

Andrzej MALCZYK, Marek WŁASZCZUK

**SPOSÓB WZMACNIANIA ISTNIEJĄCYCH STROPÓW DREWNIANYCH
W OBIEKCIE ZABYTKOWYM.
TECHNOLOGIA WYKONANIA I EFEKTY EKONOMICZNE**

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań połączenia drewnianych belek stropu z płytą żelbetową za pomocą stalowych łączników rurowych charakteryzujących się znaczną nośnością i sztywnością. Opisano przykładową realizację wzmocnienia stropu w obiekcie z XVIII w. oraz uzyskane efekty ekonomiczne.

**REINFORCEMENT OF TIMBER FLOORS IN MONUMENTAL BUILDING.
TECHNOLOGY AND ECONOMICAL EFFECTS**

Summary. In the paper, the results of investigations of models of combined timber-reinforced concrete floors, in which were used connectors in form of segments of pipe, have been described. Big load capacity and stiffness of connectors have been recorded. Also, the solution of construction of combined floors executed in XVIII-century castle, has been described.

**MÉTHODE MISE EN OEUVRE DE PLANCHER MIXTE BOIS-BÉTON EN BÂTIMENT
HISTORIQUE. TECHNOLOGIE ET EFFETS ÉCONOMIQUE**

Résumé. On présent des résultats expérimentaux de connexion rigide constitué d'un tube métallique entre des poutres en bois et une dalle en béton armé coulé sur place.
Est présenté un exemple de réalisation des planchers en bâtiment de XVIII siècle et effets économiques.

WSTĘP

Podczas renowacji stropów drewnianych w istniejących obiektach zachodzi zazwyczaj konieczność zwiększenia nośności, odporności ogniowej bądź lepszego skotwienia budynku tarczą stropową.

W przypadku dobrego stanu technicznego belek drewnianych celowe może okazać się wykonanie stropu zespolonego drewniano-żelbetowego. W takiej konstrukcji konieczne jest wprowadzenie łączników przenoszących siły ścinające, które występują w płaszczyźnie zespolenia zginanego pasma stropowego. W dotychczas stosowanych rozwiązaniach funkcję łączników najczęściej pełniły gwoździe [1,2].

Przy rozpiętości stropów powyżej 4,5 m oraz przy obciążeniach użytkowych $p \geq 2,0$ kN/m² w strefach przypodporowych niezbędna jest znaczna liczba gwoździ do przeniesienia sił ścinających. W tych przypadkach należy zastosować inny rodzaj łączników, charakteryzujących się dużą nośnością i zapewniających odpowiednią sztywność połączenia. Cechy te mogą zagwarantować łączniki w postaci odcinków rury stalowej. Łączniki są do połowy długości wpuszczone w pasowane, pierścieniowe otwory wywiercone w belkach drewnianych, a w połowie zagłębione w betonie płyty stropu [3,4].

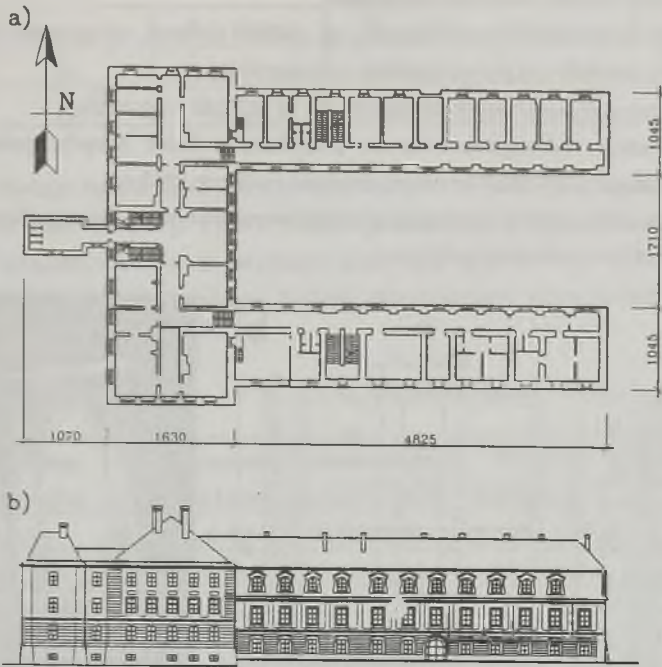
Drewniano-żelbetowe stropy zespolone z łącznikami rurowymi wykonane zostały po raz pierwszy w Polsce, w pochodzącym z XVIII wieku budynku zamku w Rybniku. Ze względu na wpływy górnicze oraz znaczne obciążenia użytkowe stropów wynikające ze zmodernizowanej funkcji obiektu zaistniała konieczność wzmocnienia dobrze zachowanych stropów drewnianych nad kondygnacjami I i II piętra budynku zamku, którego rzut i elewację przedstawiono na rys. 1.

