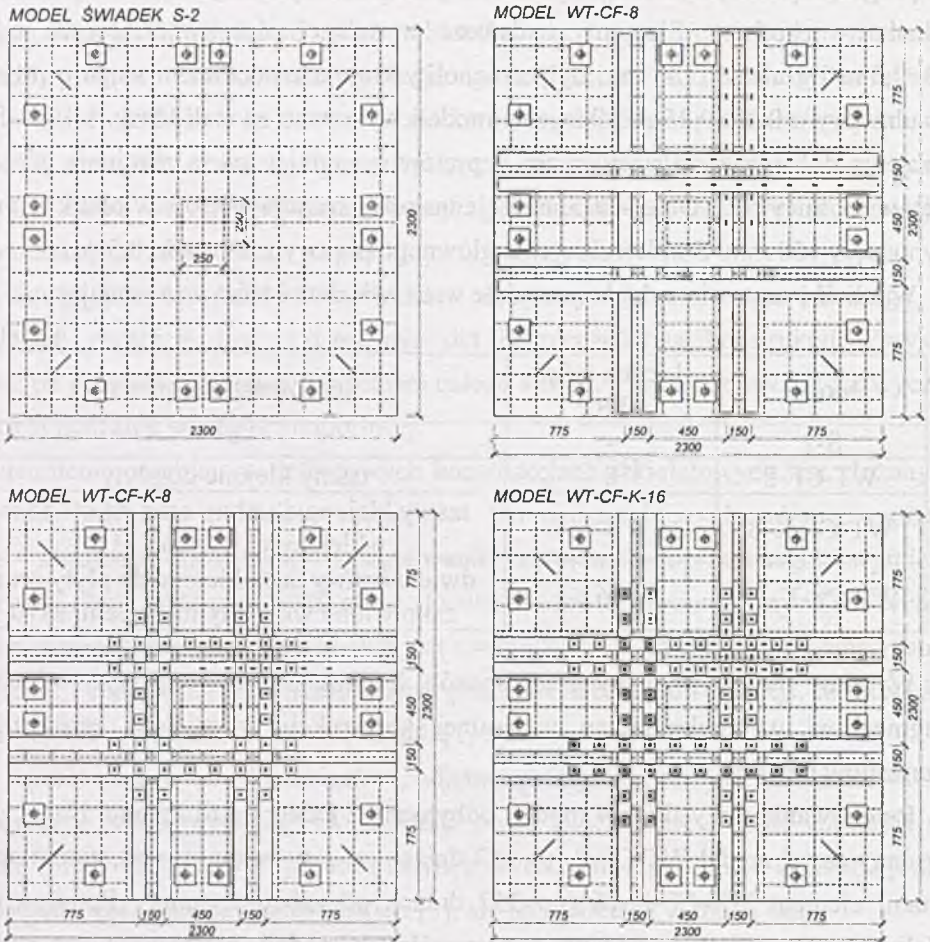
Badania wytrzymałościowe prętów zbrojeniowych o nominalnej średnicy $\varnothing 12$ wykazały następujące cechy:

$$A_{sm} = 1,113 \text{ cm}^2; \quad f_{y,h} = 580,8 \text{ MPa}; \quad f_{y,l} = 565,6 \text{ MPa}; \quad f_{ym} = 573,2 \text{ MPa}.$$

Użyte w programie badań jako zbrojenie zewnętrzne taśmy karbodurowe o przekroju poprzecznym 90 x 1,4 mm charakteryzowały się cechami (wg danych producenta):

$$A_s = 126 \text{ mm}^2; \quad f_{ym} = 3100 \text{ MPa}; \quad E_{cm} = 174 \text{ GPa (własny pomiar)}.$$

Na rysunku 2 pokazano usytuowanie taśm CFRP na badanych elementach.



