

dr inż. Tomasz Nowak\*

dr inż. Zygmunt Matkowski\*

# Analiza stanu konstrukcji słupowo-ryglowej w budynku gospodarczym adaptowanym na cele mieszkalne

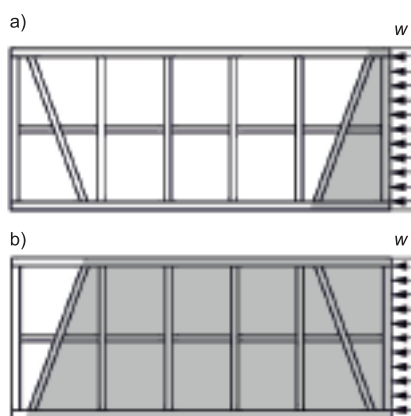
*An analysis of the condition of a timber framing structure in an adapted for residential purposes utility building under renovation*

System słupowo-ryglowy nazywany również – w zależności od rodzaju materiału wypełniającego pola międzyryglowe (tzw. facy) – ryglowym, szachulcowym lub murem pruskim wykształcił się i rozwinął głównie w krajach niemieckojęzycznych, Anglii i Francji. W Polsce drewniane budownictwo szkieletowe było popularne przede wszystkim na Pomorzu, Warmii, Mazurach i na Śląsku [12]. Na ściany słupowo-ryglowe zużywa się znacznie mniej drewna niż na rozpowszechnione w Polsce ściany wieńcowe, ponieważ pola między słupami i ryglami wypełniano m.in. nieregularnymi bryłami z mieszaniny gliny z sieżką oraz poziomymi drążkami owiniętymi zaglinioną słomą (mur pruski) [3, 9, 12].

Konstrukcja słupowo-ryglowa jest ustrojem szkieletowym złożonym z rytmicznie rozmieszczonych słupów osadzonych dołem w podwalinie, górą spiętych oczepem, połączonych jednym lub dwoma poziomami rygli, z przynaróżnymi zastrzałami [13]. W ścianach o dużej długości zastrzały umieszcza się również mniej więcej w połowie ich długości [5]. Zastrzał należy ustawiać z pochylem na zewnątrz, ponieważ przejmuje on parcie wiatru i jest ściskany. Ustawiony w kierunku przeciwnym byłby rozciągany, co utrudniałoby wykonanie połączeń [8], a ponadto wtedy siły poziome od wiatru obciążałyby całą ścianę [7]. Na rysunku 1 przedstawiono schematy przekazywania sił poziomych od wiatru na ścianę (zaszarzone powierzchnie) w zależności od usytuowania zastrzałów [7]. W przypadku pochylenia ich na zewnątrz, w kierunku słupa narożnego, belki oczepu nie są narażone na działanie

sił osiowych. Jest to istotne w przypadku dłuższych ścian, w których oczep składa się z belek łączonych za pomocą złączy wzdlużnych, w których wskutek zsuchania się drewna i niedokładnego ich spasowania mogą powstać przemieszczenia [5]. Przy konstruowaniu tego typu ścian nie ma potrzeby uwzględniania, jak w przypadku konstrukcji wieńcowych, tzw. zlegu [5]. Ponadto konstrukcja ryglowa pozwala na umieszczenie, bez osłabiania całego ustroju, większej liczby otworów.

Do dziś, dzięki właściwej konserwacji zachowały się w Niemczech domy o konstrukcji słupowo-ryglowej z początków XIV wieku [12]. Na Dolnym Śląsku najbardziej spektakularnymi przykładami obiektów drewnianych o konstrukcji szkieletowej są, wzniesione w połowie XVII wieku, Kościoły Pokoju w Świdnicy i w Jaworze wpisane w 2001 r. na Listę Światowego Dziedzictwa Kulturowego i Naturalnego UNESCO [3]. W artykule pokażemy przykład niewłaściwie zrealizowanej przebudowy jednego z budynków o konstrukcji słupowo-ryglowej, które zachowały się na Śląsku.



