

ARNOLD WILCZYŃSKI, KRZYSZTOF WARMBIER
WSP w Bydgoszczy

WPŁYW SPOSOBU MOCOWANIA I OBCIĄŻANIA PRÓBKI POŁĄCZENIA NAROŻNIKOWEGO O ZŁĄCZU DWUKOŁKOWYM NA SZTYWNOŚĆ I NOŚNOŚĆ POŁĄCZENIA

Wstęp

W projektowaniu konstrukcji drewnianych należy uwzględnić stosunkowo dużą liczbę różnorodnych czynników, które wywierają istotny wpływ na sztywność i nośność (wytrzymałość) tych konstrukcji. Trwałość połączeń występujących w tych konstrukcjach uzależniona jest m.in. od rodzaju złączy, pasowania, układu włókien, rodzaju kleju, gatunku drewna, dokładności wykonania, sposobu i wielkości obciążenia, wymiarów zewnętrznych, wilgotności itp. Badania całych konstrukcji są pracochłonne i kosztowne. Dlatego wybiera się z całości elementy połączeń, które są z reguły najsłabszym miejscem konstrukcji, a przeprowadzenie na nich badań jest tańsze i łatwiejsze. O wytrzymałości i sztywności takich konstrukcji decyduje wytrzymałość tych elementów, a przede wszystkim wytrzymałość samego złącza, bowiem w większości przypadków nie element konstrukcji, a złącze ulega zniszczeniu. Należy dążyć do tego, aby projektowanie wyrobów z drewna nie było pozostawione przypadkowi, ale w oparciu o znajomość zagadnień wytrzymałościowych uzyskanych w drodze każdorazowych eksperymentów i obliczeń odbywało się według specjalnie ustalonych zasad i norm.

W połączeniach narożnikowych konstrukcji meblarskich szkieletowych coraz częściej stosuje się złącza kołkowe. Złącza te charakteryzują się prostą budową i technologią oraz estetyką – kołki nie są widoczne z zewnątrz. Wykazują też odpowiednią wytrzymałość, porównywalną z wytrzymałością złączy czopowych płaskich. W typowym złączu kołkowym połączenia narożnikowego płaskiego stosuje się dwa kołki w celu wytworzenia pary sił przeciwdziałającej obciążeniom połączenia.

Zarówno z opracowań krajowych, jak i z przeglądu dostępnej literatury zagranicznej wynika, że metodyka badań właściwości mechanicznych połączeń narożnikowych nie jest znormalizowana. Rezultaty badawcze są trudno dostępne, głównie z powodu rozproszenia w różnych czasopismach, a wyniki często są nieporównywalne z powodu zasadniczych różnic w metodzie ich uzyskiwania. Na podstawie tylko teoretycznych rozważań nie można w sposób jednoznaczny wybrać odpowiedniej metody.

Wobec tego uznano za celowe zbadanie, jaki wpływ ma sposób zamocowania i obciążania próbki połączenia narożnikowego o złączu dwukołkowym na wyniki badań nad jego sztywnością i wytrzymałością. Połączenia zamocowane w specjalnie zaprojektowanych uchwytach poddano rozciąganiu lub ścisłaniu obciążeniami wywołującymi rozwieranie lub zwieranie elementów próbki. Założono, że analiza wyników pozwoli na wybór optymalnej metody badań wytrzymałościowych połączenia narożnikowego o złączu dwukołkowym.

1. Metodyka

Podczas użytkowania meble narażone są na działanie różnego rodzaju obciążeń wywołujących powstawanie różnych układów sił wewnętrznych w ich połączeniach. Badania eksperymentalne połączeń polegają na symulacji tych układów poprzez odpowiednie mocowanie i obciążanie próbek połączeń. W dotychczasowych badaniach połączeń kątowych stosowano szereg sposobów mocowania i obciążania próbek.

T. Aoka, A. Kojim, S. Ugam (1963), A. Rybski (1979), P. Biniek, J. Smardzewski (1987), S. Dzięgielewski, K. Nowak, W. Klein (1974), S. Dzięgielewski (1973, 1974, 1992), C.A. Eckelman (1971), P. Biniek (1994), L. Cai, F. Wang (1993), P. Biniek, P. Joscak, J. Smardzewski (1991), J. Smardzewski, H. Tuherm, P. Biniek (1992) zastosowali próbki zamocowane na dolnym końcu elementu pionowego (słupka) i obciążone siłą działającą z góry na element poziomy (ramię). W układzie tym następowało jednoczesne odkształcanie słupka i ramienia oraz zmniejszanie kąta między tymi elementami.

Zbliżony wariant badawczy przyjęli: F. Kopia, J. Steltman (1983), R. Albin, H. Hunker (1985), P. Biniek, P. Joscak, J. Smardzewski (1991), J. Smardzewski, H. Tuherm, P. Biniek (1992), P. Biniek, J. Smardzewski (1987). Różnił się od poprzedniego tym, że siła obciążająca działała na ramię próbki w przeciwnym kierunku, tj. od dołu, powodując wzrost kąta między słupkiem i ramieniem.

Inny układ zamocowania próbki w maszynie wytrzymałościowej zaproponowali w swych badaniach R. Albin, M. Muller, H. Scholze (1987), R. Rabiej, S. Ramrattan, W. Droll (1993), A. Leśnikowski, T. Drouet (1960), F. Kopia, J. Seltman (1983), J. Zhang, C.A. Eckelman (1993), S. Dzięgielewski, A. Bilski, E. Waloszczyk (1977), Z. Akonom, W. Rybarczyk (1988). Próbką utwierdzona w uchwytach umieszczona była w ten sposób, że ramię i słupek tworzyły z kierunkiem działania siły obciążającej kąt 45° . Cały układ połączenia narożnikowego wykonany z graniaków lub płyt drewnopochodnych był poddany ścisłaniu.

Natomiast rozciąganie próbek, przy takim samym zamocowaniu wykorzystali w swych badaniach R. Albin, M. Muller, H. Scholze (1987), A. Leśnikowski, T. Drouet (1960), R. Rabiej, S. Ramrattan, W. Droll (1993), A.M. Korzeniowski (1982), S. Dzięgielewski, A. Bilski, E. Waloszczyk (1997), R. Rabiej (1981), A.M. Korzeniowski, J. Bieliński (1979).

