

**Tomasz KRYSZTOFIK, Stanisław PROSZYK, Barbara LIS**

## **KLEJE DO PRODUKCJI WIELKOWYMIAROWYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH Z DREWNA DLA BUDOWNICTWA**

*Rozwój budownictwa z drewna związany jest z postępowaniem w dziedzinie środków wiążących. W artykule na podstawie danych literaturowych, w tym także rezultatów badań własnych oraz doświadczeń wynikających z praktyki przemysłowej, przedstawiono stan wiedzy w dziedzinie klejów przeznaczonych do produkcji wielkowieściowych elementów konstrukcyjnych z drewna dla budownictwa. Zaakcentowano problemy natury ogólnej z zakresu budownictwa z drewna, prezentując następnie wybrane zagadnienia dotyczące zastosowań klejów rezorcynowych i alkilorezorcynowych, melaminowych oraz poliuretanowych w technologiach produkcji warstwowo klejonych elementów konstrukcyjnych z drewna, w szczególności o charakterze nośnym. Zwrócono uwagę na wybrane kwestie technologiczne wynikające ze specyfiki poszczególnych klejów z uwzględnieniem wytrzymałości uzyskiwanych spoin oraz ich odporności na wybrane czynniki.*

**Słowa kluczowe:** budownictwo, drewno, środek wiążący, technologia klejenia, konstrukcja wielkowieściowa, spoina, wytrzymałość, odporność

### **Wstęp**

Technika budownictwa z drewna rozwijana i doskonalona była przez tysiąclecia, jednak jej renesans i dynamiczny rozwój nastąpił w ciągu ostatnich dziesięcioleci, a na przodujących pozycjach w realizacjach różnych obiektów wykonanych

---

Tomasz KRYSZTOFIK, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, Polska

e-mail: tomkrys@au.poznan.pl

Stanisław PROSZYK, Instytut Technologii Drewna, Poznań, Polska

Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, Polska

e-mail: sproszyk@au.poznan.pl

Barbara LIS, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

Polska, e-mail: blis@au.poznan.pl

z drewna i tworzyw drewnopochodnych plasują się USA, Kanada, kraje skandynawskie oraz Niemcy. Stało się to możliwe dzięki połączeniu doświadczeń z poprzednich epok ze współczesną szeroko rozumianą techniką, wprowadzaniem nowych rozwiązań w zakresie materiałów, w tym w szczególności związanych z postępowaniem w dziedzinie klejów do drewna.

Belki drewniane klejone warstwowo zastosowano w budownictwie po raz pierwszy w 1893 roku w konstrukcji dachowej hali jednego z audytoriów w Bazylei. W 1910 roku rozwiązanie dotyczące elementów konstrukcyjnych wytwarzanych z tarcicy klejonej warstwowo zostało opatentowane jako tzw. system Hetzera. W literaturze fachowej, głównie niemieckojęzycznej, belki klejone warstwowo nadal określane są dźwigarami Hetzera. Poza Europą pierwszy obiekt wykonany w technologii warstwowego klejenia drewna powstał w Madison (USA) w 1934 roku [Biliszczyk i in. 2001].

Wprowadzenie do budownictwa drewna klejonego w postaci przede wszystkim różnego rodzaju belek, krokwi, dźwigarów i słupów w miejsce stosowanych przez stulecia rozwiązań ciesielskich z elementów litych, stworzyło znaczące możliwości różnych nowych koncepcji technicznych, przewyższających pod wieloma względami tak zarówno rozwiązania dotychczasowe, jak i wykonywane ze stali lub żelbetu. Najczęściej realizuje się projekty budowlane w rozwiązaniach na bazie konstrukcji płaskich w postaci dźwigarów o przekroju stałym lub zmiennym, belkowych układów trójprzegubowych, łuków oraz ram, rzadziej zaś konstrukcje przestrzenne, takie jak: kopuły, łupiny o kształcie na przykład paraboloidu hiperbolicznego i tarczownicy. Możliwości nadawania klejonym elementom różnego rodzaju krzywizn w procesie prasowania, rozszerza znacznie zakres stosowania klejonego drewna zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i architektonicznym, stwarzając możliwości realizacji projektów częstokroć o znamionach ekstrawagancji, nieosiągalnych przy zastosowaniu innych materiałów budowlanych. Drewno warstwowo klejone dzięki licznym cechom technicznym, a także, co nabiera coraz większej rangi, aspektom ekologicznym, znajduje coraz szersze zastosowanie w nowoczesnych konstrukcjach, zwłaszcza o dużej rozpiętości, będąc szczególnie przydatne w budowie obiektów sakralnych oraz hal sportowo-widowiskowych i przemysłowych, a dzięki wykazywanej chemoodporności także do pomieszczeń magazynowych przeznaczonych do składowania niektórych chemikaliów o specyficznych zagrożeniach korozyjnych. Nie bez znaczenia jest także możliwość uzyskiwania elementów budowlanych ze sklejenego drewna zabezpieczonego zarówno przeciwoogniowo, jak i na działanie rozmaitych czynników biotycznych. W praktyce zwykle cechy te uzyskuje się przez sklejenie łatwo nasycalnej tarcicy drewna sosny, pozyskanej z części bielastej pnia i odpowiednim jej zabezpieczeniu środkami impregnacyjnymi. W ostatnich latach coraz większe możliwości stwarza zastosowaniem klejonego drewna w kombinacji ze zwiększającym się udziałem różnych materiałów drewnopochodnych, takich jak na przykład *Introllam*, *LVL*,