Rys. 1. Schemat obciążenia ściany w zależności od usytuowania zastrzałów

## Opis konstrukcji i stanu technicznego budynku

Obiekt, zlokalizowany w okolicach Lwówka Śląskiego na Dolnym Śląsku, jest byłym budynkiem gospodarczym zaadaptowanym obecnie na cele mieszkalne. Jest to budynek niepodpiwniczony, jednopiętrowy z poddaszem użytkowym o rzucie zbliżonym do prostokąta o wymiarach 9,0 × 19,3 m. Dodatkowo od strony zachodniej zlokalizowana jest przybudówka w poziomie parteru, stanowiąca jednocześnie taras na pierwszym piętrze o wymiarach ~3,0 × 7,7 m.

Ściany parteru są murowane z kamienia (warstwa licowa) oraz cegły ceramicznej (warstwa wewnętrzna). Fundamenty zostały wykonane bez odsadzek na szerokość istniejących ścian. Pokrycie dwuspadowego dachu, o nachyleniu połaci 50°, stanowi dachówka ceramiczna karpieńska układana w koronkę. Konstrukcja dachu jest drewniana, o więzarach jętkowych z dwoma płatwiami. Ściany pierwszego piętra wykonane są w konstrukcji szkieletowej (słupowo-ryglowej) podobnie jak oszalowane ściany szczytowe poddasza.

Ściana szkieletowa pierwszego piętra składa się z konstrukcji nośnej w postaci słupów, rygli, podwalin, oczepów, zastrzałów, mieczy z drewna litego (fotografia 1). Sztywność podłużna ścian w ścianie zachodniej zapewniona jest przez zastosowanie zastrzałów, zaś w pozostałych ścianach przez miecze. Część nośnych elementów ścian została wymieniona na nowe (fotografia 1, 2). Większość starych (pierwotnych) elementów konstrukcji ścian jest spękanych podłużnie (fotografia 2). Przyczyną powstania tych spękań był skurcz starzenia i wilgotnościowy drewna. Silne spękania elementów drewnianych obniżają ich nośność na zginanie i ściskanie.

\* Politechnika Wroclawska



Fot. 1. Ściany pierwszego piętra, widok od strony północno-wschodniej



Fot. 2. Ucięty fragment zastrzału. Słup po prawej stronie niewłaściwie oparty na nowej podwalinie za pomocą drewnianej podkładki

Sztywność przestrzenna układu słupowo-ryglowego zapewniona jest przez zastosowanie w ścianach zastrzałów lub mieczy, tworzących nieodkształcalne pola trójkątne. Na fotografii 2 przedstawiono jeden z wyciętych zastrzałów. Ponadto zmieniony został układ wewnętrznych ścian szkieletowych, które wspomagały sztywność poprzeczną budynku. Jest to o tyle istotne, że zmieniony został sposób użytkowania poddasza (kondygnacji nad pierwszym piętrzem), a tym samym zwiększone obciążenia działające na ściany pierwszego piętra.