Rys. 2. Badane modele – widok od góry
 Fig. 2. Studied models – the view from the top

Trzy modele zostały wzmocnione taśmami z włókien węglowych o przekroju poprzecznym $90 \times 1,4$ mm. Model WT-CF-8 wzmocniono 8 taśmami mocowanymi do powierzchni płyty za pomocą kleju na bazie żywic epoksydowych. Element WT-CF-K-8 także wzmocniono 8 taśmami, ale oprócz kleju taśmy były mocowane dodatkowo śrubami wklejanymi M10. Ostatni z serii model WT-CF-K-16 wzmocniono 16 taśmami. Taśmy klejono w dwóch warstwach. W tym wypadku również zastosowano dodatkowe mocowanie za pomocą wklejanych śrub, ale zwiększono ich liczbę do 80 szt. Długość wklejanego odcinka śruby w płycie wynosiła w obu modelach 100 mm. Lokalizację śrub pokazano na rys. 2.

3. Rezultaty badań

3.1. Nośność modeli eksperymentalnych

Uzyskane nośności eksperymentalne (V_{exp}) poszczególnych modeli zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

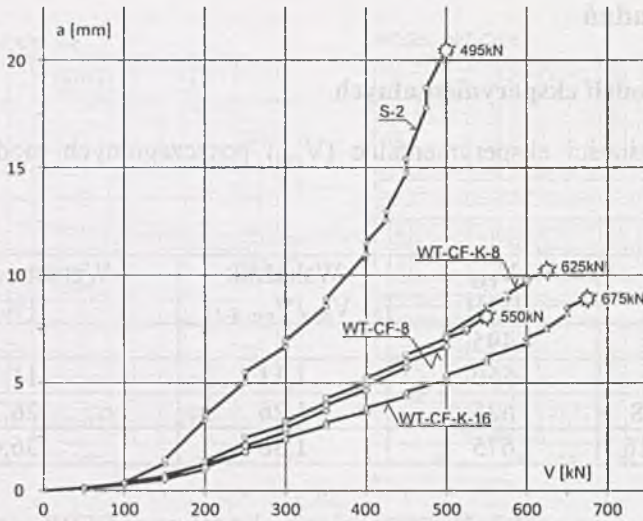
Model	V_{exp} [kN]	Wskaźnik $V_{exp}/V_{exp\ S-2}$	Wzrost nośności [%]
S-2	495	-	-
WT-CF-8	550	1,11	11,1
WT-CF-K-8	625	1,26	26,3
WT-CF-K-16	675	1,36	36,4

Jak widać z powyższej tabeli, wzmocnienie płyt taśmami CFRP pozwoliło uzyskać umiarkowany wzrost nośności w stosunku do modelu świadka S-2. Mocowanie taśm wyłącznie za pomocą kleju dało najmniejszy przyrost nośności, podobnie jak to miało miejsce w badaniach [3]. Dodatkowe mocowanie śrubami zwiększa dwukrotnie efektywność wzmacniania.

Model S-2 zniszczył się gwałtownie pod obciążeniem 495 kN, w sposób, który można nazwać eksplozyjnym. Podobnie wyglądała utrata nośności dla modelu WT-CF-8. Kolejne dwa elementy WT-CF-K-8 i WT-CF-K-16, w których zastosowano dodatkowo kotwienie taśm w postaci wklejanych śrub, uległy zniszczeniu w sposób znacznie bardziej „łagodny” – szczególnie było to widoczne dla modelu z podwojoną liczbą taśm. Wpływ na taki przebieg zjawiska miały najprawdopodobniej śruby, które w stanie krytycznym były wyciągane z betonu na odcinkach poniżej rysy ukośnej.

