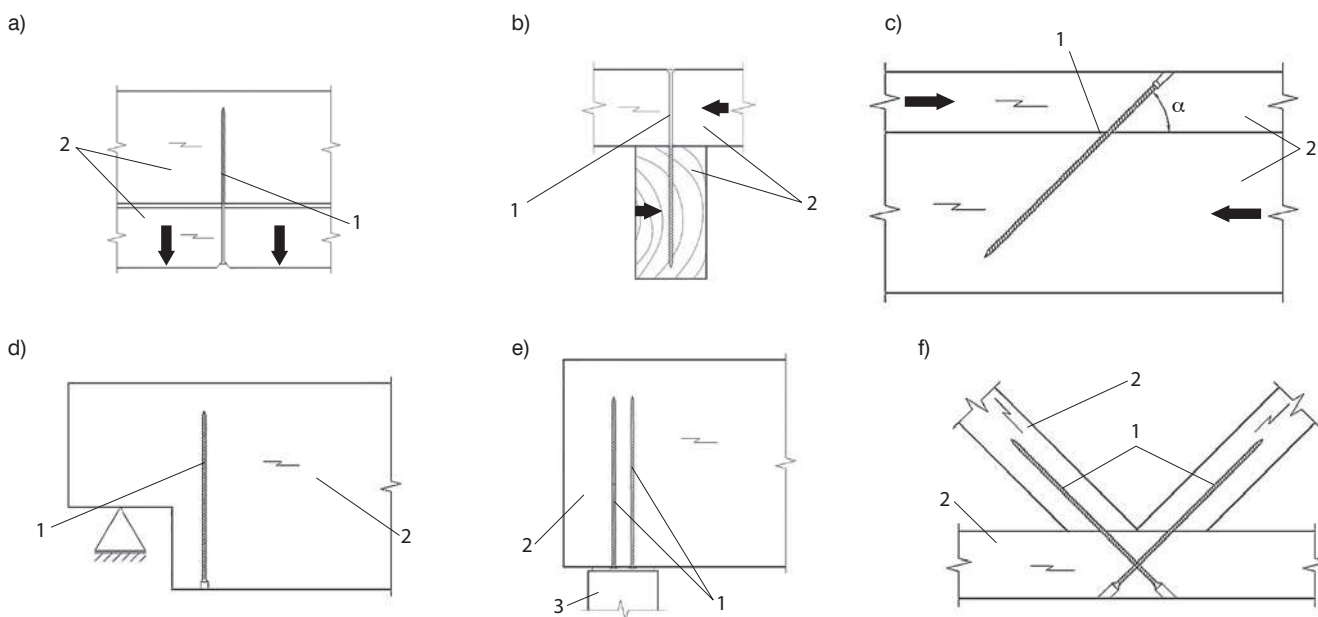


# Stan naprężeń złącz elementów drewnianych za pomocą wkrętów stalowych

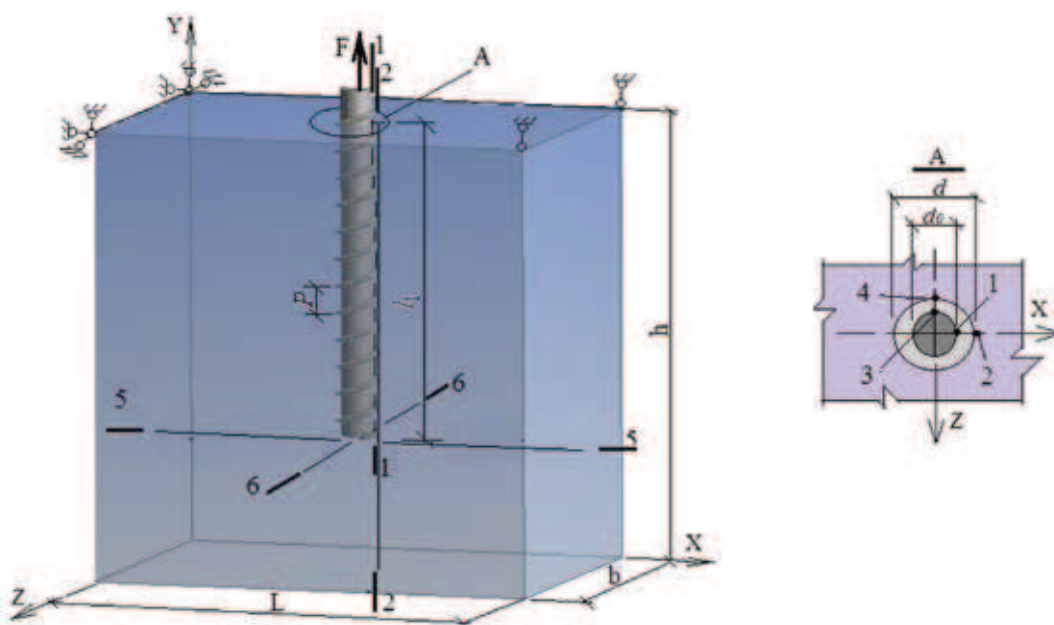
Prof. dr hab. inż. Jewgienij Serov, Państwowy Uniwersytet Architektury i Budownictwa w Sankt Petersburgu, dr hab. inż. Anatolij Najczuk, Naukowo-Badawczy Instytut Budownictwa (Białoruś), dr inż. Zofia Gil, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

