

## BADANIE POŁĄCZEŃ O WYBRANYCH ZŁĄCZACH OBCIĄŻANYCH ZMĘCZENIOWO

Stanisław Dziegielewski

Katedra Meblarstwa AR w Poznaniu

Badaniom zmęczeniowym poddaje się materiały i konstrukcje, które bywają narażane na pracę w trudnych warunkach, spowodowanych dużymi obciążeniami i wibracją wysokich obrotów itp. Buch [2] ocenił, iż 80% wszystkich zniszczeń powstałych podczas pracy konstrukcji ma charakter zmęczeniowy. Od tego też czasu ten kierunek badań był intensywnie rozwijany. Miały one na celu ograniczenie lub nawet eliminowanie wpływu zmęczenia przez stosowanie bądź to odpowiednich materiałów, czy też zmianę wymiarów elementów narażonych na obciążenia zmienne. Badania te rozszerzono w późniejszym okresie także na drewno. Chodziło tu głównie o ocenę drewna narażonego na tego rodzaju obciążenia używanego na konstrukcje lotnicze: Siemiński [11], Meus i Szuster [7].

Wytrzymałość zmęczeniową według Krzysika [6], Orłosa i Dyląga [9] określa się w zasadzie graniczną liczbą cykli, którą to przy odpowiednim poziomie obciążeń (na-prężień) może przenieść badany materiał lub obiekt, bez widocznego zniszczenia. W dostępnej literaturze fachowej widoczna jest dążność do opracowania metody, za pomocą której w sposób możliwie prosty i krótkotrwały dałoby się określić wytrzymałość zmęczeniową badanej konstrukcji. Stąd też wydaje się konieczne znalezienie i ewentualne ustalenie związków między wytrzymałością zmęczeniową danego materiału a wytrzymałością statyczną-doraźną, która to metoda jak wiadomo nie nastrocza właściwie większych trudności metodycznych w realizacji.

Dotychczasowe badania nad ustaleniem takich zależności dostarczyły wiele cennych informacji. Buch [1, 2] na przykład zaproponował metodę opartą na rachunku korelacyjnym umożliwiającym określenie zależności między wytrzymałością statyczną a zmęczeniową dla kilku rodzajów stali konstrukcyjnych. Zależności te opisał równaniem:

$$Z_g = 0,432 R_T + 0,224 \quad (1)$$

Mając do dyspozycji przedstawione równanie i wytrzymałość doraźną ( $R_T$ ), ustalenie wytrzymałości zmęczeniowej ( $Z_g$ ) dla żądanej stali nie następuje trudności.

Podobną metodę zaproponował Siemiński [11] dla określenia tej samej zależności dla sosny pospolitej. W pracy tej ograniczono się tylko do wykreślenia prostych, bez podania równania regresji opisującego tę zależność. Chcąc więc znaleźć wartość wytrzymałości zmęczeniowej dla danego drewna znając wytrzymałość statyczną należy zastosować dodatkowo metodę ekstrapolacji prostej. Oprócz wykreślenia krzywych autor ten określił też zależności między wytrzymałością na zmęczenie a wytrzymałością na ściskanie i zginanie dla drewna sosny, które wynoszą:

$$\frac{Z_g}{R_C} = 0,71 \pm 0,78 \quad - \quad \text{przy ścisaniu}, \quad (2)$$

$$\frac{Z_g}{R_g} = 0,39 \pm 0,45 \quad - \quad \text{przy zginaniu}. \quad (3)$$

Uwagę zwracają również badania Kaliny [5] i Iwanowa [4] nad zależnością między wytrzymałością zmęczeniową i doraźną. Kalina [5] zaproponował określenie wytrzymałości zmęczeniowej metodami nieniszczącymi opierając się na obserwacji belki drewnianej bezpiecznie obciążanej. Autor ten zakłada, iż podczas obciążania belki drewnianej istnieje taki punkt ( $p$ ), w którym zaczyna się proces intensywnego odkształcania. Zatem obciążenie działające w punkcie ( $p$ ) proponuje się przyjąć jako wytrzymałość zmęczeniową. Liczne badania tego autora pozwoliły mu na ustalenie zależności:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{P_1}{P_2}, \quad (4)$$

w której:

$y_1$  - ugięcie belki po 100 h,

$y_2$  - ugięcie belki po 1 roku.

Wartość  $y_2$  można ustalić doświadczalnie lub przez ekstrapolację prostej:

$$y = a + b \cdot \lg t. \quad (5)$$

W celu wyznaczenia wytrzymałości zmęczeniowej ( $P_1$ ) wystarczy wyznaczenie stosunku ugięć:  $y_2/y_1$ , co nie następuje większych trudności.

