

Ewa SUDOŁ\*

Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie

## BADANIA WPŁYWU ŚRODKÓW PROADHEZYJNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI SPOIN Z KLEJÓW PVAC I WYBRANYCH GATUNKÓW MAHONI AFRYKAŃSKICH

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań nad wpływem wybranych środków proadhezyjnych typu wodorozcieńczalnego i rozpuszczalnikowego na wytrzymałość i odporność spoin z 1K oraz 2K klejów PVAC z utwardzaczami na bazie  $AlCl_3$  oraz  $Al(NO_3)_3$  i drewna acajou oraz sapeli. Określono wytrzymałość spoin na ścinanie przy ściskaniu, po oddziaływaniach termiczno-wilgotnościowych charakterystycznych dla elementów przeznaczonych do produkcji okien. Zastosowanie środka proadhezyjnego wodorozcieńczalnego poskutkowało nieznacznym obniżeniem wytrzymałości spoin, przy jednoczesnym polepszeniu wodo- i termoodporności. Wpływ ten okazał się jednak niedostateczny do uzyskania odporności wymaganej dla elementów do okien. Zastosowanie środka rozpuszczalnikowego spowodowało spadek zarówno wytrzymałości, jak i odporności spoin.

## THE INFLUENCE STUDY OF ADHESION PROMOTERS ON PROPERTIES OF GLUE LINE FROM PVAC ADHESIVES AND SELECTED AFRICAN MAHOGANY SPECIES

**Summary.** The article presents the results of the influence of water-borne and solvent-borne adhesion promoters on the shear strength of glue lines made of one – and two components (catalyzed with  $AlCl_3$  and  $Al(NO_3)_3$ ) PVAC adhesives and acajou and sapeli wood, in the conditions water and thermal resistance tests.

### 1. Wprowadzenie

Przez dziesięciolecia podstawowym surowcem do produkcji okien było w Polsce drewno sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). W połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia podjęto także na skalę przemysłową produkcję okien z azjatyckiego drewna red meranti (*Shorea* spp.). W ciągu zaledwie kilku lat zyskały one ogromną

\* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Stanisław Proszek.

popularność. Producenci okien drewnianych, zachęceni sukcesem handlowym stolarki z drewna red meranti, zaczęli rozważać wprowadzenie kolejnych gatunków egzotycznych. Impulsem intensyfikującym ich działania w tym zakresie było załamanie się jakości i ciągłości dostaw drewna red meranti w ostatnich latach.

Zainteresowanie producentów okien wzbudzają m.in. mahonie afrykańskie *Meliaceae* (miodłowate), w szczególności rodzaj *Khaya*, a zwłaszcza gatunek *Khaya involvensis* A.Chev., znany w handlu pod nazwą acajou oraz rodzaj *Entandrophragma*, w tym *Entandrophragma cylindricum* Sprague, o nazwie handlowej sapeli. Charakteryzują się one nieprzeciętnymi walorami estetyczno-dekoracyjnymi i dobrymi właściwościami fizyko - mechanicznymi [1,2].

Z uwagi na fakt, iż elementy konstrukcyjne współczesnych okien wykonywane są z drewna klejonego warstwowo, wprowadzenie nowych gatunków wymaga szczegółowego rozpatrzenia aspektu ich sklejalności. Drewno gatunków pozaeuropejskich zawiera bowiem duże ilości składników ubocznych, takich jak żywice, olejki eteryczne, woski, tłuszcze, garbniki, barwniki, substancje białkowe i inne, o zróżnicowanym składzie chemicznym, wpływających często ujemnie na proces klejenia. Składniki te zwykle utrudniają zwilżalność sklejaných powierzchni bądź inhibują procesy zestalania się klejów [5]. Zakłócenia procesów klejenia, spowodowane obecnością składników ubocznych, zostały dość obszernie opisane dla klejów polikondensacyjnych – UF, PF, MUF. Nieliczne natomiast prace z zakresu sklejalności drewna egzotycznego klejami na bazie dyspersji PVAC, powszechnie stosowanymi w produkcji okien, wskazują, iż wytrzymałość i odporność spoin klejowych jest zróżnicowana i zależna zarówno od gatunku drewna, jak i rodzaju kleju [4,6]. Niektóre badania wskazują ponadto, na zbyt niską odporność spoin klejowych na wpływ czynników termiczno-wilgotnościowych, w kontekście stosowania elementów klejonych warstwowo w oknach [6].