Koncepcję wzmocnienia stropów przez zespolenie belek drewnianych z płytą żelbetową przedstawiono na rys. 2. W koncepcji tej zaproponowano zastąpienie drewnianej, otynkowanej podsufitki ogniochronnymi płytami gipsowymi typu GKF, a glinianej ciężkiej polepy - styropianem o grubości 50 mm. Rolę łączników pełnią odcinki rury stalowej.

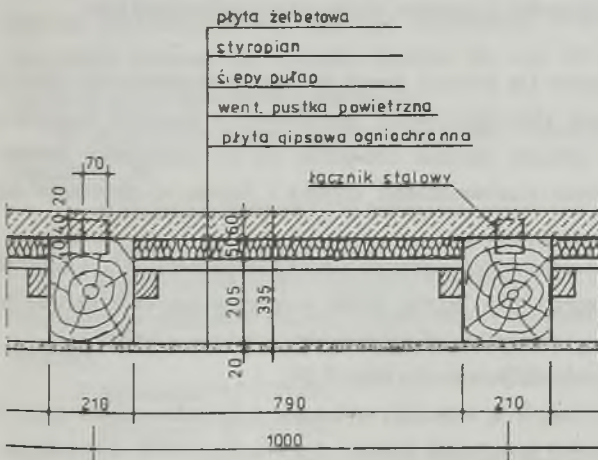
2. BADANIA NOŚNOŚCI I PODATNOŚCI ŁĄCZNIKÓW RUROWYCH

W celu realizacji wzmocnienia stropów według koncepcji przedstawionej na rys. 2 niezbędne było przeprowadzenie badań laboratoryjnych mających na celu:

- określenie nośności obliczeniowej łącznika rurowego,



Rys. 1. Budynek zamku w Rybniku z XVIII w.; a) rzut I piętra; b) elewacja południowa
 Fig. 1. XVIII-century castle in Rybnik; a) first floor, b) south facade



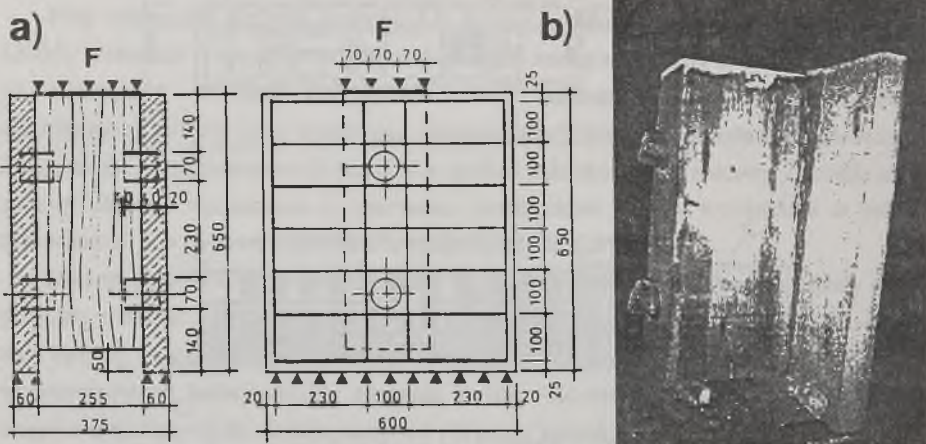
Rys. 2. Koncepcja stropu zespolonego drewniano-żelbetowego z łącznikami rurowymi