Iwanow [4] przedstawia natomiast nieco inny punkt widzenia w kwestii badań zmęczeniowych. Opiera on swoje założenia na powiązaniu wytrzymałości zmęczeniowej ciał stałych z ich strukturą molekularną. Związki te opisał równaniem przedstawiając czas ( $t$ ) aż do zerwania próbki, jako funkcję stałego naprężenia:

$$t = A \cdot e^{-\alpha \sigma}, \quad (6)$$

w którym:

$$A = a e^{bu_0}$$

$\alpha$ ,  $a$ ,  $e$  - stałe,

$u_0$  - chemiczna energia wiązania polimeru.

Równanie to sprawdzono z wynikami badań zmęczeniowych [4] i po przeprowadzeniu przekształceń uzyskano postać:

$$F_T = \frac{F_t}{B - C \cdot \lg t} \quad (7)$$

gdzie:

$F_t$  - siła niszcząca przy próbie krótkotrwałej,

$F_T$  - wytrzymałość zmęczeniowa,

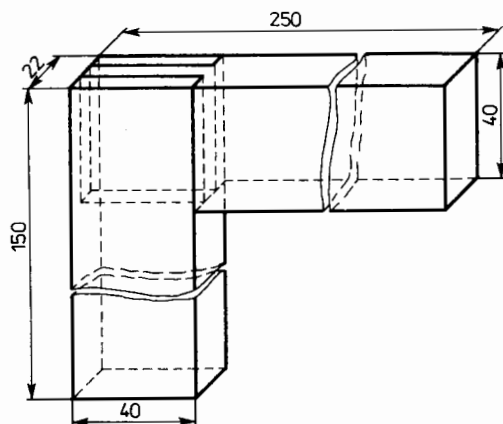
$B, C$  - współczynniki ustalone na podstawie czasu próby  $t$ .

Widać z tego, że znalezienie związków między wytrzymałością statyczną, doraźną a zmęczeniową danego materiału czy też obiektu jest możliwe. Zatem podstawowym celem niniejszej pracy jest próba znalezienia zależności między wytrzymałością połączeń meblowych o różnych typowych złączach obciążanych siłami statycznymi, doraźnymi i zmęczeniowymi.

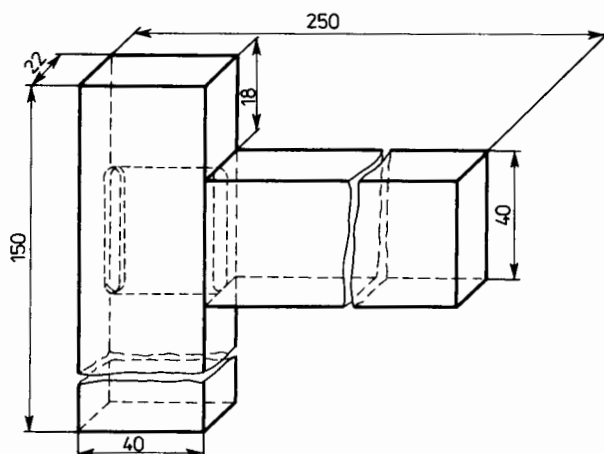
#### METODYKA I OPIS BADAŃ

Do badań postanowiono użyć drewna bukowego ze względu na jego wysokie właściwości mechaniczne i szerokie zastosowanie w produkcji mebli szkieletowych. Z materiału tego wykonano próbki w postaci naroży typowych dla szkieletowych konstrukcji z tego bowiem względu, że od nich w decydującym stopniu zależy trwałość i sztywność wyrobu. W związku z tym uznano za wysoce celowe użyć do badań takich złączy, jak: widlicowe proste (rys. 1), czopowe kryte (rys. 2), kołkowe (rys. 3) i zakładkowe proste (rys. 4). Przy doborze tych złączy kierowano się z kolei szerokim ich zastosowaniem w przemysłowej produkcji różnych wyrobów mebli o wspomnianej konstrukcji. Przy wykonywaniu powyższych złączy stosowano proces obróbczy, obowiązujący w przemyśle, stosując pasowanie lekko wciskane zgodnie z obowiązującymi wymaganiami w tym względzie. Do sklejenia złączy użyto kleju polioctanowinylnowego „Wikol”, który stanowi jeden z powszechnie stosowanych środków wiążących w przemyśle meblarskim, oraz dla porównania wyników badań użyto także kleju glutynowego.

Ze względu na to, że wyroby meblowe konstrukcji szkieletowej są narażone w czasie eksploatacji oprócz obciążeń statycznych także i na obciążenia zmienne - obciążenia zmęczeniowe, przeto w badaniach postanowiono zastosować obciążenia sta-