W praktyce budowlanej w konstrukcjach drewnianych powszechnie używane są złącza z użyciem wkrętów stalowych, wkręcanych pod dowolnym kątem do włókien. Wkręty te mogą pracować na ściskanie, rozciąganie lub ścinanie (rys. 1). Stosowaniu wkrętów w złączach konstrukcji drewnianych towarzyszy doskonalenie ich kształtu, rozmiarów, technologii montażu, metod obliczeniowych [1–4]. Wkręty stosuje się zarówno przy projektowaniu nowych konstrukcji drewnianych, jak i przy ich wzmacnianiu po wieloletniej eksploatacji. Przykładem może być wzmacnienie stropów drewnianych poprzez wykonanie monolitycznej płyty żelbetowej, gdzie wkręty są używane jako elementy kotwiące. Wzmacnianie podciętych stref podporowych belek z drewna litego ma na celu zmniejszenie wpływu występującej

koncentracji naprężeń rozciągających. Najwyższą skuteczność osiąga się, gdy wkręty pracują na osiowe rozciąganie lub ściskanie. Biorąc pod uwagę stan naprężeń w strefach podporowych belek, gdzie naprężenia główne rozciągające  $\sigma_1$  działają pod kątem  $45^\circ$  do osi belek, najbardziej racjonalnym jest usytuowanie wkrętów pod tym kątem. Świadczą o tym także wyniki badań eksperymentalnych klejonych konstrukcji drewnianych oraz ich zachowanie się podczas eksploatacji, gdyż spękania w strefach przypodporowych często występują poza obszarem działania maksymalnych naprężeń stycznych  $\tau$ . Warto nadmienić, że przy złożonym stanie naprężeń w strefach przypodporowych główne naprężenia rozciągające  $\sigma_1$  są najbardziej niebezpieczne. Projektowanie połączeń na wkręty powinno być zgodne



**Rys. 1.** Schematy złącz i wzmacnienia elementów konstrukcji drewnianych przy użyciu wkrętów: a) elementy mocowane do sufitu, b) mocowanie elementów systemu dachowego, c) złącza drewnianych elementów przy ścinaniu, d) drewniane belki z podcięciem na podporze, e) wzmacnienie stref przypodporowych drewnianych belek, f) połączenie drewnianych elementów kratownicy (1 – wkręty, 2 – element drewniany, 3 – podpora)



Rys. 2. Model obliczeniowy złącza wkręta z elementem drewnianym 1–6 przekroje w których określono naprężenia

z wymogami norm [5], wg których nośność pracującego na rozciąganie wkręta przyjmuje się jako wartość minimalną ze względu na:

- wytrzymałość materiału wkręta na rozciąganie;
- wytrzymałość wkręta na wrywanie z drewna;
- wytrzymałość drewna na docisk pod łebkiem wkręta lub podkładką.

Nośność wkręta pracującego na ściskanie określa się z następujących warunków:

- wytrzymałości materiału wkręta;
- wytrzymałości na wgniatanie pręta w drewno;
- wytrzymałość ze względu na utratę stateczności wkręta w drewnie.

