

Janusz BROL*
Politechnika Śląska

WZMACNIANIE ZESPOLONYCH STROPÓW DREWNIANO- ŻELBETOWYCH POLIMERAMI ZBROJONYMI WŁÓKNAMI WĘGLOWYMI

Streszczenie. Referat przedstawia wyniki badań laboratoryjnych dwóch modeli stropów zespolonych drewniano-żelbetowych wzmocnionych za pomocą kompozytów z włóknami węglowymi. Przedstawiono również porównania nośności i ugięć w odniesieniu do stropów drewnianych i zespolonych drewniano-żelbetowych bez wzmocnienia.

STRENGTHENING OF COMPOSITE WOODEN-CONCRETE SLABS WITH CARBON FIBRES REINFORCED POLYMERS (CFRP)

Summary. The results of laboratory tests of two models of composite wooden – concrete slab strengthened by means of carbon reinforced composites are presented in the paper. The comparisons of load capacity and deflection referred to the wooden and wooden – concrete composite slabs without strengthening are presented too.

1. Wprowadzenie

W Polsce istnieje wiele obiektów z istotnym udziałem stropów w konstrukcji drewnianej. Niejednokrotnie są to zabytkowe konstrukcje, unikalne w sali światowej. Konstrukcje te wymagają ciągłej opieki, okresowych przeglądów lub wzmocnień elementów konstrukcyjnych w celu umożliwienia ich dalszej eksploatacji.

Rewaloryzacje obiektów zawierających stropy o konstrukcji drewnianej to współcześnie powszechnie spotykane w kraju problemy budownictwa. Stropy te często zostają zastąpione nowymi stropami o konstrukcji stalowej lub żelbetowej. Niejednokrotnie demontuje się belki stropów drewnianych znajdujące się w dobrym stanie technicznym, które po wzmocnieniu można by wykorzystać w konstrukcji stropów spełniających wymagania wynikające

* Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz

z nowych funkcji użytkowych. Wzmacnianie elementów stropów drewnianych można zrealizować różnymi metodami tradycyjnymi. W referacie przedstawiono znany sposób wzmocnienia stropów drewnianych poprzez zespolenie ich z płytą żelbetową wykonaną powyżej belek drewnianych, który został zmodyfikowany o dodatkowe wzmocnienie wykonane przez przyklejenie od spodu belek taśmy zbrojonej włóknami węglowymi.

Połączenie w stropach drewna z betonem pozwala na wykorzystanie właściwości wytrzymałościowych obu materiałów. Zastosowana dodatkowo taśma efektywnie wzmacnia strefę rozciąganą stropu (drewno) i pozwala wykorzystać duży zapas nośności strefy ściskanej (beton). Rozwiązanie to można stosować zarówno w przypadku koniecznego zwiększenia nośności, jak też ograniczenia ugięć istniejących stropów drewnianych lub zespolonych z płytą żelbetową.

Referat przedstawia kontynuację badań prowadzonych w Katedrze Inżynierii Budowlanej nad sposobami wzmacniania konstrukcji budowlanych ze znaczącym udziałem drewna jako materiału konstrukcyjnego.

2. Opis modeli wykorzystanych w badaniach

Do badania wykorzystano dwa modele stropów zespolonych drewniano-żelbetowych badanych wcześniej przez A. Malczyka i M. Własczuka, pracowników Katedry Inżynierii Budowlanej Politechniki Śląskiej.