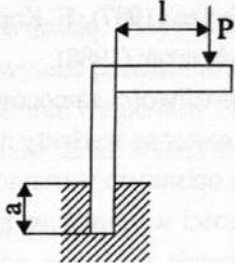
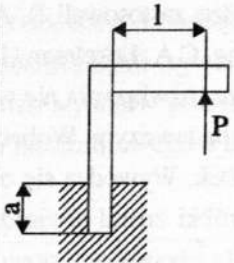
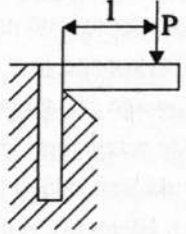
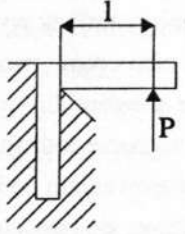
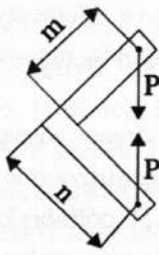
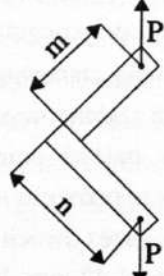
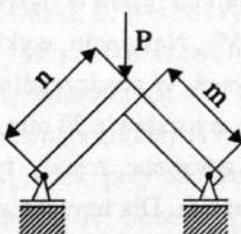
Ostatni wariant badawczy charakteryzował się tym, że próbki połączenia narożnikowego ściennego ułożone były w maszynie wytrzymałościowej w sposób przypominający

dwuspadowy dach. Końce elementów próbki opierały się na podporach umieszczonych na rolkach, natomiast z góry na wierzchołek połączenia działała siła obciążająca, powodująca rozwieranie połączenia. Wariant ten zastosowali R. Albin, M. Muller, H. Scholze (1987), F. Kopia, J. Steltman (1983), J. Zhang, C.A. Eckelman (1993), Z. Akonom, W. Rybarczyk (1988).

Opisane w literaturze rozwiązania nie wyczerpują wszystkich możliwości zamocowania próbki na stanowisku badawczym. Wobec tego opracowano dwa następne warianty mocowania i obciążania próbek. Wywodzą się one z pierwszych dwóch opisanych wariantów, z tą różnicą, że słupek próbki został utwierdzony na całej jego długości w sposób wykluczający jego zginanie. Siła obciążająca powodowała w jednym wariantcie zwieranie, natomiast w następnym rozwieranie elementów tworzących połączenie narożnikowe.

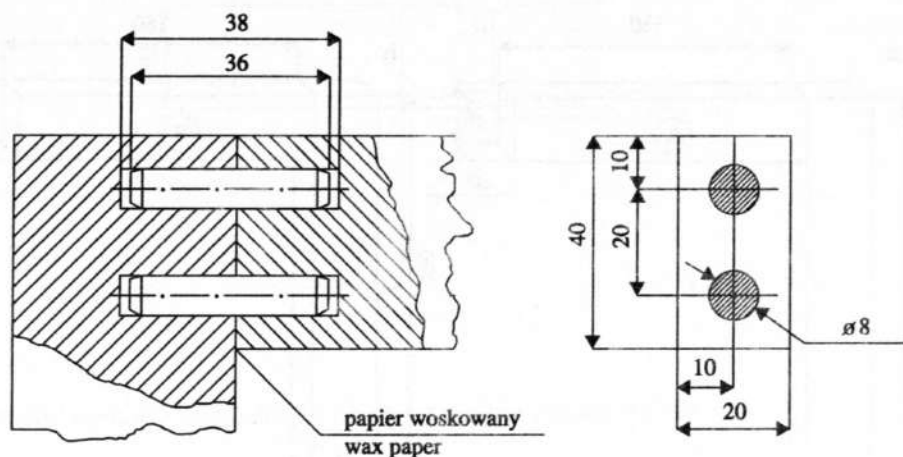
Wymienione sposoby zamocowania i obciążania próbek, po usystematyzowaniu oraz ujednoczeniu ukazano na rys. 1. Na podstawie zebranych informacji wytypowano do badań 7 wariantów. Kształt i wymiary próbek wykorzystanych w badaniach przedstawiono na rys. 3. Składają się one z dwóch elementów tworzących ze sobą kąt prosty. Wykonano je z drewna buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica L.*) w postaci połączenia narożnikowego płaskiego o złączu dwukołkowym. Przy wyborze rodzaju drewna kierowano się przede wszystkim jego szerokim i powszechnym zastosowaniem do łączenia elementów w konstrukcjach szkieletowych, dla wykonania których używa się obecnie głównie drewna bukowego. Elementy połączenia przeznaczone na próbki do badań wykonano z dokładnością możliwą do osiągnięcia w warunkach przemysłowych. Uznano za celowe, aby łączonym elementom i złączom nadać wymiary w możliwie największym stopniu zbliżone do stosowanych w praktyce. Elementy doświadczalne warunek ten spełniają, stanowiąc przykład fragmentów podzespołów ramowych, często stosowanych w meblach szkieletowych.

Surowiec wyjściowy w postaci pojedynczych kłód pochodził z drzew rosnących w Borach Tucholskich. Kłody te przetarto na bale o grubości 60 mm, które suszono w sposób naturalny pod wiatą przez okres dwóch lat. Następnie wycięto z nich 50 półfabrykatów o długości 1200 mm i szerokości 40 mm. Po czterotygodniowym sezonowaniu tych półfabrykatów w pomieszczeniu laboratoryjnym o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i sprowadzeniu wilgotności drewna do około $12 \pm 0,5\%$, przestругano je na listwy o przekroju 20×40 mm. Średnia wilgotność względna powietrza w laboratorium w okresie przechowywania w nim półfabrykatów, a potem próbek wynosiła 65%. Następnie, wykluczając fragmenty drewna z wadami, pocięto je na elementy według rys. 3. W poszczególnych elementach połączenia zostały nawiercone otwory $\phi 8,1$ mm (rys. 2), o rozstawie 20 mm, na głębokość $19 \pm 0,1$ mm. Z tego samego materiału drzewnego przygotowane zostały typowe kołki o wymiarach $\phi 8 \times 36$ mm stosowane w przemyśle meblarskim. Dla uzyskania jednolitej średnicy, po wyeliminowaniu kołków z wadami, zostały one przebite przez stalową płytkę (kalibrowane). Z przygotowanych w ten sposób elementów, utworzono 25 zestawów połączeń ze słupkiem o długości 270 mm oraz 60 zestawów o długości słupka 220 mm. Elementy zestawów łączono za pomocą złącza dwukołkowego. Wykorzystany został do tego celu, szeroko stosowany