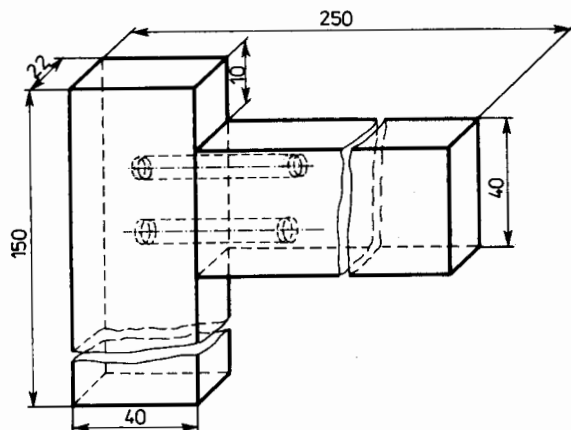


Rys. 1. Połączenie o złączu widlicowym

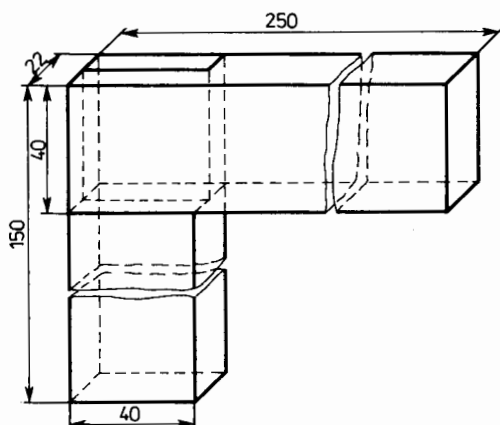


Rys. 2. Połączenie o złączu czopowym krytym

tyczne, doraźne i zmęczeniowe. Badania statyczne połączeń przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej typu „Instron”, stosując szybkość obciążenia średnio 5 mm/min, dokonując odczytów z wykresu sił niszczących w granicach sprężystości z dokładnością do jednego N, a odkształcenia z dokładnością do jednego mm. Badania zmęczeniowe natomiast wykonano przy użyciu urządzenia probierczego. W celu realizacji tych badań obliczono wytrzymałość statyczną analizowanych połączeń i przyjęto 3 poziomy naprężeń dla obciążeń zmęczeniowych 80, 60 i 40 wyrażając je w procentach wytrzymałości doraźnej. Badania zmęczeniowe wykonano stosując obciążenia z szybkością wynoszącą 25 cykli na minutę aż do całkowitego zniszczenia



Rys. 3. Połączenie o złączu kołkowym



Rys. 4. Połączenie o złączu zakładkowym prostym

próbki. Liczbę powtórzeń wyliczono statystycznie biorąc za podstawę badania wstępne i przyjęto dokładności wyliczeń.

Zależności zachodzące między wytrzymałością zmęczeniową a statyczną postanowiono obliczyć na podstawie analizy bezwymiarowej posługując się w opracowywaniu programu obliczeń następującym równaniem:

$$y = f\left(\frac{\varrho_d}{\varrho_k} \text{ i } \frac{P_d}{P_s}\right), \quad (8)$$

w którym:

$y$  - logarytm naturalny z liczby cykli  $n$ ,

$\varrho_d$  - gęstość drewna ( $\text{kg/m}^3$ ),

T a b e l a 1

Wyniki badań statycznych połączeń o różnych rodzajach złączy, sklejonych klejem poliocetanowinylowym i glutynowym (średnie ze 100 powtórzeń)

Rodzaj złącza	Wymiary geometryczne złącza (mm)		Rodzaj użytego kleju	Średnia siła niszcząca P (daN)	Wytrzymałość $\zeta$ (MPa)	Odkształcenie $\Delta l$ (mm)
	długość	szerokość				
Czopowe kryte	28	40	glutynowy	161	20	12
			wikol	128	16	10
Zakładkowe	40	40	glutynowy	151	19	12
			wikol	170	22	11
Widlicowe pojedyncze	40	40	glutynowy	182	12	15
			wikol	166	11	17
Kołkowe	50	$\emptyset$	glutynowy	49	3	4
		10	wikol	42	2	5

- $\rho_k$  - gęstość suchej masy kleju ( $\text{kg/m}^3$ ),  
 $P_d$  - wielkość siły zmęczeniowej (daN),  
 $P_s$  - wielkość siły statycznej (daN).

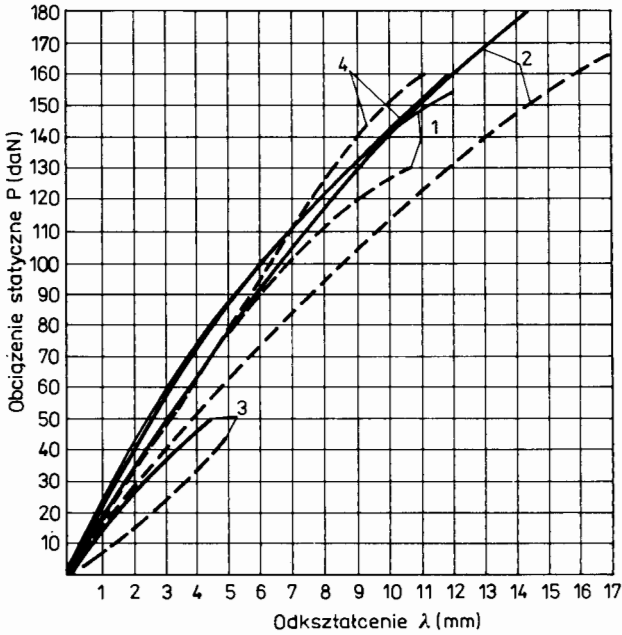
## WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