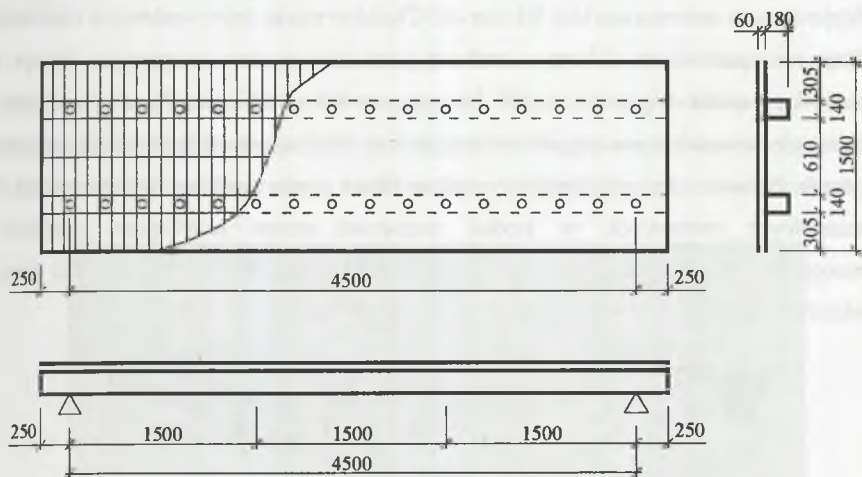
Konstrukcję nośną modelu stropu stanowiły dwie belki drewniane o przekroju $H \times B = 0,18 \times 0,14$ m, usytuowane w rozstawie 0,75 m, oraz płyta żelbetowa o grubości 0,06 m i szerokości 1,5 m. Połączenie belek drewnianych z płytą żelbetową zapewniono za pomocą rurowych łączników stalowych przenoszących siły rozwarstwiającej. Łączniki wykonane z odcinków rury stalowej $\varnothing 70 \times 4$ mm o długości 80 mm umieszczono w rozstawie 0,3 m. Połączenie to charakteryzuje się dużą sztywnością, znacznie większą niż połączenia gwoździami lub innymi podatnymi. Wymiary oraz konstrukcję modeli pokazano na rys 1. Charakterystykę betonu i drewna zastosowanego w modelach podano w tabelach 1 i 2.

Modele przed wzmocnieniem posiadały już znaną historię obciążania:

- Model M-1 poddany był wcześniej obciążeniu doraźnemu w zakresie 0÷60 kN oraz 50 cyklom obciążania w zakresie 0÷36 kN z końcowym przeciążeniem do 60 kN.

- Model M-2 poddany był wcześniej 10 cyklom obciążania w zakresie 0÷36 kN z końcowym przeciążeniem do 60 kN.

Następnie modele były badane pod obciążeniem długotrwałym równomiernie rozłożonym na powierzchni stropu o intensywności $7,4 \text{ kN/m}^2$.



Rys. 1. Schemat konstrukcji i wymiary modeli stropów

Fig. 1. Scheme of the structure and dimensions of slab models

Tabela 1

Charakterystyka betonu zastosowanego w modelach

Symbol modelu	Data wykonania modelu	R	E_m
M-1	16.11.93	12,4	17700
M-2	06.11.93	14,8	17800

Tabela 2

Charakterystyka drewna zastosowanego w modelach

f_{km} [MPa]	f_{kc} [MPa]	E_m [MPa]
59,4	27,9	8600

3. Sposób wzmocnienia i oprzyrządowania

Przed wykonaniem wzmocnienia modele stropów zespolonych drewniano-żelbetowych zostały ustawione na stanowisku badawczym. Aby było możliwe bezpośrednie porównanie wyników badań modeli stropów przed i po wzmocnieniu, zastosowano ten sam co poprzednio

rozstaw podpór wynoszący 4,5 m. Po ustawieniu modeli na podporach oczyszczono z zanieczyszczeń oraz luźnych części spody belek poprzez delikatne przeszlifowanie drewna.

Wzmocnienie stropów wykonano przyklejając taśmy z włóknami węglowymi typu SikaCarboDur S512 o przekroju $1,2 \times 50$ mm (60 mm^2) do spodu belek drewnianych. Do przyklejenia taśm zastosowano klej Sikadur-30. Charakterystykę taśm węglowych otrzymaną z badań oraz porównanie z kartą techniczną producenta podano w tabeli 3. Na rys. 2 przedstawiono widok fragmentu modeli po wykonaniu wzmocnienia. W celu możliwości pomiaru ugięć zainstalowano czujniki indukcyjne w środku rozpiętości każdej belki oraz przy podporach. Natomiast by móc określić w trakcie badań poziom maksymalnych naprężeń w poszczególnych materiałach, w środku rozpiętości stropu przyklejono tensometry elektrooporowe do dolnych powierzchni włókien węglowych, drewna, betonu oraz górnej powierzchni betonu.