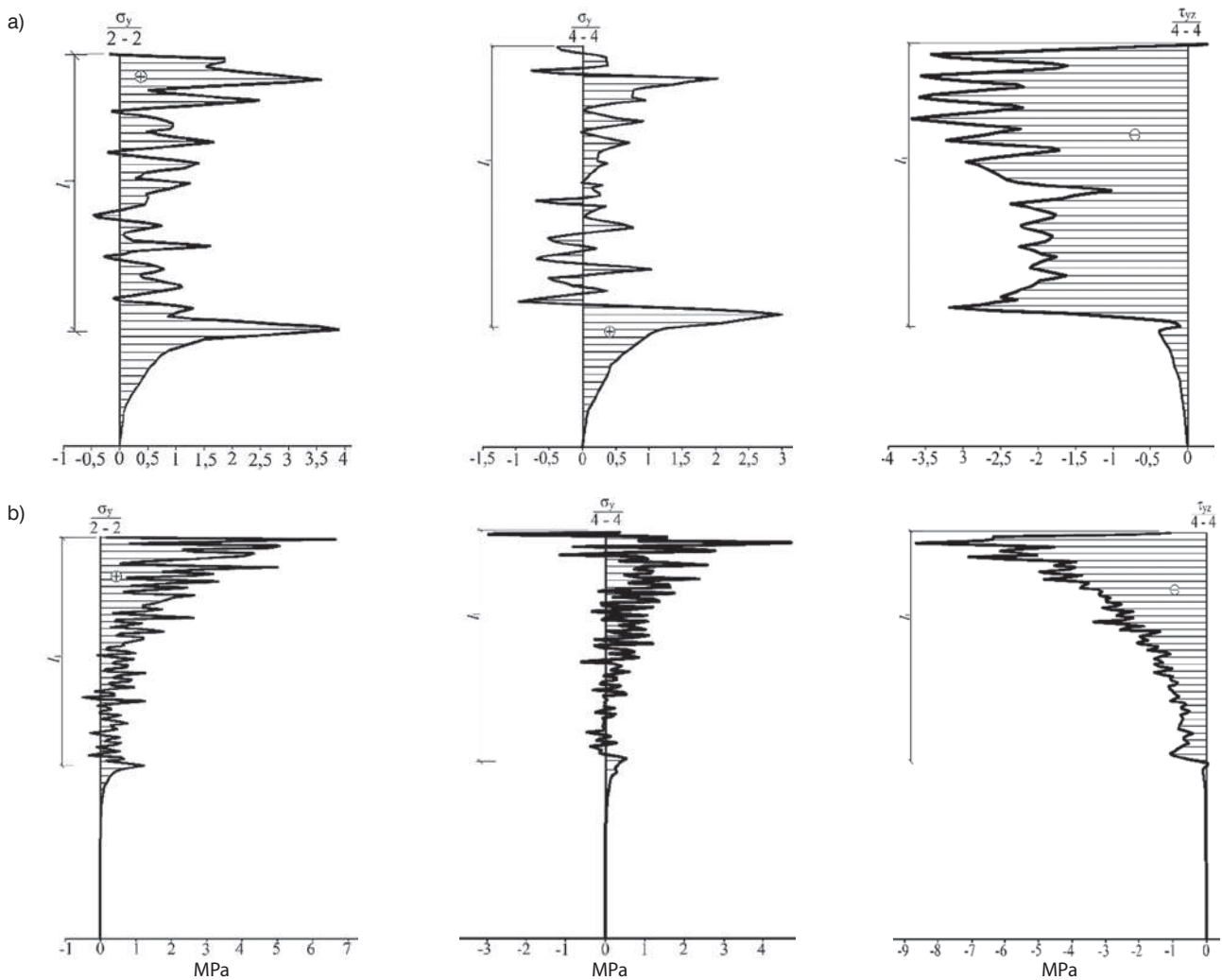
Metoda obliczania przedmiotowych złączy [5] ma wiele ograniczeń dotyczących średnicy wkrętów, stosunku wewnętrznej średnicy gwintu do zewnętrznej oraz stanu naprężeń panującego w strefie złącza. W celu określenia stanu naprężeń drewna w obrębie wkręta pracującego na wrywanie w poprzek włókien autorzy wykonali badania numeryczne metodą elementów skończonych. Model obliczeniowy złącza uwzględniał naruszenie kontaktu między gwintem wkręta a drewnem (rys. 2).

Drewno rozpatrywano jako materiał anizotropowy z następującymi wartościami cech odkształcalności [6]: modułów sprężystości  $E_x = 16660 \text{ MPa}$ ,  $E_y = 1124 \text{ MPa}$ ,  $E_z = 629 \text{ MPa}$ , modułów postaciowych  $G_{xy} = 1180 \text{ MPa}$ ,  $G_{xz} = 690 \text{ MPa}$ ,  $G_{yz} = 670 \text{ MPa}$ , współczynników Poissona  $\nu_{yx} = 0,038$ ,  $\nu_{xz} = 0,51$ ,  $\nu_{zy} = 0,31$  (x – kierunek włókien drewna, y – kierunek promieni słoje rocznych, z – kierunek styczny do słoje rocznych). Materiał wkręta

rozpatrywano jako izotropowy z cechami sprężystości jak dla stali. Współczynnik tarcia między drewnem a gwintem wkręta przyjmowano jako zerowy.