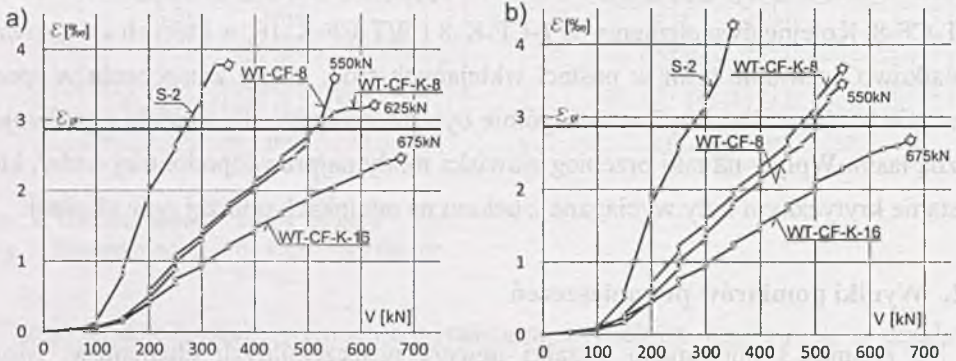
3.2. Wyniki pomiarów przemieszczeń

Na rysunku 3 porównano strzałki ugięcia poszczególnych elementów. Można zauważyć wyraźny wpływ zbrojenia zewnętrznego na sztywność płyty. Zastosowanie dodatkowego kotwienia w postaci wklejanych śrub na sztywność płyty nie miało większego wpływu (modele WT-CF-8 i WT-CF-K-8). Dopiero użycie dwóch warstw taśm i wklejanych śrub w modelu WT-CF-K-16 zaowocowało zwiększeniem sztywności płyty.



Rys. 3. Porównanie ugięć płyt
Fig. 3. The comparison of the slabs deflection

3.3. Wyniki pomiarów odkształceń zbrojenia

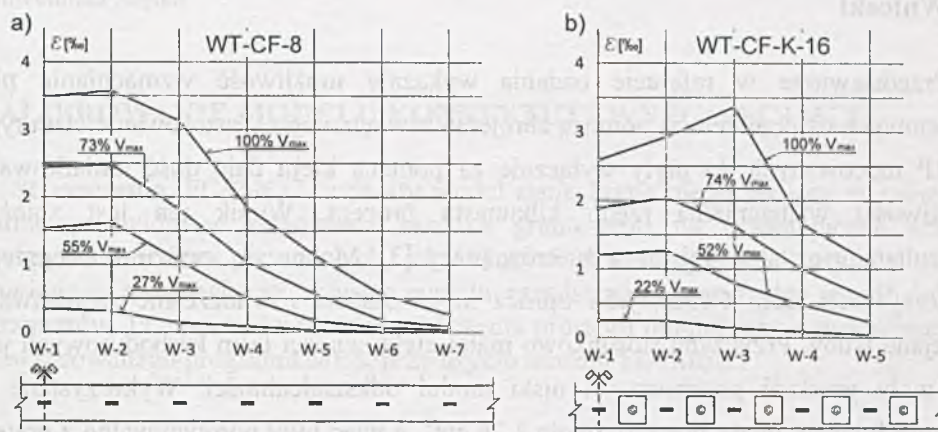


Rys. 4. Porównanie odkształceń zbrojenia głównego: a) dolne pręty siatki, b) górne pręty siatki
Fig. 4. The comparison of the strain of the main reinforcement: a) the upper bars of the mesh, b) the bottom bars of the mesh

Na rysunku 4 pokazano wykresy odkształceń prętów zbrojenia głównego w miejscu ich przecięcia z krawędzią słupa. Pozioma linia obrazuje granicę plastyczności zbrojenia. Model świadek S-2 osiągnął tę wartość przy obciążeniu około 270 kN. Elementy wzmocnione taśmami WT-CF-8 i WT-CF-K-8 przekroczyły granicę plastyczności zbrojenia płytowego dopiero powyżej obciążenia 475 kN, natomiast w modelu WT-CF-K-16 stal zbrojeniowa w badanym miejscu nie uległa

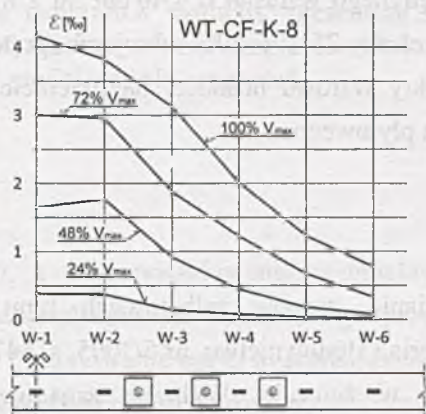
uplastycznieniu. Przedstawione wyniki pomiarów odkształceń zbrojenia są bezpośrednim dowodem skuteczności działania zbrojenia zewnętrznego.