Realizując badania, w pierwszej kolejności określono podstawowe właściwości drewna, które wynosiły: wilgotność - 80%, gęstość -  $750 \text{ kg/m}^3$ , wytrzymałość statyczna na ścinanie wzdłuż włókien - 8 MPa, wytrzymałość na zginanie statyczne - 105 MPa i moduł sprężystości podłużnej - 16000 MPa. Wyniki badań statycznych dla poszczególnych rodzajów złączy i użytych klejów przedstawia tabela 1, a rezultaty badań zmęczeniowych tabela 2.

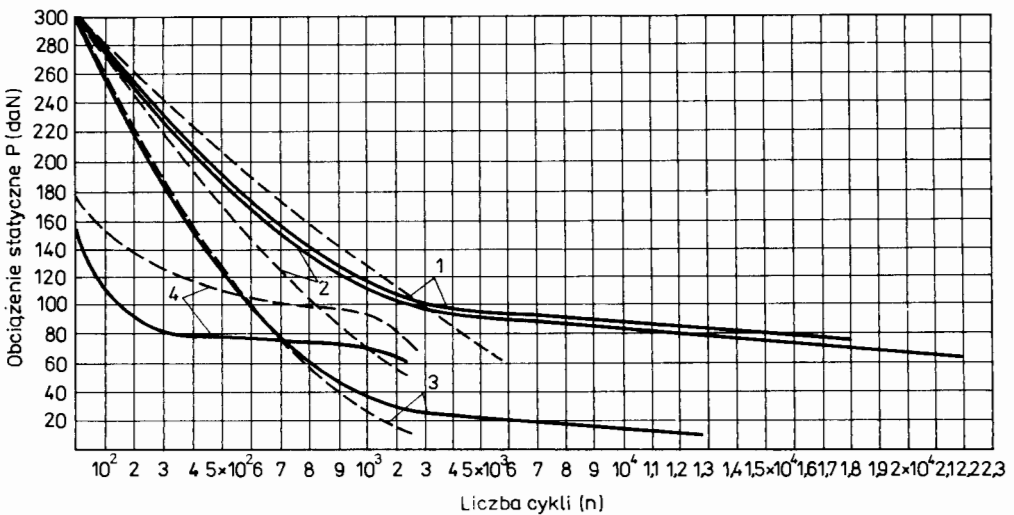
T a b e l a 2

Wyniki badań zmęczeniowych połączeń o wybranych złączach i dwóch rodzajach kleju (średnio ze 100 powtórzeń)

Rodzaj złącza	Rodzaj kleju	Wielkość siły przy obciążeniu zmęczeniowym (daN)	Liczba cykli
Czopowe kryte	glutynowy	129	105
		96	2705
		64	18435
	Wikol	102	79
		77	547
		51	2152
Zakładkowe	glutynowy	120	56
		90	196
		60	2477
	Wikol	136	312
		102	877
		68	2623
Kołkowe	glutynowy	39	42
		29	417
		19	12785
	Wikol	34	51
		25	1028
		17	2495
Widlicowe pojedyncze	glutynowy	145	72
		109	5575
		73	17571
	Wikol	133	1500
		99	4329
		66	6595



Rys. 5. Charakterystyka połączeń obciążanych statycznie zawierających cztery rodzaje złączy i sklejanych klejem Wikol (---) oraz klejem glutynowym (—); 1 - zależności między obciążeniami a odkształceniami połączeń o złączach widlicowych, 2 - złącza czopowe kryte, 3 - złącza kołkowe, 4 - złącza zakładkowe



Rys. 6. Charakterystyka połączeń obciążanych cyklicznie, zawierających cztery rodzaje złączy sklejanych klejem Wikol (---) i klejem glutynowym (—); oznaczenia jak do rys. 5



Na wykresie 5 przedstawiono charakterystyki połączeń badanych statycznie. Analizując przebieg krzywych charakteryzujących właściwości badanych połączeń, to we wszystkich przypadkach korzystniejsze pod względem sztywności są złącza sklejone klejem glutynowym. Biorąc pod uwagę wytrzymałości, to omówione połączenia można uszeregować w następującej kolejności: złącza czopowe-kryte, zakładkowe oraz widlicowe. Połączenia o złączach kołkowych wykazały niższą wytrzymałość od pozostałych, bo aż średnio około 70%. Wynika to przypuszczalnie z konstrukcji samego złącza. Podobnie przedstawia się charakterystyka tych połączeń przy obciążeniach zmęczeniowych. Obrazują to krzywe na rysunku 6. Podobnie jak w przypadku obciążania statycznego, spoina kleju glutynowego zawiązana w złączu ma bez porównania większą wytrzymałość niż Wikol. Jedyny wyjątek stanowi połączenie o złączu zakładkowym, co trudno jest wytłumaczyć na podstawie powyższych badań, a zwłaszcza w porównaniu z pozostałymi rozwiązaniami.