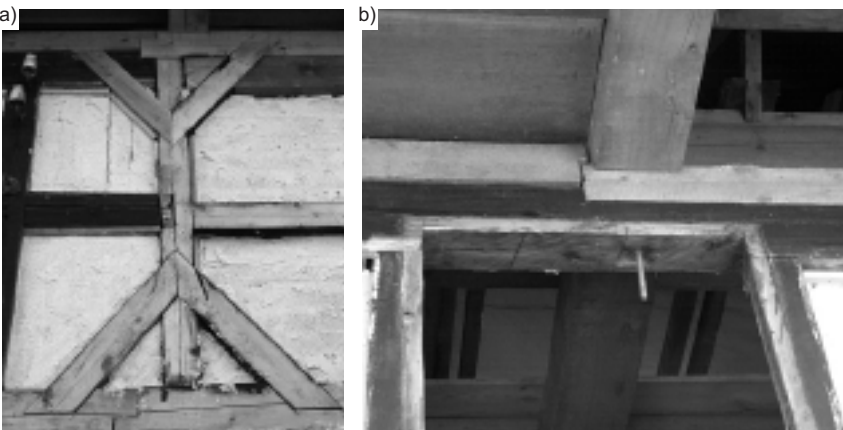
Stare, pozostawione elementy drewniane konstrukcji ścian nie zostały, przed ich impregnacją, oczyszczone do zdrowego drewna. W wielu miejscach elementy nośne konstrukcji są głęboko skorodowane oraz nienależycie oczyszczone z pozostałości, m.in. po tynku i dlatego wykonana impregnacja elementów nieoczyszczonych jest nieskuteczna. W starych elementach są połączenia cieślińskie z użyciem kołków drewnianych. W wielu z nich występują luzy pomiędzy elementami, brakuje części kołków lub są skorodowane. Natomiast połączenia nowych elementów wykonane zostały na gwoździe. Część nowych połączeń wykonano przy użyciu jednego gwoździa i dodatkowo niewłaściwie spasowano (fotografia 3). W węzłach nie została odtworzona pierwotna geometria elementów, np. dolny miecz, dlatego też elementy nie spełniają roli konstrukcyjnej (nie są w stanie przenosić sił rozciągają-



Fot. 3. Niewłaściwie wykonane połączenie starych i nowych elementów ściany

cych). Na fotografii 4 widoczny jest brak jakiegokolwiek połączenia rygla ze słupem. Inny jest również przekrój rygli (starego i nowego) po dwóch stronach słupa. Nowe połączenia wzdłużne oczepów, na nakładkę prostą, zostały wykonane nieprawidłowo. Zakłady są zbyt małe, wg informacji zawartych w literaturze przedmiotu nie powinny być one mniejsze niż 1,5 – 2 wysokości elementu [5, 8]. Ponadto wykonane nad oknem połączenie tego typu, nieprzenoszące momentu zginającego (fotografia 4b), jest niewłaściwe.

Belki stropowe nad pierwszym piętrzem, których oparcie stanowią opisywane ściany o konstrukcji słupowo-ryglowej, zostały wzmocnione za pomocą bocznych nakładek drewnianych z zastosowaniem jednego gwoździa na każdym z końców belek. Tak wykonstruowane połączenie sprawia, że zastosowane nakładki nie stanowią żadnego wzmocnienia skorodowanych belek, a ponadto nie pełnią roli elementów ściągających (przeciwdziałających rozporowi). Niektóre nowe elementy drewniane zostały nieokorowane, co sprzyja zwiększeniu liczby gatunków owadów niszczących drewno, dlatego niedopuszczalne jest jego zastosowanie jako drewna konstrukcyjnego [6].



Fot. 4. Niewłaściwie wykonane połączenia elementów ściany

Przebudowywany budynek powinien pod względem izolacji cieplnej spełniać wymagania zgodne z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Współczynnik przenikania ciepła  $U$  obliczono wg PN-EN ISO 6946:2008 (tabela). Współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej  $U = 0,42 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Jest więc wyższy od maksymalnej dopuszczalnej wartości  $U_{(\text{max})} = 0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  i tym samym nie spełnia wymagania, przy  $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ , zgodnie z wspomnianym rozporządzeniem. W obliczeniach nie uwzględniono występujących mostków cieplnych w postaci drewnianych elementów konstrukcyjnych (słupów, rygli, oczepów), co spowoduje podwyższenie wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$ . Pomimo tego, że obliczenia minimalnego czynnika temperaturowego i możliwości kondensacji wewnątrz przegrody nie wykazały nieprawidłowości w zaprojektowanej i wykonanej przegrodzie, to ze względu na zbyt dużą wartość współczynnika  $U$  oraz występujące mostki termiczne przegrodę należy zaprojektować i wykonać na nowo.