*OSB, Parallam, PSL, Scrimber, WISA-WOOD i Zephyrwood*. Oferowane są projekty o bardzo szerokiej gamie rozwiązań technicznych, na przykład z żebrami klejonymi o kształtach parabolicznych, z pasem górnym z drewna klejonego i dolnym ze stali, kratownic przestrzennych, struktur z pasem górnym w postaci płyty żebrowej ze sklejki wodoodpornej oraz pasem dolnym z prętów stalowych i rusztów drewnianych.

Istotną rangę w realizacji tych odpowiedzialnych rozwiązań, jak już nadmieniono, spełniają w pierwszym rzędzie kleje i odpowiednie technologie ich stosowania, stwarzając coraz to inne możliwości w zakresie kształtowania, bądź korygowania technicznych charakterystyk sklejonych elementów, przy zapewnieniu ich określonej funkcjonalności oraz trwałości [Mielczarek 1994; Ganowicz, Guzenda 1996; Kosiorek, Wróblewski 1996; Draškovič i in. 1999; Rapp 1999a; Smardzewski 1999; Guzenda 2004].

Do lat czterdziestych XX wieku w wytwarzaniu klejonych dźwigarów z drewna stosowano środki wiążące z grupy klejów kazeinowych, które w świetle kryteriów oceny jakości spoin zalicza się do układów mało odpornych na działanie czynników atmosferycznych. Z tych też względów zastosowanie dźwigarów w budownictwie w tamtych latach ograniczało się niemal wyłącznie do obiektów zamkniętych. Opracowanie i wdrożenie do praktyki w latach 1930–1940 klejów na bazie żywic rezorcynowo-fenolowo-formaldehydowych (RPF), które nadal dość powszechnie są stosowane, a także wprowadzenie nowych generacji alternatywnych środków wiążących oferowanych z początkiem bieżącego stulecia, przede wszystkim z grupy żywic melaminowo-mocznikowo-formaldehydowych (MUF) oraz poliuretanowych (PUR), a także epoksydowych, zapewniających spoiny o wysokiej wytrzymałości i wodoodporności, wydatnie rozszerzyło zakres możliwości zarówno realizacyjnych w zakresie nośności, jak i zastosowań klejonego drewna w różnych dziedzinach budownictwa.

Klejone elementy drewniane eksploatowane w warunkach narażenia na czynniki klimatyczne, powinny być łączone za pomocą środków wiążących, zapewniających najwyższą wytrzymałość na różnego rodzaju obciążenia zarówno statyczne, jak i dynamiczne oraz odporność na działanie zwłaszcza wody i temperatury, a w przypadku ich stosowania do klejenia drewna o zabezpieczonych powierzchniach, powinny charakteryzować się brakiem wrażliwości na określone impregnaty. Oprócz powszechnie i niemal wyłącznie używanych do warstwowego łączenia drewna dla budownictwa, a w szczególności do konstrukcji nośnych, klejów RPF, w ostatnich latach coraz szersze zastosowanie znajdują nowe generacje klejów bazujące na żywicach MUF oraz PUR, wypierając w bardzo skuteczny sposób kleje RPF, które jeszcze kilka lat temu zajmowały pozycję dominującą. Nadal kontynuowane są także prace nad opracowaniem modyfikowanych wersji klejów epoksydowych oraz poliuretanowych.

W niniejszym artykule przedstawiono na podstawie danych literaturowych oraz doświadczeń wynikających z praktyki drzewnictwa przegląd wybranych zagadnień z zakresu klejów oferowanych do produkcji wielkowymiarowych nośnych elementów konstrukcyjnych z drewna warstwowo klejonego, przeznaczonych dla budownictwa.