	<p>WARIANT I</p> <p>próbka A specimen A</p> <p>$l = 150 \text{ mm}$ $a = 50 \text{ mm}$</p>		<p>WARIANT II</p> <p>próbka A specimen A</p> <p>$l = 150 \text{ mm}$ $a = 50 \text{ mm}$</p>
	<p>WARIANT III</p> <p>próbka B specimen B</p> <p>$l = 150 \text{ mm}$</p>		<p>WARIANT IV</p> <p>próbka B specimen B</p> <p>$l = 150 \text{ mm}$</p>
	<p>WARIANT V</p> <p>próbka C specimen C</p> <p>$m = 160 \text{ mm}$ $n = 200 \text{ mm}$</p>		<p>WARIANT VI</p> <p>próbka C specimen C</p> <p>$m = 160 \text{ mm}$ $n = 200 \text{ mm}$</p>
		<p>WARIANT VII</p> <p>próbka C specimen C</p> <p>$m = 160 \text{ mm}$ $n = 200 \text{ mm}$</p>	

Rys. 1. Warianty mocowania i obciążania próbek połączenia narożnikowego płaskiego o złączy dwukółkowym

do sklejania złączy meblowych, klej poliocetanowinyłowy WIKOL. Charakteryzuje go wygodny sposób nanoszenia na drewno, szybkie zestalanie się i stosunkowo duża wytrzymałość spoin. Po 24 godzinnym sezonowaniu próbek w laboratorium, w 30 sztukach wykorzystanych w wariantach V, VI i VII (rys. 1) w odległości 20 mm od końców wywiercono otwory o średnicy ϕ 10 mm. Do każdego wariantu dobrano po 10 próbek.



Rys. 2. Wymiary złącza kołkowego

W celu wywarcia odpowiednich sił ściskających i rozciągających posłużono się specjalnie wykonanymi, prototypowymi uchwytami mocującymi próbki w maszynie wytrzymałościowej TIRA-test 2300, będącej w wyposażeniu Katedry Projektowania Konstrukcji i Wytrobów z Drewna SGGW w Warszawie.

Siła P obciążająca próbkę powoduje powstawanie w złączeniu momentu M , którego wartość dla poszczególnych wariantów badawczych, zgodnie z oznaczeniami na rys. 1, wynosi:

- dla wariantów I – IV

$$M = Pl \quad (1)$$

- dla wariantów V i VI

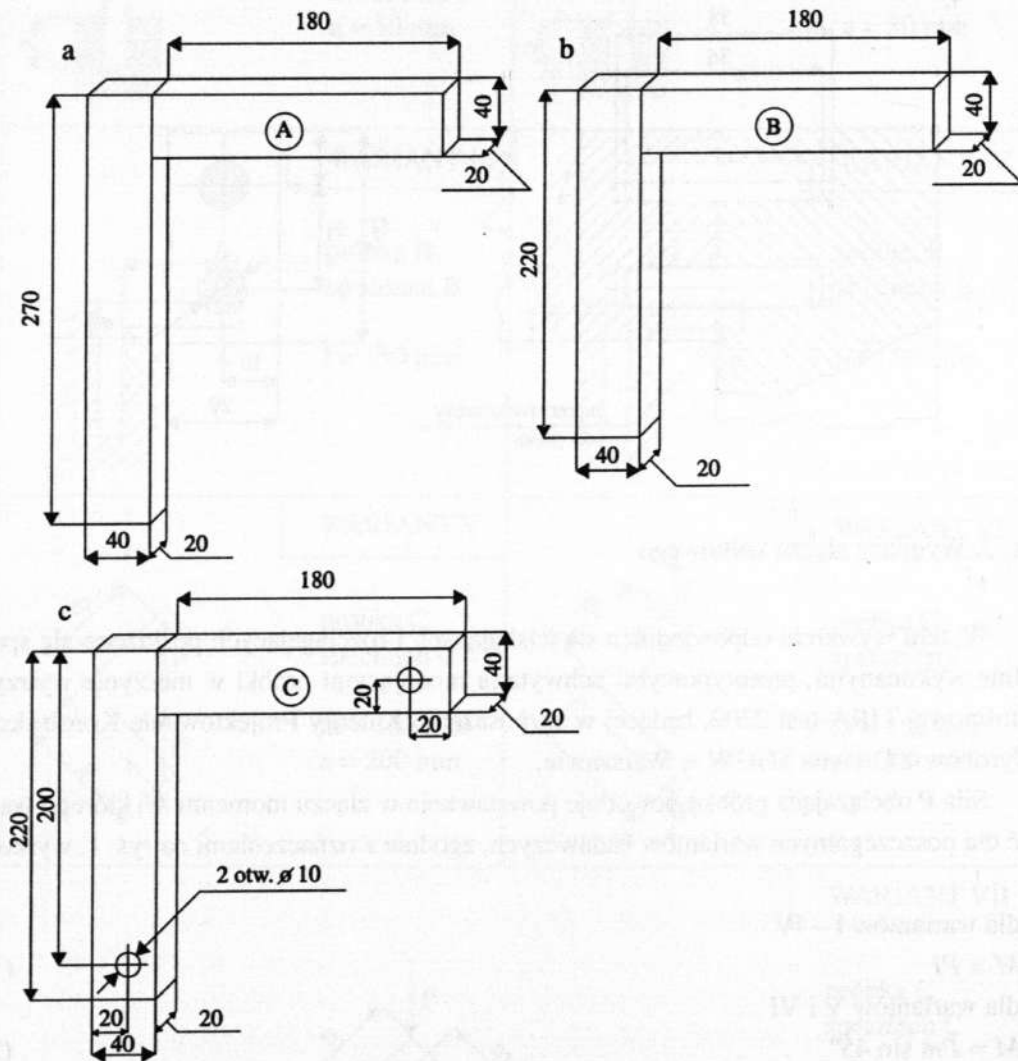
$$M = Pm \sin 45^\circ \quad (2)$$

- dla wariantu VII

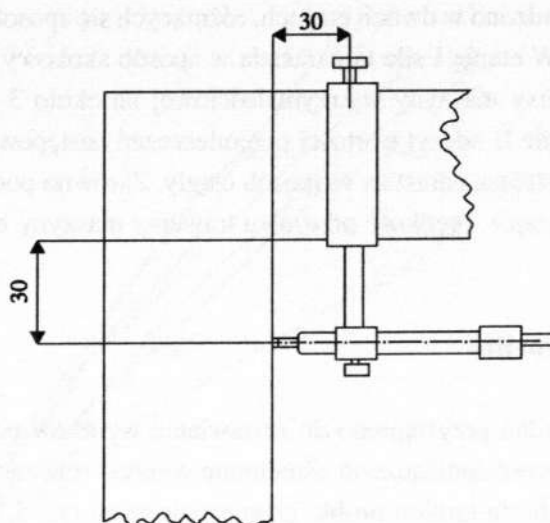
$$M = 0,5Pm \sin 45^\circ \quad (3)$$

Moment ten odgrywa dużą rolę, wpływając w znacznym stopniu na pracę złącza. Powoduje on wyciąganie jednego z kołków z otworu, doprowadzając do zniszczenia złącza. Wartość graniczną momentu, przy której jeden z kołków jest wyrywany z otworu, postanowiono przyjąć jako miarę nośności złącza.

Deformacja rozpatrywanego połączenia jest sumą odkształceń wynikających z wzajemnego obrotu ramion oraz wywołanych wyginaniem się ramion. Pierwsze z tych odkształceń jest zdeterminowane podatnością złącza, drugie – właściwościami sprężystymi materiału ramion. W prezentowanych badaniach jako miarodajny należy przyjąć obrót ramion względem siebie.



Rys. 3. Próbkki wykorzystane w badaniach



Rys. 4. Sposób pomiaru względnego przemieszczenia ramion próbki

Przyjęto, że dla małych odkształceń sprężystych zachodzi liniowa zależność między momentem M w złączu a względnym kątem γ obrotu ramion próbki:

$$M = k\gamma \quad (4)$$

gdzie k jest współczynnikiem sztywności złącza, wyrażonym w Nm/rad.

Do pomiaru odkształceń próbki zastosowano czujnik indukcyjny z głowiczką pomiarową MDKa-F1 współpracującą ze wskaźnikiem cyfrowym VISTRONIK CE3. Czujnik ma dwa zakresy pomiarowe, pierwszy $\pm 1000 \mu\text{m}$ przy dokładności $1 \mu\text{m}$ oraz drugi $\pm 200 \mu\text{m}$ przy dokładności $0,1 \mu\text{m}$. Za pomocą czujnika dokonywano pomiaru przemieszczenia χ wyrażonego w mikrometrach. Ramię pomiaru tego przemieszczenia powinno być możliwie małe, tak aby zminimalizować wpływ wyginania się ramion. Przyjęto długość ramienia równą 30 mm (rys. 4). Kąt γ określano w sposób pośredni, przez pomiar przemieszczenia względnego χ ramion próbki, a następnie obliczano go ze wzoru:

$$\gamma = \frac{\chi}{30000} \quad (5)$$

Znając wartość kąta γ przy danym momencie M , można wyznaczyć współczynnik k wyrażający liczbowo sztywność złącza:

$$k = \frac{M}{\gamma} \quad (6)$$

Badania przeprowadzono w dwóch etapach, różniących się sposobem narastania wartości siły obciążającej. W etapie I siła ta narastała w sposób skokowy – co 50 N następowało zatrzymanie trawersy maszyny wytrzymałościowej na około 3 s i odczyt wartości przemieszczenia. W etapie II odczyt wartości przemieszczeń następował bez zatrzymywania trawersy – siła obciążająca narastała w sposób ciągły. Zarówno podczas badań realizowanych w I, jak i w II etapie, prędkość przesuwu trawersy maszyny była stała i wynosiła 2 mm/min.

2. Wyniki badań i ich analiza

Po zakończeniu badań przystąpiono do zestawiania wyników pomiarów przemieszczeń. Na podstawie obliczeń sporządzono uśrednione wykresy zależności między momentem w złączu a kątem obrotu ramion próbki przedstawione na rys. 5 (dla etapu I) oraz na rys. 6 (dla etapu II). Wykresy te mają zróżnicowany przebieg. Niekiedy, dla wariantów III i IV w etapie I i dla wariantów I, II i V w etapie II, są zbliżone do prostoliniowych, jednak w większości przypadków mają przebieg krzywoliniowy, czasami pojawiają się na nich niespodziewane przegięcia. Można jednak przyjąć, że dla wartości momentów nie przekraczających 40 % wartości momentu niszczonego, zależność między momentem a kątem obrotu ramion próbki jest w przybliżeniu prostoliniowa dla każdego wariantu badawczego.