Rys. 2. Widok od spodu wzmocnienia modeli stropu zespolonego drewniano-żelbetowego wykonanego taśmą zbrojoną włóknami węglowymi SikaCarboDur S512

Fig. 2. Bottom – view of the strengthening of composite wooden – concrete slab model made from carbon fibre reinforced ribbons

Tabela 3

Charakterystyka taśm z włókien węglowych

Rodzaj taśmy	Przekrój taśmy [mm]	Wyniki z badań		Dane producenta		
		f_m [MPa]	E_m [GPa]	f_m [MPa]	f_{min} [MPa]	E_m [GPa]
SikaCarboDur S512	1,2 x 50	3212,3	173,5	3050	> 2800	> 165

4. Badania modeli stropu pod wpływem obciążenia doraźnego

Do badań użyto obciążników żeliwnych o masie 25 kg w maksymalnej ilości 432 sztuki na jeden model. Uzyskane maksymalne obciążenie stropu (bez ciężaru własnego) wynosiło 16 kN/m^2 .

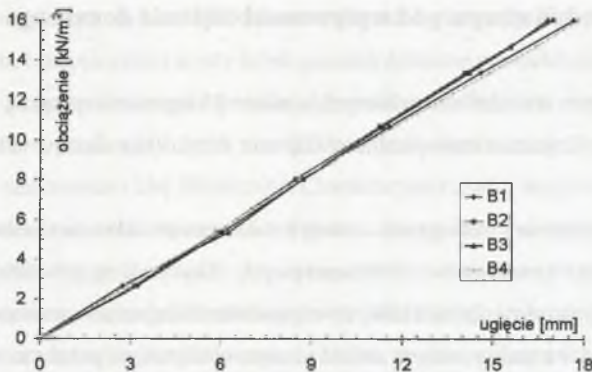
Przed rozpoczęciem obciążania modeli dokonano odczytu wskazań czujników indukcyjnych oraz tensometrów elektrooporowych. Czynność tę powtarzano po ułożeniu każdej następczej warstwy obciążników, co odpowiada obciążeniu wynoszącemu $2,66 \text{ kN/m}^2$. Widok modelu M-1 z maksymalnym zrealizowanym obciążeniem pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Model stropu pod obciążeniem równomiernie rozłożonym 16 kN/m^2
Fig. 3. Model of slab subjected to the uniformly distributed load of 16 kN/m^2

W toku badania stwierdzono dużą sztywność tak wykonanego stropu. Przy obciążeniu wynoszącym 16 kN/m^2 średnie ugięcie doraźne stropu wynosiło $17,2 \text{ mm}$. Dla porównania $l/300$ wynosi 15 mm , a $l/200$ wynosi $22,5 \text{ mm}$. Z uwagi na realizację badania za pomocą obciążenia grawitacyjnego nie doprowadzono do zniszczenia modeli, w związku z czym nie określono nośności badanych modeli. Badanie postanowiono przerwać po uzyskaniu obciążenia stropu na poziomie 16 kN/m^2 . Uzyskane wyniki ugięć dla przebadanych modeli (dla każdej belki oddzielnie) przedstawiono w postaci wykresu na rys. 4.

Maksymalne naprężenia wyznaczone na podstawie pomierzonych odkształceń podano w tabeli 4.