Realizując główny cel pracy, na podstawie uzyskanych wyników metodą analityczną, posługując się równaniem (8) określono zależność między statyczną a zmęczeniową wytrzymałością połączeń. Uwzględniono w tym równaniu dwie zmienne niezależne ( $P_a/P_s$ ), ( $\rho_d/\rho_k$ ); według przewidywań mogą one mieć wpływ na wartość zmiennej zależnej ( $y$ ), czyli na liczbę cykli obciążeń. W obliczeniach uwzględniono wszystkie wyniki badań obejmujące cztery rodzaje złączy i dwa rodzaje kleju. W wyniku tych operacji otrzymano pięć równań regresji wyrażających związki ilościowe między zmiennymi niezależnymi ( $x_1$  i  $x_2$ ) a zmienną zależną ( $y$ ), które umieszczono w tabeli 3. W celu ustalenia wpływu obciążenia na ilość cykli przeprowadzono eliminację zmiennej ( $x_1$ ) uzyskując zależność zmiennej ( $y$ ) od jednej tylko zmiennej niezależnej ( $x_2$ ). Równanie to przedstawiono z kolei w tabeli 4

gdzie:

- zmienna zależna  $y = (\ln N)$ ,
- zmienna niezależna  $x_1 = (\rho_d/\rho_k)$ ,
- $x_2 = (P_d/P_s)$ .

W dalszej analizie ograniczono się do równań umieszczonych w tabeli 4. Równania te obustronnie zlogarytmowano i otrzymano pięć równań o nowej postaci, na podstawie których wykreślono krzywe ilustrujące zależności między współczynnikiem obciążenia ( $P_d/P_s$ ) a liczbą cykli przy zmęczeniowym obciążeniu zginającym (rys. 7).

Analizując wyniki otrzymane z maszyny cyfrowej oprzeć się można na dwóch metodach (10). Mimo pewnych różnic, obie metody pozwalają na ustalenie czynników mających wpływ na wytrzymałość zmęczeniową. Metoda pierwsza oparta jest na porównaniu współczynnika determinacji  $R^2$  wyrażonego równaniem:

$$R^2 = 1 - \frac{S_{Se}}{S_{Sy}} \cdot 100\% \quad (19)$$

Równanie wyrażające związku ilościowe między zmienną zależną a zmiennymi niezależnymi ( $x_1$   $x_2$ )

Rodzaj związku	Równanie	Nr równania	Współczynnik determinacji $R^2$ (%)	Wartość funkcji testowych	
				obliczeniowa	tabelaryczna
Czopowe	$y = 12,181 + 0,738 x_1 - 10,593 x_2$	9	94,41	9,55	25,32
Czopowe zakładowe	$y = 11,514 - 0,712 x_2 - 7,393 x_2$	10	86,62	9,55	9,71
Kołkowe	$y = 13,393 + 0,096 x_1 - 11,950 x_2$	11	92,77	9,55	19,25
Widlicowe	$y = 13,523 - 0,330 x_1 - 8,720 x_2$	12	68,65	9,55	13,29
Równanie uśredniające	$y = 12,653 - 0,052 x_1 - 9,675 x_2$	13	67,46	3,47	21,77

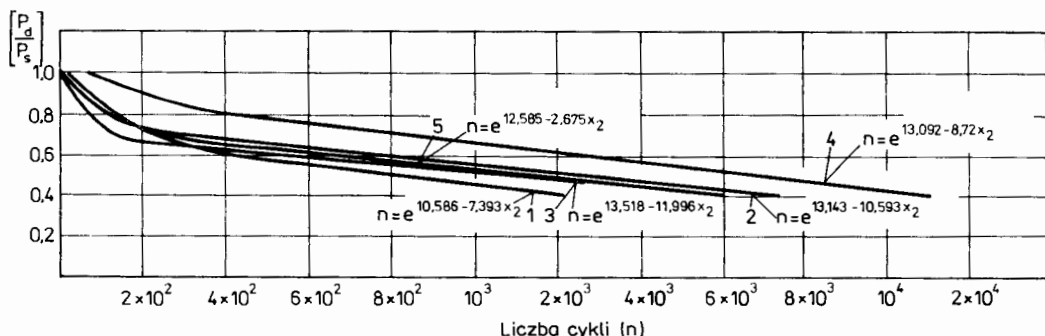
Równania wyrażające związek między zmienną zależną (y) i niezależną ( $x_2$ )

Rodzaj złącza	Równanie	Nr równania	Współczynnik determinacji $R^2$ (%)	Wartości funkcji testowych	
				obliczeniowa	tabelaryczna
Czopowe	$y = 13,143 - 10,593 x_2$	14	82,06	7,71	18,3
Zakładkowe	$y = 10,586 - 7,393 x_2$	15	67,29	7,71	8,23
Kołkowe	$y = 13,518 - 11,950 x_2$	16	92,59	7,71	49,96
Widlicowe	$y = 13,092 - 8,72 x_2$	17	65,73	7,71	17,67
Równanie uśredniające	$y = 12,585 - 9,675 x_2$	18	67,40	4,30	45,49

gdzie:

SSe - suma kwadratów odchylenia.