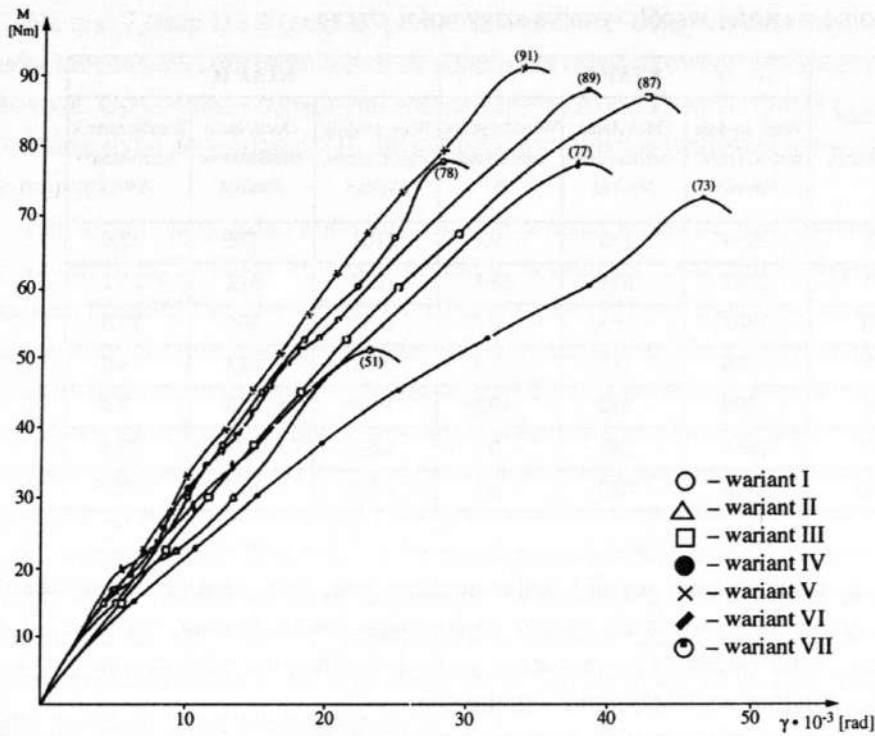
Końcowymi wynikami badań sztywności złącza były wartości współczynnika sztywności k złącza dla poszczególnych wariantów badawczych. Obliczono je za pomocą wzoru:

$$k = \frac{\Delta M}{\Delta \gamma} = 30000 \frac{\Delta M}{\Delta x} \left[\frac{Nm}{rad} \right]$$

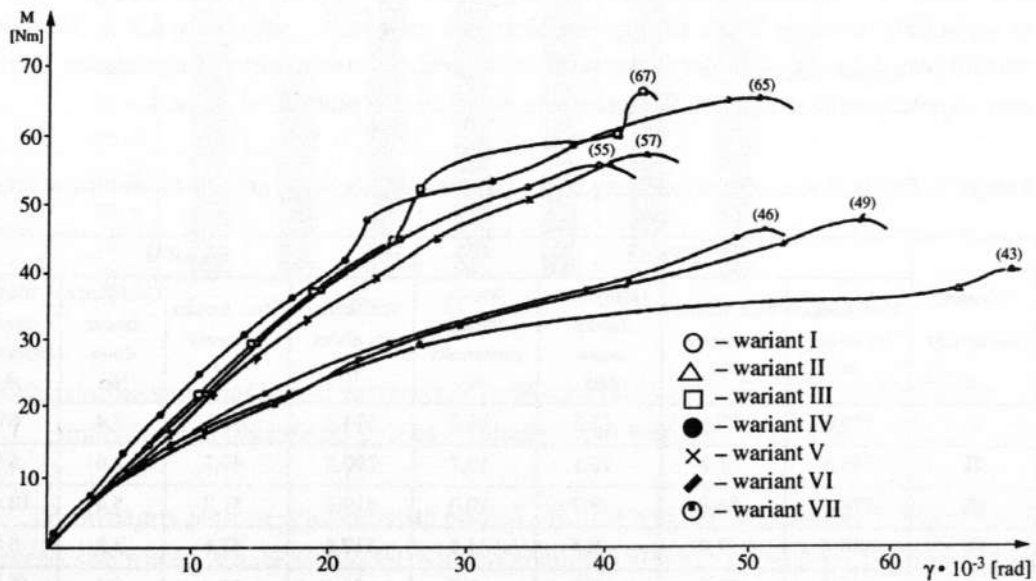
operując przyrostem ΔM [Nm] momentu w złączu i odpowiadającym mu przyrostem $\Delta \gamma$ [μm] przemieszczenia pomiarowego. Przyrost momentu dla danego wariantu badawczego określono jako różnicę:

$$\Delta M = M_g - M_d$$

przyjmując M_d równe około 10 % a M_g – około 40 % średniej wartości momentu niszczonego złącze. Średnie wartości z 10 powtórzeń, dla etapu I i II, współczynników sztywności dla rozpatrywanych wariantów badawczych zestawiono w tab. 1.



Rys. 5. Uśrednione wykresy zależności między momentem w złączu a kątem obrotu ramion próbki – etap I (w nawiasach podano wartość momentów niszczących)



Rys. 6. Uśrednione wykresy zależności między momentem w złączu a kątem obrotu ramion próbki – etap II (w nawiasach podano wartość momentów niszczących)

Tabela 1. Średnie wartości współczynnika sztywności złącza

Wariant badawczy	ETAP I			ETAP II		
	Wart. średnia współ. sztyw. Nm/rad	Odchylenie standardowe Nm/rad	Współczynnik zmienności %	Wart. średnia współ. sztyw. Nm/rad	Odchylenie standardowe Nm/rad	Współczynnik zmienności %
I	2954	270	9,1	2101	476	22,6
II	2247	531	23,6	1234	312	25,2
III	2403	235	9,7	2051	366	17,8
IV	1906	111	5,8	1131	213	18,8
V	3020	332	10,9	1958	176	8,9
VI	2865	283	9,8	1235	277	22,4
VII	3149	220	6,9	2727	627	22,9

W tab. 2 zamieszczono wyniki badań niszczących, jako średnie z powtórzeń na 10 próbkach dla każdego wariantu badawczego i etapu badań. Podano wartości sił niszczących złącze, odpowiadające im momenty niszczące obliczone według wzorów (1), (2) i (3) oraz odpowiednie współczynniki zmienności.