## Ogólna charakterystyka klejów

W latach 1940–1995 dominującą pozycję w dziedzinie spoiw do produkcji wielkowymiarowych nośnych, warstwowo klejonych elementów konstrukcyjnych z drewna posiadały kleje rezorcynowe, oferowane w wersjach nowolakowych żywic RPF utwardzanych dodatkiem paraformaldehydu. Kleje te ówczasie jako jedyne spełniały wszelkie wymagania techniczne w zakresie procedur jakościowych weryfikowanych przez Instytut Otto-Grafa w Stuttgarcie (FMPA) jako jednostki certyfikującej o zasięgu ogólnosiwiatowym. Kleje RPF legitymują się wszelkimi atestami i aprobatami rekomendującymi je, bez jakichkolwiek ograniczeń do warstwowego klejenia drewna, przeznaczonego do zastosowań w charakterze nośnych elementów konstrukcyjnych. Przez dziesiątki lat prowadzono szeroko zakrojone prace badawcze nad opracowaniem innych alternatywnych spoiw, koncentrując się przede wszystkim na klejach MUF oraz PUR w wersji systemów jednokomponentowych (1K), bazujących na prepolimerach izocyjanianowych. Kleje te pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia uzyskały podobny status w zakresie jakości spoin jak środki wiążące RPF, ugruntowując następnie w kolejnych latach wiodącą pozycję. Według danych Instytutu Otto-Grafa [Radovič, Rothkopf 2003], w zakresie klejenia elementów konstrukcyjnych z drewna wytwarzanego zgodnie z wymaganiami procedury DIN 1052, w Europie uprawnienia uzyskało 170 specjalistycznych firm (tabela 1). Z analizy danych zawartych w tabeli 1 wynika, że w ciągu ostatnich lat kleje RPF w licznych zastosowaniach z powodzeniem zastąpiono klejami MUF oraz 1K PUR.

Jak już zasygnalizowano, przedmiotem zainteresowania producentów wyposażenia dla budownictwa są także inne rodzaje klejów, a zwłaszcza bazujące na żywicach epoksydowych, poliestrowych oraz polioctanowinyloowych (PVAC). Kleje epoksydowe oraz poliestrowe są dość powszechnie stosowane do wykonywania różnego rodzaju prac remontowych konstrukcji drewnianych, często w kombinacji ze wzmocnieniami ze stali oraz włókien syntetycznych, które prowadzi się zwłaszcza w ramach rewitalizacji więźb dachowych w różnych obiektach zabytkowych [Rapp 1999b; Proszyk, Krystofiak, Kurtyka 2002; Proszyk i in. 2002]. Do wyrobu niektórych elementów warstwowo klejonych konstrukcji z drewna o charakterze nienośnym, na przykład różnego rodzaju wypełnień oraz kratownic stosowano już niemal całkowicie wycofane chemo-

utwardzalne kleje fenolowe [Proszyk 1988a, b], a także melaminowo-mocznikowo-formaldehydowo-furfuralowe (M2-F2), zaś do pewnych rozwiązań technicznych eksploatowanych w ogrzewanych obiektach zamkniętych modyfikowane kleje mocznikowe (UF). Warto także nadmienić, że do łączenia elementów warstwowych klejonych z drewna, stosowanych powszechnie w charakterze półfabrykatów w produkcji stolarki okiennej i drzwiowej, powszechnie używa się modyfikowanych dyspersyjnych klejów PVAC, spośród których najczęściej stosowane są dwukomponentowe systemy (2K) katalizowane kwasami Lewisa (np. 20% roztwór  $AlCl_3$ ) lub izocyjanianami (kleje EPI). Uzyskiwane z tych klejów spoiny spełniają wymagania klasy wodoodporności D4 według wymagań PN EN 204 oraz termoodporności na poziomie wartości  $80^\circ C$  w świetle ustaleń procedury WATT'91 [Gos 1996; Proszyk 1996; Krystofiak i in. 1997; Proszyk, Krystofiak 1997].

### **Kleje RPF i alkilorezorcynowe (ARPF)**

Kleje RPF spośród syntetycznych środków wiążących mają najdłuższą, już niemal 70-letnią, niezwykle bogato udokumentowaną faktografię w zakresie zastosowań do produkcji drewna klejonego w budownictwie, co zapewnia im tym samym niepodważalną rękojmię techniczną. W ostatnich latach nie prowadzi się prac rozwojowych poświęconych tej grupie produktów i, jak już uprzednio nadmieniono, wyraźnie straciły na znaczeniu. Godnym odnotowania jedynie jest urozmaicenie oferty utwardzaczy, które oprócz dotychczasowej standardowej postaci sproszkowanej, dość uciążliwej w procesie homogenizowania mas, oferowane są w formie odpowiednio sporządzonych zawiesin, co wydatnie usprawnia ich aplikację.