Analiza sposobów przygotowania powierzchni trudno sklejalnych, w celu polepszenia ich zwilżalności, wskazuje, że metodą stosunkowo uniwersalną, relatywnie prostą i niewymagającą zastosowania specjalistycznych narzędzi jest wprowadzenie środków proadhezyjnych (tzw. promotorów adhezji). Środki te oferowane są jako systemy wodorozcieńczalne lub rozpuszczalnikowe, bazujące zwykle na pochodnych kwasu krzemowego oraz izocyjanianach. Mogą być one aplikowane różnymi metodami, istotne jest jednakże uzyskanie monowarstwy. Korzystne rezultaty prób zastosowania środków proadhezyjnych do drewna wybranych gatunków egzotycznych [4] skłoniły do podjęcia badań nad ich wpływem na właściwości spoin z nowej generacji klejów PVAC oraz drewna acajou i sapeli, których wyniki prezentowano w niniejszej pracy.

## 2. Materiały i metody badań

Drewno wytypowanych do badań gatunków mahoni afrykańskich: acajou (*Khaya ivorensis* A.Chev.) oraz sapeli (*Entandrophragma cylindricum* Sprague), charakteryzowało się jakością odpowiadającą klasie J2 wg PN-EN 942:2008, gęstością  $650\div 700 \text{ kg/m}^3$  (acajou) i  $650\div 780 \text{ kg/m}^3$  (sapeli) oraz wilgotnością  $9\div 13\%$ .

Z ofert klejów stosowanych w produkcji stolarki okiennej wybrano następujące:

- klej jednoskładnikowy na bazie dyspersji PVAC (1K PVAC),
- klej dwuskładnikowy na bazie dyspersji PVAC z 5% (cz. wag.) dodatkiem utwardzacza na bazie  $\text{AlCl}_3$  (2K PVAC+ $\text{AlCl}_3$ ),
- klej dwuskładnikowy na bazie dyspersji PVAC z 5% (cz. wag.) dodatkiem utwardzacza na bazie  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  (2K PVAC+ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ).

Podstawowe właściwości klejów lub ich składników (w przypadku układów 2K) podano, na podstawie kart katalogowych producenta w tabeli 1.

Tabela 1

Właściwości klejów/składników klejów użytych do badań

Właściwość, jednostka	Rodzaj kleju			
	1K		2K	
	rodzaj składnika			
	dyspersja PVAC	utwardzacz $\text{AlCl}_3$	dyspersja PVAC	utwardzacz $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
Gęstość, $\text{g/cm}^3$	1,05	1,25	1,06	1,25
Lepkość met. Brookfielda, mPas	6 000	brak danych	9 000	brak danych
Zawartość suchej substancji, %	50	45	51	62
pH	2,7	1	5,0	1
MTTB, °C	6	–	5	–

Wszystkie wybrane kleje sklasyfikowane zostały jako odpowiadające klasie trwałości D4 wg PN-EN 204:2002 oraz odporne na działanie temp.  $80^\circ\text{C}$  (w badaniu wg PN-EN 14257:2007).

Do badań wytypowano dwa środki proadhezyjne: wodorozcieńczalny (W-1) oraz rozpuszczalnikowy (R-1), stosowane w przemyśle dla polepszenia zwilżalności tworzyw sztucznych (głównie folii), przeznaczonych do klejenia przy użyciu klejów PVAC. Charakterystykę środków wg danych z kart katalogowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

## Właściwości środków proadhezyjnych użytych do badań

Właściwość, jednostka	Rodzaj środka proadhezyjnego	
	W-1	R-1
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,08	0,88
Lepkość, mPas	2 300 (Brookfield)	230 (Hoeppler)
Zawartość suchej substancji, %	32	15

Przygotowanie elementów warstwowych (półfabrykatów) wykonano w warunkach przemysłowych. Drewno acajou i sapeli, w postaci lameli o wymiarach przekroju poprzecznego 50÷120 x 24 mm i długości 1,5÷2 m, poddano obróbce struganiem. Bezpośrednio po niej naniesiono na powierzchnie wybranych lameli, przy użyciu aplikatorów szczelinowych, środki proadhezyjne, dążąc do uzyskania warstwy grubości 30 µm. Tak przygotowane lamele poddano 24 h klimatyzacji, w celu zestalenia naniesionej warstwy, po czym przy zachowaniu parametrów zestawionych w tabeli 3. Lamele bez środka proadhezyjnego klejono analogicznie. Z wykonanych w ten sposób elementów warstwowych pozyskano, zgodnie z wytycznymi PN-B-03156:1997, próbki do badań.