#### Współczynniki przewodności cieplnej poszczególnych warstw ściany

Warstwa ściany zewnętrznej	Grubość $d$ [m]	Współczynnik przewodności cieplnej $\lambda$ [W/mK]
Szpachlówka mineralna	0,005	0,83
Tynk termoizolacyjny + warstwa szczepna	0,075	0,07
Deski drewniane grubości 10 mm	0,01	0,16
Tynk termoizolacyjny + warstwa szczepna	0,075	0,07
Szpachlówka mineralna	0,005	0,83

## Badanie stanu drewna

Badania wilgotności elementów drewnianych (słupy, oczepy, zastrzały), przeprowadzone metodą bazującą na pomiarach rezystancyjnych, z użyciem wilgotnościomierza, wykazały wilgotność 15–23%. Wilgotność 23% jest to norma graniczna wartość wg PN-B-03150:2000 oraz PN-EN 1995-1-1:2010 w przypadku konstrukcji pracujących na otwartym powietrzu. Została ona przekroczona tylko w jednym punkcie pomiarowym, spośród losowo wybranych. Można przyjąć, że ze względu na to, że obecnie budynek nie jest zamknięty (m. in. brak okien), warunki normy zostanie spełnione. Uwzględniając wyniki pomiarów oraz brak występowania dodatkowych źródeł zawilgocenia, należy stwierdzić, iż obecnie drewno znajduje się w stanie równowagi higroskopijnej.

W celu oceny jakości drewna, ze względu na brak możliwości pobrania próbek do badań materiałowych, przeprowadzono badania rezystograficzne. Rezystograf mierzy opór wiertła średnicy 1,5–3 mm na jego końcu i długości do ok. 500 mm obracającego się ze stałą prędkością ok. 1500 obrotów/min, ujawniając kolejne przyrosty roczne oraz zmiany gęstości drewna powodowane m.in. destrukcją biologiczną [11]. Średnica otworu po wykonanym badaniu jest nie większa niż otwory wylotowe szkodników drewna (ok. 3 mm) [10]. Z tego względu metodę można uznać za quasi-nieniszczącą. Rezultaty uzyskiwane za pomocą rezystografu pozwalają na ocenę zasięgu ewentualnej destrukcji oraz jedynie wstępną ocenę jego wytrzymałości, tzn. można określić, że badane drewno wykazuje podwyższone, średnie bądź obniżone parametry wytrzymałościowe. Ta technika jest bardzo efektywna w badaniu drewnianych konstrukcji historycznych [4]. Urządzenie może być również, z pewnymi ograniczeniami, wykorzystywane do oceny wieku drewna.

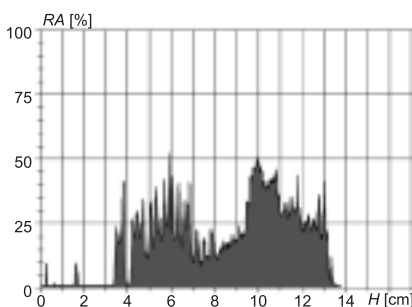
Obecnie prowadzone są próby szacowania gęstości, modułu sprężystości oraz parametrów wytrzymałościowych drewna z wykorzystaniem wyników uzyskiwanych z badań rezystograficznych. Ocena parametrów drewna przez korelację wartości średniego oporu wiercenia ( $RM$  – Resistance Measure) przedstawiona jest m.in. w [1, 2].

$$RM = \frac{\int_0^H RA \cdot dh}{H} \quad (1)$$

gdzie:

$RA$  – opór wiercenia (relative resistance);  
 $H$  – głębokość wiercenia.

Parametry drewna szacowane na podstawie wartości  $RM$  należy jednak traktować jako orientacyjne. Pomiar rezystograficzny (rysunek 2), w kilkudziesięciu punktach pomiarowych, wykazały powierzchniową destrukcję większości elementów konstrukcji ścian. Elementy te były skorodowane nawet na głębokość 3,3 cm. Zaobserwowane na niektórych wykresach miejscowe obniżenie parametrów wytrzymałościowych w środku przekroju jest skutkiem występowania podłużnych spękań drewna, a nie jego korozji.



Rys. 2. Wykres z badań rezystograficznych

Przeprowadzone, wg PN-EN 1995-1-1:2010, obliczenia statyczne wykazały prawie dwukrotną redukcję nośności istniejącego słupa ( $l_c = 2,0$  m;  $b \times h = 13,2 \times 13,0$  cm) wskutek osłabienia jego przekroju na głębokość 3,3 cm.