Fig. 2. Solution of timber - r.c. floor with segments of pipe as connectors

- wyznaczenie modułu podatności połączenia,
- określenie zależności nośności łącznika od rodzaju drewna, od sposobu zamocowania łącznika w drewnie i od grubości ścianki rury łącznika,
- oszacowanie wpływu obciążeń wielokrotnych na nośność połączenia.

W badaniach wykorzystano drewno pozyskane z belek stropów przedmiotowego obiektu pochodzące z XVIII w. i z okresu remontu zamku w 1938 r.

Wykonano 18 modeli o konstrukcji przedstawionej na rys. 3a, które posłużyły do badań nośności łączników i podatności połączenia.



Rys. 3. a) Konstrukcja modelu, b) obrót łączników w zniszczonym złączu
Fig. 3. a) Construction of model, b) rotation of connectors in destroyed joint

W modelach tych wymuszano (za pomocą prasy) pionowe przemieszczenie odcinka belki stropowej względem dwóch płyt żelbetowych, zespolonych z drewnem łącznikami rurowymi. Modele badano w pełnym zakresie obciążenia aż do zniszczenia, mierząc czujnikami indukcyjnymi wzajemne przemieszczenia drewna i betonu w poziomach osi łączników rurowych.

Dziewięć modeli wykonano wykorzystując drewno z XVIII w. (drewno "A"), a dziewięć stosując drewno z 1938 r. (drewno "B"). Wyniki badań wytrzymałościowych drewna na zginanie - \bar{R}_{km} , na ściskanie - \bar{R}_{kc} oraz badań wilgotności przedstawiono w tabelcy 1. Obydwa rodzaje drewna zostały zakwalifikowane do klasy K 39.

Beton w płytach modeli był klasy B15, a łączniki wykonano z rur stalowych bez szwu, o zewnętrznej średnicy 70 mm i dwóch grubościach ścianek - 3,2 mm (ozn. "C") i 4,0 mm (ozn. "G").

Tablica 1

Typ drewna	\bar{R}_{km} [MPa]	\bar{R}_{kc} [MPa]	Wilgotność [%]
A	61,1	46,4	9,0
B	64,8	44,3	9,5

Badano również wpływ osadzenia rur w drewnie: w otworach pasowanych - "na sucho" ("S") oraz na epidianie ("E"). Cztery modele poddano przed zniszczeniem 50-krotnym obciążeniom cyklicznym w zakresie sprężystym (ozn. "cykl") [3].

Wartości przemieszczeń odpowiadające liniowej charakterystyce pracy modeli w badanych grupach zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Oznaczenie grupy modeli	Przemieszczenie sprężyste [mm]	Przemieszczenie maksym. [mm]	Przedział nośności [kN]	Nośność śr. [kN]
A-C-S	0,21 - 0,43	1,35 - 2,50	157 - 185	172
A-C-E	0,21 - 0,28	1,40 - 2,00	141 - 167	150
B-C-S	0,10 - 0,26	1,40 - 1,75	146-193	170
B-G-E	0,10 - 0,17	1,40 - 1,70	152 - 180	171
B-G-S	0,36 - 0,48	1,80 - 2,30	144 - 175	157
B-G-S cykl	0,32 - 0,50	1,75 - 2,20	153 - 181	168

Utrata wytrzymałości złącza na przecinanie była związana z obrotem łączników w drewnie prowadzącym do lokalnego zmiążdżenia betonu w płycie. Łączniki rurowe wypełnione betonem nie zmieniły kształtu. Na rys. 3b przedstawiono obrót łączników rurowych w momencie zniszczenia złącza.