Tabela 3

## Podstawowe parametry klejenia

Parametr, jednostka	Wartość
Sposób naniesienia	przy użyciu żłobkowanej nakładarki walcowej, jednostronnie
Ilość naniesienia, g/m <sup>2</sup>	200
Czas otwarty, min.	1
Ciśnienie prasowania, MPa	0,6
Czas prasowania, h	24

Program badawczy obejmował określenie wytrzymałości i odporności spoin klejowych wg PN-B-03156:1997. Badano wytrzymałość spoin na ścinanie przy ściskaniu, po sezonowaniu próbek w warunkach zgodnych z wytycznymi ITB zawartymi w ZUAT-15/III.11/2005, stanowiących podstawę do oceny przydatności m.in. elementów z drewna klejonego warstwowo do wykonywania okien. Warunki te oraz stosowane wymagania przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wymagania dla wytrzymałości na ścinanie spoin klejowych  
w elementach z drewna sosnowego, przeznaczonych do produkcji okien,  
wg ZUAT-15/III.11/2005

Warunki sezonowania	Wytrzymałość na ścinanie przy ściskaniu, MPa
168h w klimacie normalnym	≥ 9,0
168h w klimacie normalnym i 86h w wodzie o temp. 20±2°C	≥ 3,2
168h w klimacie normalnym i 3h w temp. 80±2°C	≥ 5,0

### 3. Wyniki badań i ich omówienie

Uzyskane w pracy wyniki badań zestawiono w tabelach 5÷7.

Tabela 5

Wyniki badań wytrzymałości spoin klejowych na ścinanie  
po 168 h sezonowania w klimacie normalnym

Rodzaj kleju	Rodzaj środka proadhezyjnego	Gatunek drewna					
		acajou			Sapeli		
		Wyniki badań <sup>1)</sup>					
		f <sub>v</sub> , MPa	v, %	WFP, %	f <sub>v</sub> , MPa	v, %	WFP, %
1K PVAC	–	10,7	12	70	10,8	11	90
	W-1	9,3	16	50	9,5	18	70
	R-1	8,4	18	40	9,0	20	30
2K PVAC+AlCl <sub>3</sub>	–	10,4	12	80	10,8	11	90
	W-1	9,9	19	60	8,6	16	70
	R-1	9,2	16	30	7,6	22	20
2K PVAC+Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	–	10,8	14	90	11,1	13	90
	W-1	11,0	17	60	10,7	19	50
	R-1	8,1	23	20	7,2	17	40

<sup>1)</sup> f<sub>v</sub> – wytrzymałość na ścinanie przy ściskaniu, WFP – udział zniszczenia w drewnie

Tabela 6

Wyniki badań wytrzymałości spoin klejowych na ścinanie  
po 168 h sezonowania w klimacie normalnym i 86 h w wodzie o temp.  $20 \pm 2^\circ\text{C}$

Rodzaj kleju	Rodzaj środka proadhezyjnego	Gatunek drewna					
		acajou			sapeli		
		Wyniki badań <sup>1)</sup>					
		$f_v$ , MPa	$v$ , %	WFP, %	$f_v$ , MPa	$v$ , %	WFP, %
1K PVAC	–	1,3	23	0	1,1	27	0
	W-1	2,4	19	0	2,6	16	0
	R-1	0,9	16	0	1,3	15	0
2K PVAC+AlCl <sub>3</sub>	–	1,9	11	0	2,1	19	0
	W-1	2,8	14	0	2,2	15	0
	R-1	1,2	13	0	1,0	21	0
2K PVAC+Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	–	2,0	15	0	2,1	19	0
	W-1	3,0	15	30	2,3	14	10
	R-1	1,2	17	0	1,1	15	0

<sup>1)</sup> por. tabela 5

Tabela 7

Wyniki badań wytrzymałości spoin klejowych na ścinanie  
po 168 h sezonowania w klimacie normalnym i 3 h w temp.  $80 \pm 2^\circ\text{C}$

Rodzaj kleju	Rodzaj środka proadhezyjnego	Gatunek drewna					
		sapeli			sapeli		
		Wyniki badań <sup>1)</sup>					
		$f_v$ , MPa	$v$ , %	WFP, %	$f_v$ , MPa	$v$ , %	WFP, %
1K PVAC	–	2,3	13	0	2,1	29	0
	W-1	3,9	17	20	2,0	19	0
	R-1	1,3	12	0	0,9	22	0
2K PVAC+AlCl <sub>3</sub>	–	2,2	14	0	2,1	24	0
	W-1	2,9	14	0	4,0	16	10
	R-1	1,0	17	0	0,8	16	0
2K PVAC+Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	–	1,7	18	0	3,0	20	0
	W-1	2,3	16	0	3,7	15	10
	R-1	0,7	12	0	0,9	17	0

<sup>1)</sup> por. tabela 5

Analiza danych zestawionych w tabeli 5 wskazuje, że wprowadzenie środków proadhezyjnych pogorszyło wytrzymałość spoin (poza układem acajou - W-1 –

2K PVAC+Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, gdzie stwierdzono nieznaczny wzrost wytrzymałości). Wpływ ten najwyraźniej zaznaczył się w przypadku środka rozpuszczalnikowego R-1. W układach z R-1 zaobserwowano wyraźny spadek wytrzymałości połączeń wykonanych przy użyciu wszystkich trzech rozpatrywanych klejów, połączone z obniżeniem udziału zniszczenia w obrębie drewna (WPF).