## Podsumowanie

Omówiony przypadek wykonanej przebudowy jest przykładem braku poszanowania miejscowej tradycji, sztuki dawnych budowniczych, ale przede wszystkim wyrazem braku zrozumienia pracy statycznej tego typu konstrukcji. W artykule zaprezentowano jedynie wybrane stwierdzone nieprawidłowości.

Zastosowaną metodę badań rezystograficznych do oceny jakości drewna należy traktować jako jakościową, a nie ilościową. Potrzebne są dalsze badania, których efektem staną się krzywe korelacyjne oporów wiercenia z parametrami drewna – gęstością, modułem sprężystości, wytrzymałością. Żadna z obecnie znanych i stosowanych metod nieniszczących do oceny stanu elementów konstrukcji drewnianych nie pozwala na jednoznaczne oszacowanie cech wytrzymałościowych drewna. Nie jest to możliwe nawet przy użyciu metody X-ray, która umożliwia stosunkowo dokładny pomiar gęstości drewna, ze względu na charakterystykę samego

materiału (jego budowę) – występujące inkluzje, skręt i nierównomierny przebieg włókien.

Wszystkie fotografie: T. Nowak

## Abstract

The article presents a case of an incorrectly performed timber framing structure alteration. The mistakes made during the process of the building renovation have been displayed. The post-and-beam structure has been analysed. Moreover, the results of the resistographic tests evaluating the timber quality have been shown. The resistographic method used for that reason is of a qualitative rather than quantitative type.

## Literatura

- [1] Acuña L. i in.: Application of resistograph to obtain the density and to differentiate wood species. *Materiales de Construcción* nr 61 (303)/2011, 451–464.
- [2] Calderoni B., De Matteis G., Giubileo C., Mazzolani F. M.: Experimental correlations between destructive and non-destructive tests on ancient timber elements. *Engineering Structures*, nr 32 (2)/2010, 442–448.
- [3] Jasieńko J.: Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmacnianiu drewnianych konstrukcji zabytkowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003.
- [4] Jasieńko J., Nowak T. P., Bednarz Ł.: The baroque structural ceiling over the Leopoldinum Auditorium in Wrocław University – tests, conservation and a strengthening concept. *International Journal of Architectural Heritage* 2012, DOI: 10.1080/15583058.2012.692848 (w druku).
- [5] Kópkowicz F.: Ciesielstwo polskie. Arkady, Warszawa 1958.
- [6] Krajewski A.: Owady niszczące zabytki drewniane. *Ochrona Zabytków* nr 1-2/2003, 202–209.
- [7] Krämer F.: Grundwissen des Zimmerers: Fachstoff für Zimmerleute. Bruderverlag, Karlsruhe 2006.
- [8] Lenkiewicz W., Zdziarska-Wis I.: Ciesielstwo. WSiP, Warszawa 1989.
- [9] Puszet L.: Studia nad polskim budownictwem drewnianym. Cz. 1, chata. Akademia Umiejętności, Kraków 1903.
- [10] Rinn F.: Basics of micro-resistance drilling for timber inspection. *Holztechnologie* nr 53 (3)/2012, 24–29.
- [11] Rinn F.: Chancen und Grenzen bei der Untersuchung von Konstruktionsholzern mit der Bohrwiderstandsmethode. *Bauen mit Holz* nr 9/1992, 745–748.
- [12] Suchodolski J.: Regionalizm w kształtowaniu formy architektury współczesnej na obszarze Sudetów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996.
- [13] Witek M., Witek W.: Tradycyjne (ryglowe) budownictwo wiejskie w gminie Sianów. W: Historia i kultura Ziemi Sławieńskiej. Tom VIII / Gmina i miasto Sianów. Praca zbiorowa W. Rączkowski, J. Sroka (red.). Fundacja Dziedzictwo, Sianów-Sławno 2009, 269–296.