Średnicę pilotowego otworu  $d_0$  w drewnianym elemencie przyjmowano równą wewnętrznej średnicy gwintu  $d_1$ . W związku z tym w obliczeniach naprężenia występujące w drewnie podczas wkręcania wkręta nie są brane pod uwagę. Wielkość siły  $F$  (N) wrywającej wkręt określano jako  $F = 3 \cdot \pi \cdot d \cdot l_1$ , gdzie  $d$  – średnica zewnętrzna gwintu;  $l_1$  – długość zakotwienia wkręta. W toku obliczeń określano wartości wszystkich składników naprężeń w obszarach drewna usytuowanych na wewnętrznej (linie 1 i 3) i zewnętrznej (linie 2 i 4 na rys. 2) granicy gwintu. Wybrane wyniki podano na rysunku 3.

W wyniku badań stwierdzono, że w drewnie w obrębie wkręta panuje złożony stan naprężeń z ich koncentracją na uskokach gwintu. Warto nadmienić, że ze wzrostem głębokości zakotwienia wkręta nierównomierność rozkładu naprężeń wzdłuż jego długości wzrasta. Szczególnie niebezpieczny stan naprężeń występuje w partiach drewna usytuowanych na końcach kotwienia wkrętów, gdzie dominują rozciągające naprężenia  $\sigma_y$  w poprzek włókien drewna (rys. 3a). Przy zmniejszaniu stosunku  $l_1/h$  zwiększa się wartość naprężeń rozciągających  $\sigma_y$ . Na przykład, dla  $d = 11 \text{ mm}$  i  $l_1/h = 0,57$  maksymalna wartość tych naprężeń wynosi  $\sigma_{y, \max} = 4 \text{ MPa}$  natomiast dla  $l_1/h = 0,7$   $d$ ,  $\sigma_{y, \max} = 1,8 \text{ MPa}$ . Biorąc pod uwagę bardzo małą wytrzymałość drewna na rozciąganie w poprzek włókien, powstanie naprężeń rozciągających  $\sigma_y$  na końcach wkrętów może doprowadzić do



**Rys. 3.** Rozkład naprężeń  $\sigma_y$  i  $\tau_{yz}$  w drewnie (MPa) w przekrojach 2 i 4 zgodnie z rysunkiem 2 dla  $d = 11$  mm,  $b = 140$  mm,  $h = 310$  mm i  $L = 300$  mm: a) – przy głębokości zakotwienia  $l_1 = 7d$ , b) – przy głębokości zakotwienia  $l_1 = 17d$

powstawania pęknięć drewna w tej strefie, a co za tym idzie utraty nośności złącza.

W związku z tym przy określaniu nośności złącza konstrukcji drewnianych za pomocą pracujących na wrywanie w poprzek włókien wkrętów powinny być brane pod uwagę nie tylko wymagania normy [5], a także wymóg (1):

$$\sigma_{y, \max} \leq f_{t, 90, d} \quad (1)$$

gdzie

$f_{t, 90, d}$  – wartość obliczeniowa wytrzymałości drewna na rozciąganie w poprzek włókien.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski. Drewno w obszarze wkrętów pracuje w złożonym objętościowym niejednorodnym stanie naprężeń. Nośność złącza wkręta z drewnem przy jego wrywaniu w poprzek włókien należy określać jako minimalną wartość z następujących warunków: wytrzymałości na rozciąganie stali wkręta, wytrzymałości

na wrywanie i wytrzymałości drewna na rozciąganie w poprzek włókien w strefie końcowej wkręta. Przy projektowaniu połączeń na wkręty pracujących na wrywanie i usytuowanych pod kątem do włókien długość ich zakotwienia nie powinna być mniejsza niż 2/3 wysokości przekroju drewnianego elementu. W przeciwnym razie należy sprawdzić warunek (1).

**BIBLIOGRAFIA**

[1] Porteous J., Kermani A., Structural Timber Design to Eurocode 5. – Blackwell Publishing, 2007, str. 542  
 [2] www.rothoblaas.com  
 [3] Blass H.J.; Enders-Comberg, M., Fachwerkträger für den industriellen Holzbau. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau – Band 22, Universitätsverlag Karlsruhe, 2012  
 [4] Gil Z., Rozprawa doktorska. Analiza możliwości zastosowania prętów spiralnych do napraw konstrukcji drewnianych, Szczecin 2007  
 [5] PN-EN 1995-1-1:2005 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych Część 1-1: Postanowienia ogólne, reguły ogólne i reguły dotyczące budynków  
 [6] Aszkienazi E.K., Ganow E.W., Anizotropia materiałów konstrukcyjnych. Poradnik. Petersburg, 1980