Należy podkreślić, iż warstwowe konstrukcje drewniane na bazie tych klejów, zastosowane w różnego rodzaju budowlach oraz mostach, w rozmaitych rozwiązaniach konstrukcyjnych, użytkowane przez dziesiątki lat na kontynentach całego świata, w bardzo zróżnicowanych warunkach klimatycznych, przy rozmaitych rodzajach wywieranych obciążeń na spoiny klejowe, pozostają we wszystkich ocenianych obiektach w doskonałym stanie technicznym. Wytrzymałość i odporność spoin na działanie różnych czynników jest w przypadku prawidłowego utwardzenia tych klejów, nadzwyczaj duża. Na podstawie wieloletnich doświadczeń i wykonanych ekspertyz technicznych, spoiny te są ogólnie uważane za bardzo odporne na długotrwałe wpływy czynników atmosferycznych i morskiej wody oraz różnego rodzaju obciążenia. Znoszą doskonale wszelkiego typu zmiany desorpcyjne drewna podczas testowania sklejonych próbek w wodzie o różnej temperaturze, a także wielokrotnie cyklicznie powtarzane zanurzanie we wrzącej wodzie i suszenie w gorącym powietrzu. Spoiny klejowe są odporne także na działanie wielu agresywnych chemikaliów. Oprócz

tak istotnej dla tych produktów dużej trwałości spoin, kleje te umożliwiają sklejenie drewna o podwyższonej wilgotności nawet do 25%. Sklejając nimi można ponadto drewno zabezpieczone powierzchniowo różnymi impregnatami przeciwogniowymi lub o działaniu biotycznym, a także modyfikowane.

Do mankamentów tych klejów, coraz silniej akcentowanych zwłaszcza w ostatnich latach, zalicza się ciemną kolorystykę spoin obniżającą walory estetyczno-dekoracyjne sklejonego drewna, w szczególności w strefach połączeń mikrowczepowych, relatywnie krótki czas otwarty klejenia, co praktycznie uniemożliwia w porze letniej przy podwyższonej temperaturze w halach fabrycznych efektywne prowadzenie procesów technologicznych w produkcji warstwowych elementów o znacznych długościach (>20 m), stosowanie kleju jedynie w konwencjonalnych układach mas homogenizowanych 2K, co automatycznie wyklucza inne rozwiązania aplikacyjne, na przykład w systemach selektywnego nakładania komponentów, a także limituje czas przydatności do stosowania, generując tym samym powstawanie uciążliwych odpadów poprodukcyjnych wymagających specjalistycznych procedur utylizacji, długie czasy prasowania sklejaných zestawów (14÷16 h), co rzutuje na niską wydajność urządzeń produkcyjnych, a zarazem wysoką kosztowność procesów technologicznych [Christjanson, Köösel 2001; Christjansen, Okkonen 2003a, b].

Do doskonałymi referencjami wśród środków wiążących z grupy rezorcynowych, w pełni predysponujących je do produkcji dźwigarów z warstwowo sklejonego drewna, legitymują się kleje ARPF oferowane o akronimie handlowym DFK i odpowiednich identyfikatorach cyfrowo-literowych, które opracowano w połowie lat 80. ubiegłego stulecia na Politechnice w Tallinnie (Estonia), wdrażając je następnie do praktyki przemysłowej. Do produkcji konstrukcji wielkowymiarowych z drewna przeznaczone są spośród oferowanej dość szerokiej palety klejów, dwa produkty o oznakowaniu DFK-1AM oraz DFK-14. W badaniach jakości spoin z tych klejów wykonywanych w warunkach tak laboratoryjnych, jak i przemysłowych dowiedziono m.in., że kleje ARPF pozwalają uzyskiwać połączenia o wytrzymałości i odporności w pełni porównywalnej do klejów RPF. Spoiny z klejów ARPF wyróżniają się zatem bardzo wysoką odpornością na działanie czynników atmosferycznych, wykazują bio-, term- i wodoodporność, są odporne na procesy starzeniowe w różnych warunkach eksploatacji połączeń oraz na obciążenia statyczne i dynamiczne. Spoiny wykazują także dużą odporność na hydrolizę i wpływ środowisk agresywnych chemicznie, są m.in. odporne na oleje oraz węglowodory aromatyczne i ich pochodne. W formie przykładu w tabeli 2 zamieszczono wyniki badań wytrzymałości spoin na ścinanie w próbie ściskania, podając zakresy wartości, które uzyskano dla próbek blokowych o wymiarach 50×50×20 mm, wykonanych z drewna dębu, w różnych warunkach procesu klejenia oraz testowania spoin [River 1986; Proszyk 1990a, b; Proszyk i in. 1996]. Kleje ARPF wykazują jednak mankamenty identyczne z wyspecyfikowanymi uprzednio spoiwami rezorcynowymi.