Rys. 4. Wykresy zależności ugięcia doraźnego od obciążenia równomiernie rozłożonego
 Fig. 4. Diagrams of relationship of instantaneous deflection vs. uniformly distributed load

Tabela 4

Maksymalne naprężenia w stropie	
Materiał	Maksymalne naprężenia w materiale [MPa]
Beton	6,3
Drewno	9,8
Taśma z włókien węglowych	255

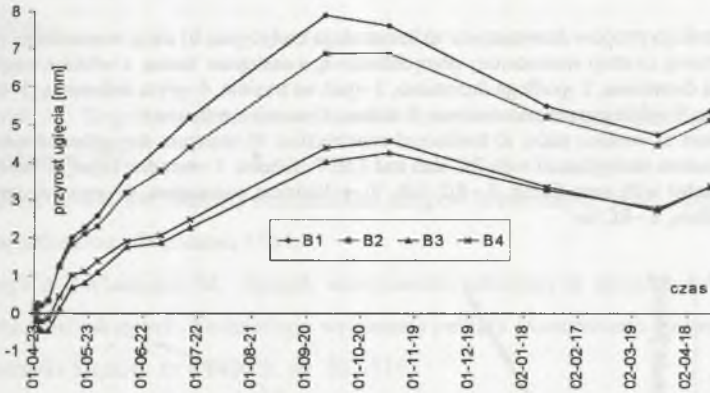
5. Badania modeli stropu pod wpływem obciążenia długotrwałego

Do badań użyto obciążników żeliwnych o masie 25 kg w liczbie 324 sztuki na jeden model, co odpowiada 75% obciążenia maksymalnego zastosowanego w badaniach doraźnych. Obciążenie pojedynczego stropu (bez ciężaru własnego) wynosiło 12 kN/m². Obciążenie nałożono w dniu 23.04.2001. W pierwszym tygodniu dokonywano pomiarów ugięć codziennie, później przez pierwszy miesiąc co tydzień, a następnie raz w miesiącu. Ostatni odczyt miał miejsce 29.04.2002 r. Na rysunku 5 pokazano widok modeli w trakcie badań pod obciążeniem długotrwałym.

Uzyskane wyniki badań z okresu 1 roku przedstawiono w postaci wykresu na rys 6. Wykres przedstawia zmiany w stosunku do pomiaru ugięcia bazowego wynoszącego około 13 mm.



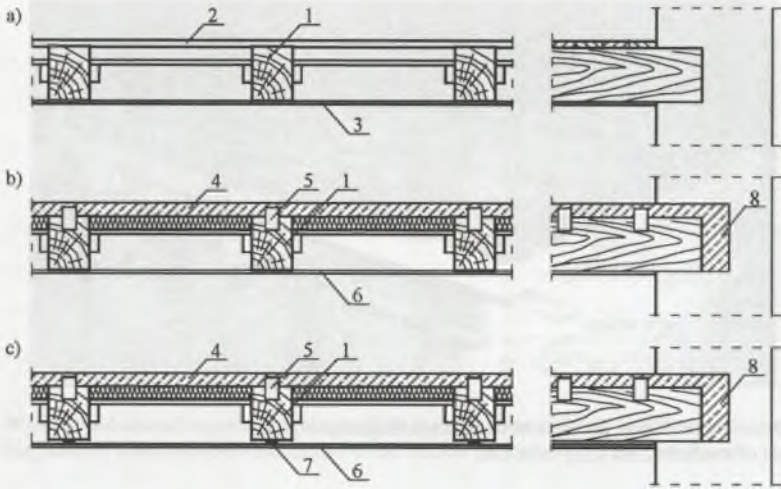
Rys. 5. Badania modeli pod działaniem obciążenia długotrwałego
 Fig. 5. Test of models under long-term load



Rys. 6. Zmiany ugięć w okresie 1 roku pod działaniem obciążenia 12 kN/m²
 Fig. 6. Changes of deflection in the period of year under the action of load of 12 kN/m²