Nie stwierdzono istotnego wpływu na nośność łączników i podatność połączenia takich czynników, jak:

- obciążenie wielokrotne (50 cykli),
- sposób mocowania łącznika w drewnie (pasowanie "na sucho" lub na kleju),
- grubość ścianki rury (w badanym zakresie 3,2 mm i 4 mm dla rury ϕ 70 mm).

Określone na podstawie obliczeń statystycznych nośności gwarantowane jednego łącznika wynosiły:

- dla drewna "A" - 30 kN,
- dla drewna "B" - 36 kN.

Obszerniejsze omówienie wyników badań przedstawiono w referatach [3] i [4].

3. REALIZACJA PROGRAMU KOMPLEKSOWYCH BADAŃ MODELOWYCH

Przedstawione badania łączników rurowych były pierwszym etapem wielostronnych badań modelowych mających na celu wyjaśnienie wielu zagadnień dotyczących przewidywanej, długotrwałej eksploatacji przedmiotowych stropów.

Wykonano następujące badania:

- A. Określenie nośności i podatności złączy rurowych z uwzględnieniem obciążeń statycznych wielokrotnych oraz dynamicznych.

Badania te wykonano na modelach typu przedstawionego na rys. 3a wykorzystując drewno tartaczne. Ogółem przebadano 12 modeli złącza, w tym 9 poddano statycznym obciążeniom cyklicznym (50 cykli), a 3 modele obciążano dynamicznie w celu określenia wpływu zmęczenia materiałów (1,5 mln cykli, 500 min^{-1}). Wyniki badań przedstawiono w opracowaniu [5].

- B. Określenie nośności modelu stropu zespolonego, poddanego obciążeniom statycznym jednokrotnym (aż do zniszczenia), wielokrotnym i długotrwałym.

Badania wykonano na 5 modelach odcinka stropu o rozpiętości 4,5 m, o grubości płyty żelbetowej - 6 cm i rozstawie belek stropowych - 75 cm (przekrój belek drewnianych - $14 \times 18 \text{ cm}$.)

Wyniki tych badań przedstawiono w referacie [4] i opracowaniu [5].

- C. Analiza rozkładów naprężeń w pobliżu pojedynczego łącznika rurowego oraz w całym paśmie stropu zespolonego drewniano-żelbetowego.

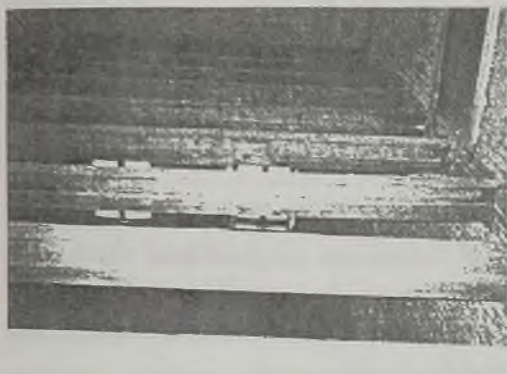
Analizę tę przeprowadzono wykorzystując modele numeryczne złącza i stropu. Posłużono się metodą elementów skończonych stosując sprężyto-plastyczny model materiałowy ze stożkową powierzchnią obrotową plastyczności, zakończoną dwiema nasadkami (cap model).

Wyniki badań na modelach numerycznych w pełni potwierdziły wcześniejsze obserwacje uzyskane w trakcie badań laboratoryjnych.

4. REALIZACJA WZMOCNIENIA STROPÓW

Na podstawie wyników badań modelowych zaprojektowano wzmocnienie istniejących stropów drewnianych w zamku w Rybniku. Koncepcja wzmocnienia stropów uzyskała akceptację Państwowej Służby Ochrony Zabytków w Katowicach.