**Tabela 1. Producenci posiadający certyfikaty jakości Instytutu Otto Graf'a na technologicie klejenia wielkowymiarowych elementów konstrukcyjnych z drewna [Radovič, Rothkopf 2003]**  
**Table 1. Producers having quality certificates on the technologies of gluing of large scale wooden construction elements acc. to Otto Graf Institute procedures [Radovič, Rothkopf 2003]**

Produkty Products	Drewno klejone warstwowo – certyfikat klasy A Wood glued beams – A class certificate		Drewno klejone warstwowo – certyfikat B Wood glued beams – B class certificate		Belki duo i trio z klejonego drewna zgodnie z procedurą Z-9.1-440 „Duo” and „trio” woodglued beams acc. to Z-9.1-440 procedure		Drewno łączone na długość zgodnie z DIN 68140-1 Lengthening joint wood acc. to DIN 68140-1 standard		Inne rozwiązania Another solutions	
	Złącze wzespole Combed joint	Warstwowe Wood glued laminated	Złącze wzespole Combed joint	Warstwowe Wood glued laminated	Złącze wzespole Combed joint	Warstwowe Wood glued laminated	Złącze wzespole Combed joint	Warstwowe Wood glued laminated	Złącze wzespole Combed Joint	Warstwowe Wood glued laminated
Liczba producentów <sup>1)</sup> Number of producers	81		35		24		52		21	
Rodzaj klejenia Kind of gluing										
Rodzaj klejów <sup>2)</sup> – liczba firm Kind of adhesives – number of firms	PUR	10	10	13	14	15	32	2	2	5
	MUF	72	69	18	10	11	22	8	11	11
	UF	1	18	1	0	1	0	1	1	1
	RPF	6	42	7	0	1	2	6	2	2
Suma Total	89		39		24		56		19	

<sup>1)</sup> Niektórzy producenci oferują kilka rodzajów produktów, stąd też suma firm jest wyższa od liczby producentów posiadających certyfikaty.  
 Some producers offered a few kind of products, therefore number of total firms are higher than number of producers having certificate.

<sup>2)</sup> Liczby oparte na danych Instytutu Otto Graf'a (styczeń 2003).

Numbers are basing on the data given from Otto Graf Institute (January 2003).

**Tabela 2. Wytrzymałość spoin na ścinanie z klejów alkylresorcynowych w różnych warunkach utwardzania i testowania spoin [Proszyk 1990a]**

*Table 2. Shearing strength of glue lines from alkylresorcinol adhesives after various hardening and testing conditions [Proszyk 1990a]*

Warunki procesu utwardzania klejów i badania spoin <i>Conditions of hardening processes of adhesives and testing of glue lines</i>	Rodzaj kleju <i>Kind of adhesive</i>	
	DFK-1AM	DFK-14
	Wytrzymałość spoin [MPa] <i>Strength of glue lines [MPa]</i>	
Prasowanie w temp. 20°C i czasie 24 h <i>Pressing in temp. 20°C and 24 h time</i>	10,5÷13,0	12,0÷14,5
Prasowanie w temp. 20°C i czasie 24 h oraz 7 dniowe klimatyzowanie <i>Pressing in temp. 20°C and 24 h time and after 7 days conditioning</i>	12,0÷14,8	13,4÷15,0
Prasowanie w temp. 20°C i czasie 24 h oraz 90 dniowe sezonowanie <i>Pressing in temp. 20°C and 24 h time and 90 days conditioning</i>	13,2÷15,1	13,8÷15,5
Prasowanie w temp. 20°C i czasie 24 h i dalsze dotwardzanie w temp. 60°C w czasie 24 h <i>Pressing in temp. 20°C and 24 h time and additional hardening in temp. 60°C and 24 h time</i>	13,5÷15,4	14,8÷16,8
Prasowanie w temp. 20°C i czasie 48 h oraz następnie zanurzenie próbek w wodzie o temp. 100°C w czasie 6 h <i>Pressing in temp. 20°C and 48 h time, next soaking of samples in water with temp. 100°C during 6 h</i>	12,7÷14,0	13,3÷14,5

Z kolei w tabeli 3 podano parametry wytrzymałościowe dla wykonanych w warunkach przemysłowych warstwowych belek o wymiarach 4600×320×140 mm, które sklejkono z tarcicy sosnowej grubości 35 mm. Po zakończeniu zaprogramowanych badań belki sezonowano w warunkach normalnych przez 30 dni, po czym przystąpiono do określenia wytrzymałości spoin. Analiza danych z tabeli 3 wskazuje na bardzo wysoką odporność spoin z testowanych klejów DFK na działanie czynników atmosferycznych, a także na procesy starzeniowe oraz obciążenia statyczne.