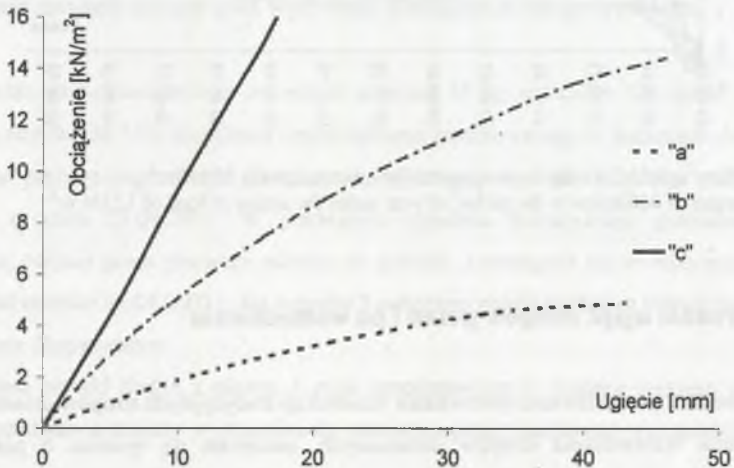
6. Porównanie ugięć stropów przed i po wzmocnieniu

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie konstrukcji tradycyjnych stropów drewnianych z propozycjami wzmocnienia stropów drewnianych, natomiast na rysunku 8 porównanie wykresów obciążenie – ugięcie dla konstrukcji stropów z rysunku 7.



Rys. 7. Konstrukcja stropów drewnianych: a) konstrukcja tradycyjna; b) strop wzmocniony płytą żelbetową; c) strop wzmocniony płytą żelbetową, a następnie taśmą z włókien węglowych: 1 - belka drewniana, 2 - podłoga drewniana, 3 - tynk na trzcinie, 4 - płyta żelbetowa, 5 - łączniki rurowe, 6 - płyta gipsowo-kartonowa, 7 - taśma, 8 - wieniec żelbetowy

Fig. 7. Structure of wooden slabs: a) traditional construction, b) structure strengthened with RC slab, c) structure strengthened with RC slab and CFRP ribbons: 1 - wooden beam, 2 - wooden floor, 3 - plaster with cane fibres, 4 - RC slab, 5 - cylindrical connectors, 6 - gypsum-carton board, 7 - ribbon, 8 - RC tie



Rys. 8. Porównanie wykresów obciążenie - ugięcie: a) strop drewniany, b) strop drewniany wzmocniony płytą żelbetową, c) strop dodatkowo wzmocniony taśmą z włókienami węglowymi

Fig. 8. Comparison of load - deflection diagrams: a) wooden slab, b) wooden slab strengthened with RC top slab, c) slab additionally strengthened with CFRP ribbon

7. Wnioski

Do znanych sposobów wzmocnienia i usztywnienia stropów drewnianych można dodać wzmocnienie za pomocą nowoczesnych materiałów, jakimi są kompozyty zbrojone włóknami węglowymi.

Przeprowadzono badanie skuteczności takiego wzmocnienia na modelach w skali technicznej. W stosunku do stropów z żelbetową płytą wzmacniającą uzyskano istotną redukcję ugięć, co w istniejących stropach ma szczególne znaczenie. Badania długotrwałe pozwoliły również zaobserwować wahania ugięć w cyklu rocznym, związane z naturalnymi zmianami wilgotności.

LITERATURA

1. Malczyk A.: Zespolony strop drewniano-żelbetowy ze sztywnymi łącznikami. Przegląd Budowlany nr 4/92.
2. Instrukcja nr 475/84 : Metoda wzmacniania stropów drewnianych przez zespolenie belek z płytą żelbetową . Warszawa 1984.
3. Malczyk A., Właszczuk M.: Sposób wzmocnienia istniejących stropów drewnianych w obiektach zabytkowych. Technologia wykonania i efekty ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 85/1995r. str. 507-516.
4. Malczyk A., Właszczuk M.: Zespolone stropy drewniano-żelbetowe. Badania pod wpływem obciążeń długotrwałych oraz obciążeń dynamicznych. Praca BK-679/RB-2/92/93, Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Budowlanej, Gliwice, grudzień 1994.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Mielczarek

Abstract

Laboratory tests of complex wooden-concrete slabs CFRP plates strengthening effectiveness were performed. Effectiveness of use carbon fibres reinforcement was proved by significant reduction of strengthening concrete slab deflection, which is essential for existing slab structures.