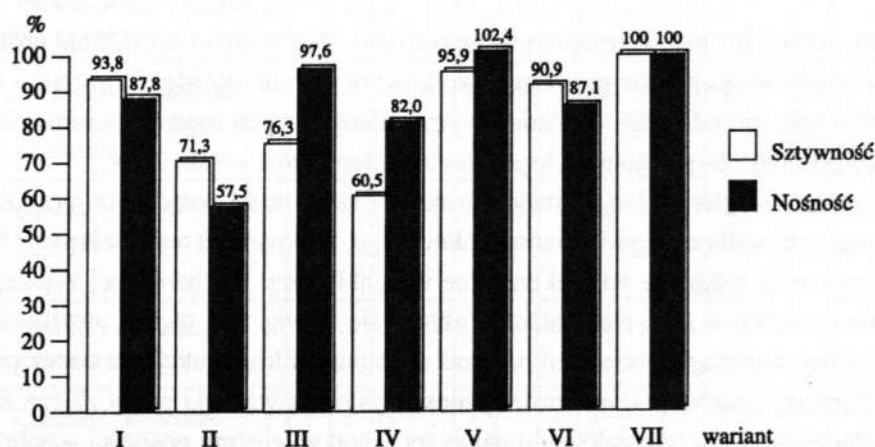
Zatrzymajmy się najpierw przy rozrzutach wyników badań. W przypadku sztywności złącza, współczynniki zmienności, będące miarą tych rozrzutów, są na ogół znacznie większe dla wyników uzyskanych w etapie II. Dla wyników etapu I nie przekraczają z reguły 10%, jedynie dla wariantu V przekraczają ten poziom, a dla wariantu II współczynnik zmienności wynosi aż 23,6%. Natomiast w etapie II współczynniki te mieszczą się w przedziale 17,8 – 25,2%, za wyjątkiem wariantu V, dla którego współczynnik zmienności jest równy 8,9%. Przeciwna prawidłowość dotyczy współczynników zmienności dla momentu niszczącego złącze. Tym razem współczynniki te są na ogół większe dla wyników uzyskanych w etapie I.

Tabela 2. Średnie wartości sił niszczących i odpowiadające im wartości momentu w złączu

Wariant badawczy	ETAP I				ETAP II			
	Wart. średnia siły niszcz. N	Wart. średnia momentu Nm	Odchylenie standardowe Nm	Współczynnik zmienności %	Wart. średnia siły niszcz. N	Wart. średnia momentu Nm	Odchylenie standardowe Nm	Współczynnik zmienności %
I	520,6	78,1	12,5	16,0	374,2	56,1	3,4	6,0
II	340,6	51,1	10,1	19,7	290,2	43,5	2,6	5,9
III	579,4	86,8	8,7	10,0	419,1	51,7	5,4	10,4
IV	486,4	72,9	8,5	11,6	317,8	47,6	3,3	6,9
V	805,4	91,0	6,9	7,5	521,5	53,4	7,2	13,4
VI	685,2	77,5	17,7	22,8	438,0	49,1	5,5	11,2
VII	1570,6	88,9	12,8	14,4	1282,0	72,6	5,7	7,8

Na rys. 7 (etap I) i 8 (etap II) porównano nośności i sztywności rozpatrywanych wariantów mocowania i obciążania próbek połączenia narożnikowego płaskiego o złączu dwukołkowym. Operowano względnymi wartościami nośności i współczynnika sztywności złącza odniesionymi do wariantu VII, dla którego bezwzględne wartości tych wielkości są z reguły największe.

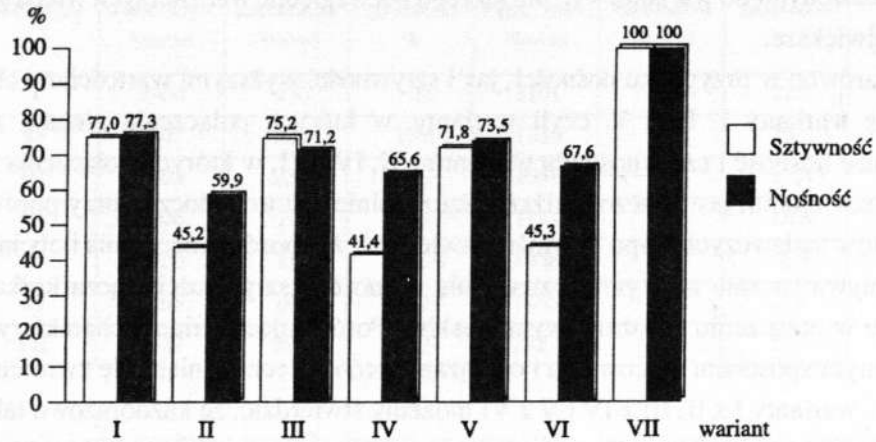
Zarówno w przypadku nośności, jak i sztywności wyższymi wartościami charakteryzują się warianty I, III i V, czyli warianty, w których połączenia ulegają zwieraniu. Natomiast nośność i sztywność dla wariantów II, IV i VI, w których połączenia poddawane są rozwieraniu, jest znacznie niższa. Szczególnie jest to widoczne przy porównywaniu wariantów badawczych etapu II. Można stwierdzić, że sposób mocowania i obciążania próbek wpływa istotnie na wyniki oznaczania nośności i sztywności złącza kołkowego zawartego w połączeniu narożnikowym płaskim. Porównując warianty charakteryzujące się tym samym sposobem mocowania i obciążania próbki, lecz różniące się zwrotem obciążenia, tzn. warianty I z II, III z IV i V z VI możemy stwierdzić, że każdorazowo tak nośność, jak i sztywność jest dla wariantu parzystego, związanego z rozwieraniem połączenia, wyraźnie niższa niż dla wariantu nieparzystego, któremu odpowiada zwieranie połączenia. Średnie obniżenie nośności dla tego porównania wynosi około 20 %, natomiast średnie obniżenie współczynnika sztywności około 30 %.



Rys. 7. Porównanie nośności i sztywności badanego połączenia dla różnych wariantów mocowania i obciążania próbek, odniesione do wariantu VII – etap I

Porównajmy jeszcze wyniki badań etapu I i II. Dla wszystkich wariantów badawczych zarówno sztywność złącza wyrażona współczynnikiem sztywności k , jak i nośność złącza wyrażona wartością momentu niszczonego osiągają większe wartości w przypadku I etapu badań. Jest to trudne do wyjaśnienia. Przebieg obciążania próbek w I i II etapie badań był podobny, prędkość narastania wartości siły obciążającej była jednakowa, a różnica polegała na

tym, że w etapie I zatrzymywano na kilka sekund trawersę maszyny wytrzymałościowej po każdym przyroście siły o 50 N, podczas gdy w etapie II obciążanie odbywało się w sposób ciągły.