**Tabela 3. Wytrzymałość warstwowo łączonych belek z drewna przy użyciu klejów alkiloresorcynowych DFK [Proszyk 1990a]****Table 3. Strength of wood glued laminated beams with DFK alkylresorcinol adhesives [Proszyk 1990a]**

Rodzaj kleju <i>Kind of adhesive</i>	Warunki składowania belek <i>Storage conditions of beams</i>	Czas składowania belek [miesiące] <i>Storage time of beams [months]</i>	Obciążenie niszczące przy zginaniu [daN] <i>Loading destruction at bending [MPa]</i>	Moduł sprężystości [MPa] <i>Modulus of elasticity [MPa]</i>	Wilgotność drewna w podczas badań [%] <i>Wood moisture content during experiments [%]</i>
DFK-1AM DFK-14	Normalne <sup>*)</sup> <i>Normal</i>	12	20 450 19 950	12 850 12 300	–
DFK-1AM DFK-14	Normalne <i>Normal</i>	48	18 000 18 500	13 500 13 200	8,7 8,1
DFK-14	Atmosferyczne <i>Atmospheric</i>	48	20 500	12 200	12,5
DFK-1AM DFK-14	Atmosferyczne, pod obciążeniem statycznym na poziomie wartości 0,6 w stosunku do obciążenia niszczącego <i>Atmospheric, under static loading on the level values 0.6 in relation to destructing loading</i>	48	23 800 19 400	12 000 12 000	12,7 12,5

<sup>\*)</sup> temp. 20°C, wilgotność względna powietrza 65%<sup>\*)</sup> temp. 20°C, air RH 65%

## Kleje MUF

W połowie lat 90 ubiegłego stulecia sukcesem uwieńczone zostały prowadzone od lat prace aplikacyjne nad wdrożeniem do produkcji konstrukcji wielkowymiarowych z drewna klejów w systemie żywic MUF. Spoiny z tych klejów wykazują w odniesieniu do spoiw RPF i ARPF całkowicie porównywalne charakterystyki w zakresie wytrzymałości i odporności na różne czynniki, wsparte stosownymi certyfikatami jakościowymi [Józwiak, Proszyk 2000a, b; Proszyk i in. 2002; Józwiak i in. 2003]. Na korzyść tych polikondensatów przemawia bezbarwność uzyskiwanych spoin, możliwość realizowania procesów klejenia zarówno w systemie klasycznym poprzez homogenizowanie składników mas,

bądź w technice selektywnego nakładania komponentów w wersji utwardzacz-separator. W skali technologicznej specjalnymi układami dyszowymi realizuje się rozwiązanie separatywnego klejenia, które można prowadzić dwoma sposobami. W starszych systemach utwardzacz nanoszono na jedną ze sklejaných powierzchni, zaś na drugą nakładano klejową żywicę MUF, natomiast w nowszych, proces ten prowadzi się zdecydowanie efektywniejszą metodą w wersji „mokro na mokro”, przy czym warstwę pierwszą (podłożową) stanowi odpowiednio spreparowany utwardzacz, zaś kolejną żywica klejowa. Ostatnia z zasygnalizowanych technik separatywnego klejenia to rozwiązanie w pełni nowatorskie, którego istota wymaga pewnego skomentowania. Z jednej strony do jego realizacji oferowane są specjalne rodzaje tiksotropowych żywic MUF o zawartości umownej s.s. na poziomie 65%, o odpowiednich właściwościach fizykochemicznych, w zakresie, m.in. zwilżalności podłoża, napięcia powierzchniowego, lepkości pozornej ( $3000\div 4000$  mPa·s) oraz odczynu chemicznego (pH  $9,5\div 10,5$ ). Ostatni z wymienionych parametrów, a więc wyraźna alkaliczność żywic, sprawia że produkty te w stosunku do układów konwencjonalnych, nie wymagają spełnienia drastycznych rygorów dotyczących przestrzegania obniżonych temperatur ( $<15^{\circ}\text{C}$ ) podczas transportu i składowania, wykazując jednocześnie zdecydowanie dłuższy czas magazynowania. Czas ten przy temperaturze magazynowania  $10^{\circ}\text{C}$  wynosi 6 miesięcy, natomiast przy  $30^{\circ}\text{C}$  – 2 miesiące, podczas gdy dla żywic dotychczas oferowanych było to zaledwie około 2 tygodni. W charakterze utwardzaczy (separatorów) stosowane są rozwiązania zaliczane do tzw. inteligentnych, co w omawianym rozwiązaniu przejawia się zdolnościami do szybkiego przenikania na wskroś przez nałożoną warstwę żywicy. W charakterze utwardzaczy stosowane są tiksotropowe roztwory kwasu mrówkowego o stężeniu masowym  $10\div 20\%$ , z udziałem odpowiednio dobranych wypełniaczy nieorganicznych (zwykle w ilości  $20\div 30\%$ ) oraz różnych środków pomocniczych. Utwardzacze tego typu posiadają relatywnie wysoką lepkość pozorną ( $2500\div 4500$  mPa·s) i wyraźnie kwasowy odczyn chemiczny pH  $0,5\div 1,5$ ; przy odpowiednio dobranych pozostałych parametrach fizykochemicznych (m.in. gęstość oraz napięcie powierzchniowe). Można nadmienić, iż zalety utwardzaczy na bazie kwasu mrówkowego, przeznaczone do utwardzania klejów MUF w niepodwyższonej temperaturze w technologii przygotowania mas poprzez homogenizowanie składników w stanie ciekłym, zaprezentowano w pracy Józwiaka i Proszyka [1994]. W technice separatywnego dozowania komponentów w rozwiązaniu „mokro na mokro”, zarówno utwardzacz, jak i żywica nakładane są w układzie *on line*, poprzez dwa oddzielne urządzenia aplikacyjne z automatycznymi dozownikami, wyposażonymi w głowice z systemem dysz o zróżnicowanych średnicach. Obydwa komponenty nakładane są w postaci pasm, przy czym w zależności od przyjętego składu ilościowego oraz szerokości tarcicy sklejaney w warstwowy element, utwardzacz nakładany jest zazwyczaj w  $2\div 3$  rzędach, natomiast żywica w  $4\div 5$  pasmach. Parametry