Rozpiętości stropów wynosiły 6,0 m. Stan belek drewnianych po ich odstąpieniu i oczyszczeniu przedstawia rysunek 4. Ogólnie oceniono, że w obszarze przewidywanych zastosowań stropów zespolonych należało wymienić jedynie 2% belek. Dla około 6 % belek konieczne było wykonanie lokalnych wzmocnień ich końcówek za pomocą ceowników stalowych. Wszystkie belki oraz deski i listwy poddano impregnacji preparatem Intox S, a końcówki belek preparatem Imprex budowlany.



Rys. 4. Stan belek drewnianych po ich odstąpieniu i oczyszczeniu

Fig. 4. Exposed and cleaned timber beams

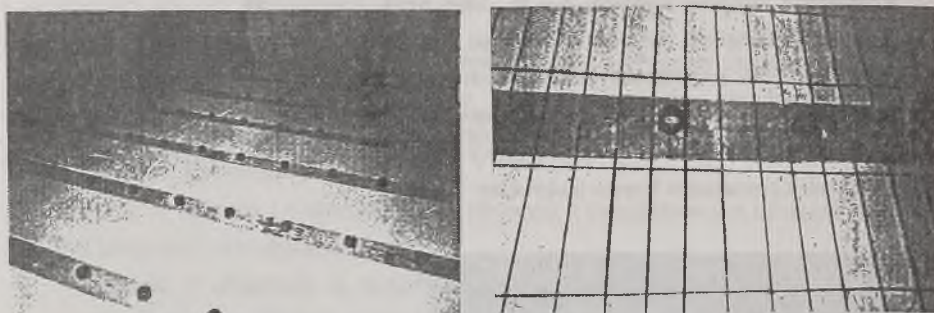
Otwory pierścieniowe w belkach wycięto wiertłem kłosowym, elektryczną wiertarką ręczną. W otworach umieszczono łączniki w postaci odcinków rury stalowej (ϕ 70 mm, $g = 3,2$ mm) o długości 80 mm. Obliczony odstęp łączników dla obciążenia użytkowego 2,5 kN/m² wynosił 400 mm. Były one ciasno pasowane w otworach, a ich przygotowanie polegało na odłuszczeniu benzyną ekstrakcyjną.

Ze względu na maksymalny dopuszczalny odstęp pomiędzy łącznikami wynoszący 500 mm w opisanym przypadku niecelowe było różnicowanie odstępów łączników na długości belki.

Po ułożeniu na ślepych pułapie warstwy styropianu o grubości 50 mm wykonano otwory wentylacyjne zapewniające wymianę powietrza w przestrzeni zawartej pomiędzy podsufitką i ślepych pułapem oraz ułożono zbrojenie płyty stropu (rys. 5).

Płyta stropowa była skotwiona ze ścianami zewnętrznymi budynku za pomocą prętów stalowych zakończonych blachami oporowymi. Ponadto w płycie ułożono zbrojenie wieńców obwodowych oraz wewnętrznych.

Przed betonowaniem płyty podparto belki stropowe w dwóch miejscach na długości w celu ograniczenia ich ugięć. Płytę wykonano z betonu klasy B 15.



Rys. 5. Łączniki osadzone w belkach i zbrojenie płyty

Fig. 5. Connectors fixed in timber beams and reinforcement of slab

W tym samym obiekcie, nieco wcześniej, dokonano wymiany części stropów nad parterem polegającej na zastąpieniu belek drewnianych dwuteownikami stalowymi i wykonaniu pomiędzy nimi odcinków stropu Ackermana.

Porównanie kosztów tak wykonanego stropu z kosztami zaprojektowanego przez autorów stropu zespolonego przedstawia tablica 3.