Rys. 8. Porównanie nośności i sztywności badanego połączenia dla różnych wariantów mocowania i obciążania próbek, odniesione do wariantu VII – etap II

Porównajmy raz jeszcze rozpatrywane warianty mocowania i obciążania próbek połączenia narożnikowego płaskiego o złączu kołkowym w celu określenia wariantu optymalnego, najbardziej przydatnego do badań wytrzymałościowych tego połączenia. Jako podstawę tego porównania przyjęto 10 kryteriów wymienionych w tab. 3 i 4.

Pierwszymi kryteriami są wartości nośności i sztywności połączenia, przy założeniu, że im są one niższe dla danego wariantu badawczego, tym wariant ten jest lepszy. Niska nośność i sztywność wskazuje na niekorzystne warunki pracy mechanicznej złącza, na duże spiętrzenia naprężeń w jego elementach. Zakłada się, biorąc pod uwagę możliwość występowania różnych rodzajów obciążeń podczas eksploatacji konstrukcji, że ocena połączenia jest tym bardziej miarodajna, im bardziej niekorzystne są warunki pracy złącza zawartego w tym połączeniu. Przy tym założeniu najwyżej – pod względem nośności – należy ocenić wariant II.

Kolejnymi kryteriami są rozrzuty wyników badań nośności i sztywności. Tym razem zakłada się, że małe rozrzuty świadczą korzystnie o wariacie badawczym. Na przykład pod względem rozrzutu wyników badania sztywności w etapie I najwyższą ocenę należy przypisać wariantowi IV.

Wzięto też pod uwagę rozkłady częstości wyników badania nośności i sztywności dla poszczególnych wariantów badawczych (rozkładów tych nie przedstawiono w pracy). O pozytywnej ocenie wariantu świadczy stopień zbliżenia danego rozkładu do rozkładu normalnego wyrażonego krzywą Gaussa.

Jako kryterium porównawcze przyjęto także poprawność wykresu obciążenie – odkształcenie, uznając za prawidłowy taki wykres, który w pierwszej fazie próby wytrzymałościowej jest prostoliniowy i nie ma załamań lub przegięć.

Tabela 3. Porównanie wariantów badawczych według przyjętych kryteriów – etap I

Kryterium	Wsp. wagi	Wariant badawczy													
		I		II		III		IV		V		VI		VII	
		O*	P**	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P
Wartość nośności	3	0	0	2	6	0	0	1	3	0	0	1	3	0	0
Wartość sztywności	3	0	0	1	3	1	3	2	6	0	0	0	0	0	0
Rozrzut wyników dla nośności	2	1	2	1	2	2	4	2	4	2	4	0	0	1	2
Rozrzut wyników dla sztywności	2	1	2	1	2	1	2	2	4	1	2	1	2	1	2
Prawidłowość rozkładu dla nośności	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	1	0	0
Prawidłowość rozkładu dla sztywności	1	1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	0	0	0	0
Poprawność przebiegu zależności deformacji od obciążenia	2	1	2	1	2	2	4	2	4	1	2	0	0	0	0
Łatwość przeprowadzenia próby	2	2	4	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	0	0
Łatwość i dokładność wykonania próbek	2	2	4	2	4	2	4	2	4	1	2	1	2	1	2
Zgodność założonego modelu obciążenia	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
SUMA			17		23		21		31		16		12		7

* – ocena wariantu badawczego ze względu na dane kryterium;

0 – zła, 1 – średnia, 2 – dobra

** – liczba punktów uzyskana jako iloczyn oceny i współczynnika wagi danego kryterium

Tabela 4. Porównanie wariantów badawczych według przyjętych kryteriów – etap II

Kryterium	Wsp. wagi	Wariant badawczy													
		I		II		III		IV		V		VI		VII	
		O*	P**	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P
Wartość nośności	3	1	3	2	6	1	3	1	3	1	3	1	3	0	0
Wartość sztywności	3	1	3	2	6	1	3	2	6	1	3	2	6	0	0
Rozrzut wyników dla nośności	2	2	4	2	4	1	2	2	4	0	0	1	2	1	2
Rozrzut wyników dla sztywności	2	0	0	0	0	1	2	1	2	2	4	0	0	0	0
Prawidłowość rozkładu dla nośności	1	0	0	2	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Prawidłowość rozkładu dla sztywności	1	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
Poprawność przebiegu zależności deformacji od obciążenia	2	2	4	2	4	0	0	1	2	2	4	0	0	0	0
Łatwość przeprowadzenia próby	2	2	4	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	0	0
Łatwość i dokładność wykonania próbek	2	2	4	2	4	2	4	2	4	1	2	1	2	1	2
Zgodność założonego modelu obciążenia	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
SUMA			24		31		18		27		23		18		6

* – ocena wariantu badawczego ze względu na dane kryterium;

0 – zła, 1 – średnia, 2 – dobra

** – liczba punktów uzyskana jako iloczyn oceny i współczynnika wagi danego kryterium

Dotychczasowe kryteria były związane z wynikami badań, kolejne dotyczą procesu badawczego. Uwzględniono łatwość przeprowadzenia próby wytrzymałościowej połączenia, w tym prostotę, typowość niezbędnego oprzyrządowania maszyny wytrzymałościowej. Wzięto pod uwagę łatwość i dokładność wykonania próbek połączenia, tu niżej oceniono próbki stosowane w wariantach V, VI, VII, ze względu na potrzebę precyzyjnego wiercenia otworów w końcówkach ramion tych próbek.

Ostatnie kryterium to zgodność założonego modelu obciążenia połączenia z obciążeniami rzeczywistymi, najczęściej występującymi podczas eksploatacji konstrukcji. Wyżej niż pozostałe oceniono pod tym względem warianty I, II, V i VI.