SSy - całkowita suma kwadratów.



Rys. 7. Krzywe obrazujące zależności pomiędzy obciążeniami statycznymi wyrażonymi bezwymiarowym stosunkiem  $P_d/P_s$  a liczbą cykli połączeń zawierających cztery rodzaje złączy sklejanych klejem Wikol i klejem glutynowym; krzywa 5 jest wypadkową dla pozostałych czterech krzywych; oznaczenia jak do rys. 5

Wartość ta jest tym większa, im więcej jest zmiennych w modelu. Eliminacja niektórych zmiennych niekiedy nieznacznie tylko zmniejsza wartość  $R^2$ . Celowe byłoby wtedy usunięcie tych zmiennych z modelu jako nieistotnych dla danego problemu.

Drugą metodą będącą modyfikacją pierwszej jest ocenianie wpływu zmiennych na podstawie poziomu istotności. Porównujemy poziom istotności dla kolejnych zmiennych  $\alpha_i$  z poziomem istotności złożonym  $\alpha_0$ . Jeżeli poziom istotności  $\alpha_i > \alpha_0$  to eliminujemy z modelu zmienną  $x_i$ .

Opierając się na wartościach funkcji testowej obliczeniowej  $F_0$  oraz tabelarycznej  $F_{tab}$  odczytanej z tablic Snedecora Oktaba [8] można stwierdzić, że równania na podstawie których wykreślono krzywe (rys. 7) przedstawiają regresje istotne przy poziomie błędów 5%. Dla każdego bowiem z tych równań zachodzi związek:

$$F_{obl} > F_{tab}$$

Wiedząc, że mamy do czynienia z równaniami regresji istotnej należałoby teraz rozpatrzyć wpływ poszczególnych czynników ( $x_1, x_2$ ) na zmienną zależną ( $y$ ). Założono, że:

$$y = \ln N; \quad x_1 = \frac{\varrho_d}{\varrho_k}; \quad x_2 = \frac{P_d}{P_s}$$

Rozpatrując równanie regresji (18) należałoby udowodnić, dlaczego została pominięta wartość zmiennej  $x_1$ . Oparto się tutaj na równaniu, które reprezentuje zależność wytrzymałości zmęczeniowej od statycznej dla całej grupy badanych złączy.

Analizując wpływ poszczególnych czynników na ostateczną wytrzymałość zmęczeniową należy oprzeć się na współczynniku determinacji  $R^2$ . Dla zmiennej  $x_1$  i  $x_2$  wartość tego współczynnika wynosi  $R^2 = 67,5\%$ . Oznacza to, że w 67,5% wytrzymałość zmęczeniowa połączeń całej grupy jest determinowana przez wartość obciążenia oraz rodzaj kleju. W pozostałych 32,5% zawarte są czynniki, które nie zostały ujęte w równaniu (8). Zaliczyć do nich można przede wszystkim własności mechaniczne drewna oraz jego budowę anatomiczną. Stwierdzenie to oparte jest na analizie złomów zmęczeniowych. Głównie przy widlicy i czopach stwierdzono wiele przypadków zniszczenia nie w spoinie klejowej a w substancji drzewnej. Wartość współczynnika determinacji ( $R^2$ ) wskazuje na udział obu czynników w procesie zmęczenia. W celu stwierdzenia jaka wartość przypada na klej, a jaka na obciążenie należy przeprowadzić eliminację z równania regresji (13) zmiennej najmniej istotnej. Na podstawie poziomu istotności eliminujemy zmienną  $x_1$ . Dla tej zmiennej  $\alpha_1 = 0,846$  jest większy od  $\alpha_0 = 0,05$ . Potwierdzeniem słuszności pominięcia  $x_1$  jest współczynnik determinacji  $R^2$ , który zmienił się nieznacznie. Z wartości  $R^2 = 67,5\%$  obniżył się on do poziomu  $R^2 = 67,4\%$ . Jeszcze jednym dowodem na poparcie tezy opuszczenia w równaniu (13) zmiennej  $x_1$  są współczynniki regresji. Wynoszą one dla zmiennej  $x_1$  -:-0,025, a dla zmiennej  $x_2$  -:-0,821. Widać więc, że między obciążeniem dynamicznym a liczbą cykli, czyli wytrzymałością zmęczeniową istnieje największy związek.