Tablica 3

Porównanie kosztów wykonania 1 m ² stropu		
Rodzaj nakładów	Zespolony strop drewniano- żelbetowy	Strop Ackermana na dźwigarach stalowych
Robocizna	395 tys. zł/m ²	395 tys. zł/m ²
Materiał	380 tys. zł/m ²	1.930 tys. zł/m ²
Sprzęt	98 tys. zł/m ²	164 tys. zł/m ²
Razem	873 tys. zł/m ²	2.434 tys. zł/m ²

W podanych wartościach nie uwzględniono kosztów robót rozbiórkowych, które w znacznym stopniu dodatkowo obciążają rozwiązanie z zastosowaniem stropu Ackermana.

5. PODSUMOWANIE

Połączenie belek drewnianych z płytą betonową w konstrukcji nośnej stropu pozwala na efektywne wykorzystanie cech wytrzymałościowych obu materiałów.

Strop zespolony z zastosowaniem łączników rurowych uzyskuje nośność około 3-krotnie większą w stosunku do nośności stropu drewnianego przed wzmocnieniem. Efekt ten może być bardzo przydatny przy modernizacjach istniejących obiektów, w których przewiduje się istotne zmiany w funkcji i obciążeniach budynku.

Zastosowanie łączników rurowych do zespolenia belek drewnianych z płytą żelbetową zwiększa na tyle sztywność stropu, że spełnienie stanu granicznego ugięć nie stanowi problemu.

Do przenoszenia dużych sił ścinających potrzebna jest niewielka liczba łączników rurowych. Przeniesienie sił ścinających podobnego rzędu wielkości jest technicznie trudne do wykonania w przypadku zastosowania łączników w postaci gwoździ (tablica 4).

Tablica 4

Porównanie liczby łączników rurowych i gwoździ przy tej samej nośności			
Liczba łączników rurowych szt./m	Odpowiadająca liczba gwoździ szt./m		
	ϕ 4,5	ϕ 5	ϕ 5,5
2	69	59	50
3	103	88	74
4	137	117	99
5	171	147	123

Opisany sposób wzmocnienia istniejących stropów drewnianych okazał się łatwy w wykonaniu i mało pracochłonny. Uzyskane efekty ekonomiczne są tak znaczne, że powinny być brane pod uwagę przez inwestorów i projektantów.

LITERATURA

- [1] Godycki-Ćwirko T., Kleszczewski J. Pawlica J.: Zespolony strop drewniano-żelbetowy. Inżynieria i Budownictwo, nr 8-9, 1982.
- [2] Metoda wzmacniania stropów drewnianych przez zespolenie belek z płytą żelbetową. Świadectwo dopuszczenia do stosowania w budownictwie nr 475/83, ITB, Warszawa 1984.
- [3] Malczyk A., Właszczuk M., Nowe rozwiązanie konstrukcyjne zespolonych stropów drewniano-żelbetowych. Badania i realizacje. IV Konferencja Naukowo-Techniczna

"Nowe rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne w budownictwie betonowym", Szklarska Poręba - Wrocław 1994.

- [4] Malczyk A., Właszczuk M.: Badania modelowe zespolonych stropów drewniano-żelbetowych z łącznikami rurowymi. XL Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1994, tom 6.
- [5] 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

Wpłynęło do Redakcji 2.05.1995r.

Abstract

In XVIII century castle of Rybnik the reinforcement of old floors has been realised. During the recent expertise timber beams of floors have been in very good condition. On the base of old beams, combined timber - reinforced concrete floors have been executed in 1993-94. Segments of pipe as connectors between timber beams and r.c. slabs have been used.

For estimation of load capacity of one connector and evaluation of stiffness of connection, model tests have been executed. Also, tests on the models of floor in natural scale, under static breaking load and dynamical pulsating load, have been completed.

Many positive aspects of the presented solution have been shown in articles [3 ÷ 5]. For example: load capacity of combined floors has been 3 times greater than simple timber floors; costs of realisation of combined floors on the base of old timber beams have been almost 3 times smaller than costs of replacement of all elements and execution of new floors with steel beams. Process of realisation of combined floors in old castle has been very simple and quick.