Poszczególnym wariantom przypisano współczynniki wagi (tab. 3 i 4), preferując wartości nośności i sztywności połączenia. Iloczyny tych współczynników i wyrażonych liczbowo ocen danego wariantu były podstawą ustalenia punktacji dla poszczególnych wariantów próbek połączenia. Warianty o najwyższej punktacji to warianty optymalne ze względu na ich przydatność do badań wytrzymałościowych połączeń narożnikowych płaskich o złączu kołkowym. Biorąc pod uwagę zarówno I, jak i II etap badań, jako optymalne należy uznać warianty II i IV charakteryzujące się rozwieraniem ramion próbki.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań nad wpływem sposobu mocowania i obciążania próbki połączenia narożnikowego o złączu dwukołkowym na sztywność i nośność połączenia można sformułować następujące wnioski:

1. Sposób mocowania i obciążania próbki połączenia wpływa istotnie na wyniki oznaczania jego nośności i sztywności.
2. Najwyższe wartości zapewnia VII wariant badawczy, w którym końce ramion próbki są podparte przesuwnie, a obciążenie przyłożone jest do narożnika.
3. Najniższe wartości uzyskuje się dla wariantu II, w którym jedno z ramion jest utwierdzone w końcowej części, a siła obciążająca działa na koniec drugiego ramienia, prostopadle do jego osi.
4. Obciążenie próbki siłami zwierającymi jej ramiona pozwala uzyskać wyraźnie wyższe wartości niż obciążenie siłami rozwierającymi. Różnice w przypadku nośności połączenia są rzędu 20 %, w przypadku jego sztywności – rzędu 30 %.
5. Wyniki badania nośności i sztywności połączenia zależą od przebiegu narastania siły obciążającej, od tego czy wartość tej siły narasta nieprzerwanie, czy z przerwami.
6. Optymalnymi ze względu na ich przydatność do badań wytrzymałościowych są warianty II i IV, charakteryzujące się rozwieraniem ramion próbki podczas badań.

LITERATURA

Akonom Z., Rybarczyk W. (1988) Błędy wykonania złączy kołkowo-klejowych w meblach kuchennych a ich wytrzymałość statyczna. *Przemysł Drzewny* 2: 9-10.

Albin R., Hunker H. (1985) Zur Festigkeit von Gestellverbindungen. *Holz – und Kunststoffverarbeitung* 4: 70-73.

Albin R., Muller M., Scholze (1987) Festigkeitsuntersuchungen an lacheneckverbindungen im Korpusmobelbau. *Holz als Roh – und Werkstoff* 45: 171-178.

Aoki T., Kojima A., Ugama S. (1963) The strength of dowel joints. Bulletin of Industrial Arts Institute, Tokyo.

Biniek P., Smardzewski J. (1987) Próba ustalenia wpływu jednoczesnych zmian kilku czynników na wytrzymałość połączenia czopowo-widlicowego. *Przemysł Drzewny* 11: 6-8.

Biniek P., Joscak P., Smardzewski J. (1991) Badania nad zastosowaniem połączeń skręcanych w złączach narożnikowych płaskich. *Przemysł Drzewny* 7: 14-15.

Biniek P. (1994) Badania sztywności narożników okiennych po dwudziestu latach składowania. *Przemysł Drzewny* 10: 10-12.

Cai L., Wang F. (1993) Influence of the stiffness of corner joint on case furniture deflection. *Holz als Roh – und Werkstoff* 51: 406-408.

Dzięgielewski S. (1973) Niektóre zagadnienia związane z obliczaniem i badaniem wytrzymałości konstrukcji meblowych. *Przemysł Drzewny* 1: 17-20.

Dzięgielewski S., Nowak K., Kleina W. (1974) Przydatność kołków z tworzyw sztucznych do łączenia elementów meblowych. *Przemysł Drzewny* 1: 17-20.

Dzięgielewski S., Bilski A., Waloszczyk E. (1977) Wpływ średnicy kołków na wytrzymałość kątowych złączy płytowych. *Przemysł Drzewny* 7: 5-8.

Dzięgielewski S. (1992) Zastosowanie kołków z tworzyw sztucznych do łączenia elementów mebli skrzyniowych. *Przemysł Drzewny* 6: 1-3.

Eckelman C.A. (1971) Bending Strength and Moment – Rotation Characteristics of Two – Pin Moment – Resisting Dowel Joints. *Forest Products Journal* 3: 35-39.

Kopia F., Seltmann J. (1983) Betrachtungen zum thermoplastischen Anformen. *Holztechnologie* 1: 34-39.

Korzeniowski A.M., Bieliński J. (1979): Udział poszczególnych powierzchni czopa w sztywności i nośności kątowych złączy czopowo-gniazdowych. *Przemysł Drzewny* 9: 32-36.

Korzeniowski A.M. (1982) Fit improves properties of joints. *Furniture Manufacturer* 1: 45-46.

Leśnikowski A., Druet T. (1960) Połączenia elementów mebli z płyt wiórowych. *Przemysł Drzewny* 9: 14-17.

Rabiej R. (1981) Untersuchungen zur Tragfähigkeit und Verformung geklebter Rahmeneckverbindungen bei Kurzzeitbelastung. *Holztechnologie* 2: 89-96.

Rabiej R., Ramrattan S.N., Droll W. (1993) Factors affecting the load-bearing capacity of MOD – EEZ Connectors. *Forest Products Journal* 9: 49-57.

Rybski A. (1979) Wpływ rodzaju pasowania na wytrzymałość krytych złączy czopowych. *Przemysł Drzewny* 4: 16-18.

Smardzewski J., Tuherm H., Biniek P. (1992) Próba opracowania modelu matematycznego oceny sztywności połączenia czopowo-widlicowego w zmiennych warunkach technologicznych. *Przemysł Drzewny* 2: 1-3.

Zhang J., Eckelman C.A. (1993) The bending moment resistance of single-dowel corner joints in case construction. *Forest Products Journal* 6: 19-24.

EFFECT OF WAYS OF HOLDING AND LOADING SPECIMENS OF TWIN DOWEL CORNER JOINT ON STIFFNESS AND LOAD CAPACITY OF THE JOINT

Summary

Effect of ways of holding and loading specimens of twin dowel corner joint on stiffness and load capacity of the joint was investigated. Seven ways of holding and loading were compared. It was found that these factors influenced significantly on the stiffness and ultimate load capacity of tested joints.