Podobną analizę można przeprowadzić dla poszczególnych rodzajów połączeń. Jest to konieczne, gdyż wartości współczynnika determinacji dla tych połączeń są zróżnicowane w zależności od charakteru tego połączenia. Szczególnie dotyczy to połączenia zakładkowego, gdzie wartości te znacznie odbiegają od wartości przedstawionych dla całej grupy połączenia. Współczynnik determinacji  $R^2 = 86,6\%$  określa wpływ zmiennej  $x_1$  i  $x_2$ . Wynika stąd, że rodzaj kleju i wartość obciążenia są czynnikami, które prawie całkowicie wpływają na końcową wytrzymałość zmęczeniową. Potwierdzeniem tego jest obserwacja złomów zmęczeniowych. Wszystkie próbki klejone klejem poliocetanowinylowym uległy zniszczeniu w spoinie klejowej. Z równania regresji (10) dla tego połączenia dokonano również eliminacji zmiennej  $x_1$  ( $\alpha_1 = 0,129$ ,  $\alpha_0 = 0,05$ , czyli  $\alpha_1 > \alpha_0$ ). Współczynnik determinacji z uwzględnieniem tylko zmiennej  $x_2$ , czyli obciążenia wynosi  $R^2 = 67,3\%$ . Wpływ kleju na zmęczenie wynosił więc 19,3%. Duży wpływ kleju wytłumaczyć można tym, że w połączeniu zakładkowym główną rolę odgrywa właśnie spoina klejowa. W trakcie obciążania spoina klejowa jest narażona na przenoszenie naprężeń maksymalnych. Zmienna  $x_1$  nie ma istotnego wpływu na wytrzymałość zmęczeniową połączenia kołkowego, gdyż współczynnik determinacji dla tej zmiennej wynosi tylko 0,2%; 92,6% przypada na obciążenie, czyli na zmienną  $x_2$ . Na dowód tego podać można dla  $x_1$  i  $x_2$  wartości współczynników regresji. Wynoszą one odpowiednio 0,043 i -0,962. Podobnie kształtują się poziomy istotności dla tych wartości  $\alpha_1 = 0,799$ ;  $\alpha_2 = 0,0021$ , można więc stwier-

dzić, że  $\alpha_1 \geq \alpha_0$ , czyli eliminacja  $x_1$  została przeprowadzona prawidłowo. Wpływ pozostałych czynników na wytrzymałość zmęczeniową tego połączenia wynosi tylko 7,2%. Spowodowane jest to pewną niedokładnością w czasie wykonywania próbek. Zastosowano mianowicie do tego połączenia kołki o gładkiej powierzchni, co spowodowało, że klej znajdujący się na poboczniczy kołka został usunięty podczas sklejania. Zniszczenie tego połączenia następowało przeważnie bez uszkodzenia kołka, przez wysunięcie z otworu.

Jak już wspomniano, przy złączach widlicowych stwierdzono zniszczenia w substancji drzewnej. Obrazuje to współczynnik determinacji  $R^2 = 68,7\%$ , czyli że 31,3% obejmuje czynniki nie ujęte w równaniu (8). W tym wypadku wpływ zmiennej  $x_1$  jest minimalny ( $R^2 = 3,0\%$ ). Ścisły związek zmiennej niezależnej  $x_2$  ze zmienną zależną y charakteryzuje współczynnik regresji wynoszący  $-0,811$ . Eliminacja  $x_1$  nastąpiła na podobnej zasadzie jak poprzednio ( $\alpha_1 = 0,634$ , czyli  $\alpha_1 > \alpha_0$ ).

Ostatnia grupa połączeń to połączenia czopowe. Tutaj jak i poprzednio odrzucono zmienną  $x_1$ , jako nieistotną dla całości zjawiska ( $\alpha_1 = 0,082$ , czyli  $\alpha_1 > \alpha_0$ ). Współczynnik determinacji dla tego połączenia  $R^2 = 94,4\%$ , a dla zmiennej  $x_2$  -  $R^2 = 82,1\%$ . Różnica ( $R_1^2 = 12,3$ ) współczynników wskazuje na stosunkowo duży wpływ kleju na ostateczną wartość wytrzymałości zmęczeniowej. Jednak można ten fakt pominąć, biorąc pod uwagę dysproporcję, która występuje między tymi wartościami ( $R_1^2 \ll \ll R_2^2$ ).

Omówione zależności charakteryzują krzywe przedstawione na rysunku 7. Chcąc określić liczbę cykli, które przenieść może dane połączenie przy określonym obciążeniu, posłużyć się można bezpośrednio wykresem, albo na drodze analitycznej, stosując podane wzory.

Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano zgodność co do istnienia zależności między wytrzymałością zmęczeniową a statyczną. Potwierdza się także bardzo ścisły związek między obciążeniem a zmęczeniem przy stosunkowo małym wpływie czynników pozostałych, np. rodzaju kleju.

## WNIOSKI

1. W warunkach obciążania statycznego złącza meblowe sklewane klejem glutynowym wykazują wyższą wytrzymałość niż złącza sklewane klejem poliocetanowinylowym Wikol. Odkształcenia, jakim ulegają wspomniane połączenia w wyniku działania obciążania statycznego, są również uzależnione od rodzaju kleju. Największą liczbę cykli przeniosły połączenia zawierające złącza sklewane klejem glutynowym.