3.4. Wyniki pomiarów odkształceń zbrojenia zewnętrznego



Rys. 5. Odkształcenie taśm CFRP usytuowanych najbliżej słupa: a) model WT-CF-8, b) model WT-CF-K-16

Fig. 5. The strain of the CFRP strips located near the column: a) specimen WT-CF-8, b) specimen WT-CF-K-16



Rys. 6. Odkształcenie taśm CFRP usytuowanych najbliżej słupa w modelu WT-CF-K-8

Fig. 6. The strain of the CFRP strips located near the column in specimen WT-CF-K-8

Na rysunkach 5 i 6 pokazano odkształcenia zarejestrowane na taśmie usytuowanej bliżej krawędzi słupa. Maksymalne odkształcenia dla modeli WT-CF-8 (rys. 5a) i WT-CF-K-16 (rys. 5b) zmierzono na tensometrach W-2 i W-3, znajdujących się w pobliżu przekątnej płyty. Jest to zrozumiałe, gdyż wzdłuż przekątnej płyty kształtuje się teoretyczna linia załamów. Natomiast w przypadku elementu WT-CF-K-8 (rys. 6) maksymalne odkształcenia zarejestrowano na osiach środkowych płyty (tensometr

W-1). Najprawdopodobniej wynika to z braku obecności śrub wklejanych w tym miejscu.

4. Wnioski

Przedstawione w referacie badania wykazały możliwość wzmacniania płyt żelbetowych na przebicie za pomocą zbrojenia zewnętrznego. Zastosowanie taśm typu CFRP mocowanych do płyty wyłącznie za pomocą kleju daje dość umiarkowane możliwości wzmacniania rzędu kilkunastu procent. Wynik ten jest zbliżony z rezultatami uzyskanymi przez autorów pracy [3]. Można się spodziewać lepszego wykorzystania taśm CFRP, jeśli oprócz kleju zostaną równocześnie zastosowane wklejane śruby. Przyczyną stosunkowo małej efektywności taśm karbodurowych jest ich mały przekrój poprzeczny i niski moduł odkształcalności. Wykorzystane w badaniach taśmy miały przekrój około $1,26 \text{ cm}^2$, a więc były porównywalne z prętem zbrojeniowym o średnicy $\varnothing 12$. Biorąc pod uwagę niższy moduł odkształcalności taśm CFRP ($E_s/E_{\text{CFRP}} = 0,87$), efektywny przekrój taśmy w przeliczeniu na stalowe zbrojenie wynosi $0,87 \times 1,26 = 1,10 \text{ cm}^2$. W modelach z 4 taśmami w jednym kierunku przekrój zbrojenia zewnętrznego wzrastał o $4,40 \text{ cm}^2$, a z 8 taśmami o $8,80 \text{ cm}^2$, co stanowiło odpowiednio około 25% i 50% zbrojenia prętowego znajdującego się w płycie. Uzyskane efekty wzrostu nośności na przebicie są więc adekwatne do wzrostu stopnia zbrojenia płytowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Urban T.: Wzmacnianie stropów żelbetowych typu płyta-słup w strefach podporowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 5/2005, s. 547-551.
2. Urban T.: Przebicie w żelbecie. Wybrane zagadnienia. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, nr 959, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2005.
3. Soudki K., Van Zwol T., Shering R.: Strengthening of Interior Slab-Column Connections with CFRP Strips. FRPCS-6, Singapore, 8-10 July 2003, p. 1137-1146.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Łapko