prasowania można optymalizować w zależności od uwarunkowań technologicznych przy uwzględnieniu gatunku klejonego drewna, temperatury i wilgotności względnej powietrza w hali fabrycznej, a przede wszystkim wymaganej reaktywności kleju, co determinuje inne niezwykle bardzo ważne kwestie natury technicznej, związane z otwartym i zamkniętym czasem klejenia oraz czasem prasowania. Należy zaznaczyć, że warstwy poszczególnych komponentów mas klejowych można nakładać przy bardzo zróżnicowanym udziale separatora (w zakresie 15÷35 cz.m.) w stosunku do żywicy MUF (100 cz.m.), przy czym najczęściej utwardzacz jest dozowany na poziomie 25 cz.m. Przedstawione możliwości implikują z kolei bardzo znaczące zróżnicowanie wyszczególnionych powyżej parametrów klejenia, w tym także czasów prasowania (w temp. 20°C) w bardzo szerokim zakresie czasowym (4,5÷12 h). Sumaryczna ilość nakładanych komponentów w metodzie „mokro na mokro” zwykle plasuje się w zakresie 450÷500 g/m<sup>2</sup>. Należy podkreślić, że sposoby separatywnego nakładania komponentów całkowicie eliminują kwestię przygotowania mas klejowych techniką homogenizowania, a co za tym idzie nie występuje w tych rozwiązaniach problem czasu przydatności do stosowania, co w skali przemysłowej skutkuje brakiem odpadów klejowych [Properzi 2002; Properzi i in. 2003].

W tabeli 4 zamieszczono wybrane wyniki badań wytrzymałości oraz wodoodporności spoin z klejów MUF przeznaczonych do produkcji nośnych konstrukcji wielkowymiarowych, uzyskane przy sklejeniu drewna świerka (*Picea excelsa* L.) o gęstości 420±20 kg/m<sup>3</sup>. Proces klejenia wykonano w skali przemysłowej w uwarunkowaniach technicznych jednego z producentów. Do badań wytrzymałości spoin na ścinanie w próbie rozciągania oraz ściskania użyto próbek odpowiednio według PN EN 205 oraz PN-B-03156. Badania odporności spoin przeprowadzono w świetle procedury według PN EN 204 oraz aprobaty AT-15-2948/98 ITB w Warszawie, stwierdzając wyróżniające parametry w zakresie jakości uzyskiwanych spoin.

## Kleje PUR

Kleje w wersji 1K PUR zaliczane są do niezwykle interesujących środków wiążących z grupy spoin bazujących na polimerach poliaddycyjnych. Sporządzane są one ze związków z czynnym atomem wodoru na bazie polioli (poliestry lub polieter) zmieszanych w nadmiarze z prepolimerami izocyjanianowymi, na skutek czego makrocząsteczki poliuretanu zawierają wolne grupy – NCO. Sieciowanie tych klejów zachodzi wskutek reakcji grup – NCO poprzez kontakt z wodą zawartą w powietrzu i sklejanym materiale, a także w oddziaływaniach z reaktywnymi grupami drewna, zwłaszcza hydroksylowymi celulozy, tworząc wysoce energetyczne chemiczne wiązania kowalencyjne, jednocześnie powodując w ten sposób efekt hydrofobizacji przyspoinowych warstw sklejanego dREW-

na. Powstający podczas reakcji grup –NCO z wodą kwas karbamidowy jest nie-trwały i ulega rozkładowi odszczepiając ditlenek węgla z wytworzeniem aminy, która z kolei reaguje z pozostałymi grupami –NCO, tworząc polimoczniki. Porowata struktura drewna sprawia, że ditlenek węgla, może się ulatniać, powodując przy tym nieznaczne spienianie się kleju w procesie utwardzania.