2. Stwierdzono istnienie ścisłej zależności między wytrzymałością statyczną a zmęczeniową połączeń meblowych. I tak dla grupy połączeń obejmujących złącza czopowe, widlicowe, zakładkowe i kołkowe opracowano ogólne równania regresji:

$$n = e \quad -9,675 \frac{P_d}{P_s} + 12,585$$

Dla poszczególnych rodzajów złączy zależności te zostały opisane równaniami:

$$-10,593 \frac{P_d}{P_s} + 13,143$$

a) czopowe:  $n = e$

$$-7,393 \frac{P_d}{P_s} + 10,586$$

b) zakładkowe:  $n = e$

$$-11,950 \frac{P_d}{P_s} + 13,518$$

c) kołkowe:  $n = e$

$$-8,72 \frac{P_d}{P_s} + 13,092$$

d) widlicowe:  $n = e$

#### LITERATURA

1. Buch A.: Korelacja pomiędzy granicą zmęczenia, a wskaźnikami wytrzymałości na rozciąganie, skręcanie i podwójne ścinanie w normalnych i podwyższonych temperaturach. Pr. Inst. Lot., Warszawa 1959, 9.
2. Buch A.: Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej. PWN, Warszawa 1964.
3. Dziegielewski St.: Wpływ charakteru obciążania wybranych klejowych połączeń meblarskich na ich wytrzymałość i odkształcenia. Roczn. AR w Poznaniu 1978. Rozpr. Nauk., 86.
4. Iwanow I. M.: Bestimmung der Dauerfestigkeit von Holzkonstruktionen anhand der Ergebnisse von Kurzzeitprüfungen. Holztechnologie 1973, 14, 4, 240-245.
5. Kalina M.: Zerstörungsfreie Bestimmung der Dauerfestigkeit von Trägern aus dem rheologischen Verhalten. Holztechnologie 1971, 12, 4, 239-243.
6. Krzysik F.: Nauka o drewnie. PWN, Warszawa 1978.
7. Meus A., Szuster K.: Program badań zmęczeniowych próbek nasady dźwigara skrzydła szybowca SZD-44. Pr. Inst. Lot., Warszawa 1972.
8. Oktaba W.: Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalna. PWN, Warszawa 1966.
9. Orłóś Z., Dyląg Z.: Wytrzymałość zmęczeniowa materiałów. WNT, Warszawa 1962.
10. Roczn. AR w Poznaniu 1973 - Algorytmy biometryczne i statystyczne.
11. Siemiński R.: Badanie wąskosłoiętego drewna sosny pospolitej na zmęczenie. Fol. for. Pol., 1960, Ser. B, 2, 5-35.

Станислав Дзєнгєлевски

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ С ВЫБРАННЫМИ УСТАЛОСТНО  
НАГРУЖЕННЫМИ ВЯЗКАМИ

Р е з ю м е

Соответствующие исследования были направлены на определение механических свойств мебельных соединений с выбранными вязками. Особое внимание уделяли статической прочности, деформациям под влиянием статических нагрузок и вопросам усталостной прочности, а также зависимости между статической и усталостной прочностью.

Исследования охватывали группу 4 видов вязок: шиповых, нахлесточных, с открытым сквозным шипом и с плоским шипом. Все вязки склеивали двумя видами клеев: глютиновым и полиуксусновиниловым. Для всех групп вязок определяли максимальное напряжение возникающее при статической нагрузке. Определяли также графическим способом зависимость деформации вязки от нагрузки в статической пробе.

Целью указанных исследований была разработка основной проблемы, какой являлось определение зависимости между статической и усталостной прочностью. Эта зависимость была определена путем дисперсионного анализа для каждого вида вязки и для всей их группы с помощью общего уравнения:

$$n = e^{-ax} + b,$$

где  $a$  и  $b$  коэффициенты с различным значением для разных вязок.

Stanisław Dzięgielewski

INVESTIGATIONS OF CONNECTIONS OF SELECTED FATIGUE-BURDENED  
JOINTS

S u m m a r y

The aim of the investigations was to determine mechanical properties of furniture connections of selected joints. The main attention was concentrated upon the static strength, deformation occurring under the effect of static loads and upon the problem of fatigue strength and relations between the static and fatigue strength.

The investigations comprised a group of 4 joint kinds: tenon, halved, forked and dowel joints. All joints were glued with two glue kinds: glutine and polyacetovinyl glue. Maximum tensions occurring at the static load were determined for all joint groups. Also the dependences of connection deformation on the load in a static test were determined in the graphical way.

The above investigations were aimed at solution of the main problem, i.e. determination of the relationship between static and fatigue strength. This relationship was determined by means of the analysis of variance for each joint kind and for the whole group of joints by the general equation:

$$n = e^{-ax_1} + b,$$

where  $a$  and  $b$  - coefficients of different values for particular joint kinds.