Rozpatrując dane z tabel 6 i 7, można stwierdzić, że użycie środków proadhezyjnych okazało się zabiegiem skutecznym w zakresie polepszenia wodoodporności spoin (której miarą jest wytrzymałość na ścinanie po oddziaływaniu wody) oraz termoodporności spoin (wyrażoną wytrzymałością na ścinanie po oddziaływaniu temperatury 80°C). W odniesieniu do obydwu tych właściwości wprowadzenie wodorozcieńczalnego środka W-1 spowodowało polepszenie odporności (poza układem sapeli – W-1 –1K PVAC, gdzie stwierdzono nieznaczne pogorszenie). Niekorzystny wpływ na rozpatrywane właściwości miało natomiast użycie środka rozpuszczalnikowego. Wszystkie analizowane połączenia z R-1 (poza układem sapeli – R-1 –1K PVAC) cechuje niższa odporność niż analogicznych układów bez środka proadhezyjnego. Należy jednocześnie zauważyć, że odnotowane pogorszenie rozpatrywanych właściwości spoin wykonanych z użyciem R-1 może być związane z naniesieniem na drewno niedostatecznie cienkiej warstwy tego środka proadhezyjnego. Odparowywanie rozpuszczalnika następuje bowiem bardzo szybko, powodując niemal błyskawiczne utwardzanie się warstwy, co utrudnia usuwanie nadmiaru środka aplikatorem szczelinowym. Kwestia ta wymaga dalszego rozpatrzenia.

Porównując uzyskane w pracy wyniki z wymaganiami przyjętymi w ZUAT-15/III.11/2005 (por. tabela 4) dla elementów z drewna sosnowego klejonego warstwowo, można stwierdzić, że mimo korzystnego wpływu wodorozcieńczalnego środka proadhezyjnego na wodo- i termoodporność spoin, nie uzyskano połączeń o odporności wymaganej dla elementów przeznaczonych do produkcji okien.

#### 4. Podsumowanie

W świetle prezentowanych wyników badań można stwierdzić, że środki proadhezyjne – wodorozcieńczalny i rozpuszczalnikowy – wywierają wpływ na właściwości spoin z klejów PVAC oraz drewna acajou i sapeli. Wprowadzenie środka wodorozcieńczalnego skutkowało nieznacznym obniżeniem wytrzymałości spoin, przy jednoczesnym polepszeniu ich wodo- i termoodporności. Wpływ ten okazał się jednak niedostateczny do uzyskania odporności wymaganej dla elementów przeznaczonych

dla produkcji okien. Zastosowanie środka rozpuszczalnikowego spowodowało spadek zarówno wytrzymałości, jak i odporności spin.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dźbeński W.: Drewno mahoniowe i mahoniopodobne. *Przemysł Drzewny* nr 8 (49), 1998 s. 1–5.
2. Kozakiewicz P., Szkarłat D.: Mahonie – „czerwone” drewno. *Podłoga* nr 9, 2003, s. 30-40.
3. Krystofiak T., Proszyk S.: The influence of silane adhesion promoters on the splitting strength of glue lines from PVAC adhesives and some exotic wood species. *Ann. Warsaw Agricul. Univ. – SGGW, For. and Wood Techno.* No. 56, 2005, p. 389-393.
4. Krystofiak T., Proszyk S., Dobrowolski J.: Badania sklejalności wybranych gatunków drewna egzotycznego przy użyciu klejów PVAC i PUR. *Materiały II Międzynarodowego Seminarium nt. „Nowości w dziedzinie klejów stosowanych do stolarki budowlanej”*, Poznań, 05.11.1997, s. 99-104.
5. Proszyk S., Przybylak A.: Wpływ ubocznych składników drewna na utwardzanie środków wiążących i uszlachetniających. *Skrypty AR w Poznaniu*, Poznań 1986.
6. Sudół E.: Research on strength and resistance of glue line from PVAC adhesive and selected exotic wood species. *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, No. 62, 2007, p. 265-270;
7. ZUAT–15/III.11/2005 „Zalecenia Udzielania Aprobata Technicznych. Okna i drzwi balkonowe z kształtowników z nieplastyfikowanego polichlorku winylu [PVC–U], z kształtowników aluminiowych lub z drewna klejonego warstwowo.” *Wyd. Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie.*

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Jasieńko