**Tabela 4. Wytrzymałość i odporność spoin z klejów MUF przy różnych sposobach wywierania obciążenia po testach wg PN EN 204 (a) oraz procedury ITB (b) [Proszyk i in. 2002]**

*Table 4. Strength and durability of glue lines from MUF adhesives at various loading after tests acc. to PN EN 204 standard (a) and ITB procedure (b) [Proszyk et al. 2002]*

Rodzaj kleju Dynamel Kind of Dynamel adhesive	Oznakowanie testów Marking of tests	Miary statystyczne*) Statistical measure*)					
		$x_{max}$	$x_{\acute{s}r}$	$x_{min}$	v	WFP	
		[MPa]			[%]		
L-425 + utwardzacz H-467) L-425 + hardener H-467)	a)	1	8,37	7,67	7,04	7,17	100
		3	5,40	4,95	4,33	7,27	20
		5	5,33	4,52	3,62	12,17	20
		6	7,04	5,71	4,52	14,71	100
	b)	1	12,77	11,06	9,02	13,38	100
		2	7,42	5,80	4,70	13,79	40
		4	8,45	7,16	5,79	11,87	80
		5	10,11	8,80	7,25	11,59	80
L-435+ utwardzacz H-469 L-435+ hardener H-469	a)	1	8,10	7,30	6,53	5,62	100
		3	6,41	4,84	3,87	14,26	20
		5	6,08	4,50	3,79	14,44	20
		6	7,14	6,04	4,92	10,93	90
	b)	1	12,98	11,39	9,91	9,48	90
		2	8,28	7,60	7,14	5,79	20
		4	7,64	6,74	4,92	11,57	20
		5	12,52	9,97	7,75	16,85	100

$x_{max}$  – wartość maksymalna;  $x_{\acute{s}r}$  – wartość średnia;  $x_{min}$  – wartość minimalna; v – współczynnik zmienności, WFP – procentowy udział zniszczenia w tkance drzewnej przy obciążeniach niszczących

$x_{max}$  – maximal value;  $x_{\acute{s}r}$  – average value;  $x_{min}$  – minimal value; v – coefficient of variation, WFP – wood failure percentage

Ze względu na urozmaiconą ofertę produkcyjną tych klejów, charakteryzujących się zróżnicowaną reaktywnością i różnorodnością sposobów aplikacji, stanowią one grupę klejów o wielostronnym przeznaczeniu. Szczególnie cenne

są w operacjach technologicznych klejenia tarcicy na długość na połączenia wczepowe. Oferowane są one w formie bezwodnej, w postaci gotowej do stosowania. Zaliczane są do produktów ekologicznych, gdyż nie zawierają w swoim składzie rozpuszczalników oraz nie odszczepiają małych cząsteczkowych produktów polireakcji w procesach sieciowania. Charakteryzują się wyśmienitą adhezją do powierzchni różnych materiałów, wymagając jednocześnie w tym względzie skrupulatnego przestrzegania odpowiednich reguł w zakresie procedur utrzymania czystości. W stosunku do innych spoiw charakteryzują się bardzo krótkim czasem utwardzania (25-30 min), który można w dość szerokim zakresie korygować. Można nimi łączyć drewno o ograniczonej podatności na klejenie, także o podwyższonej wilgotności oraz zabezpieczone impregnatami. Barwa kleju uzależniona jest od rodzaju zastosowanego izocyjanianu, przy czym, co warto podkreślić, oferowane są produkty w postaci całkowicie transparentnej. Uzyskiwane spoiny wykazują wysoką wytrzymałość, elastyczność i odporność na różne czynniki, m.in. w warunkach ujemnych temperatur otoczenia [Proszyk, Dudziński, Krystofiak 1999; Proszyk, Gębicz, Krystofiak 1999; Proszyk, Sedlać, Krystofiak 2002a, b]. W tabeli 5 podano wyniki badań wytrzymałości spoin na ścinanie przy obciążeniach stałych i ich kształtowanie się w funkcji czasu.

**Tabela 5. Wytrzymałość spoin z kleju 1K PUR poddanych obciążeniu statycznemu [Radovič, Rothkopf 2003]**

*Table 5. Strength of glue lines from 1K PUR adhesive after static loading [Radovič, Rothkopf 2003]*

Rodzaj badanego układu <i>Kind of tested system</i>	Miary statystyczne*) <i>Statistical measure*)</i>	Czas wywierania obciążeń stałych [miesiące] <i>Time of static loading [months]</i>				
		Próbki kontrolne <i>Control samples</i>	3	6	12	36
Drewno lite <i>Wood</i>	$x_{\max}$ [MPa]	11,12	–	–	8,24	5,44
	$x_{\text{sr}}$ [MPa]	9,42	–	–	6,28	4,67
	$x_{\min}$ [MPa]	8,28	–	–	3,64	3,27
	Rw [%]	100	–	–	66,7	49,6
Drewno warstwowo klejone <i>Glued laminated beams</i>	$x_{\max}$ [MPa]	11,24	11,56	9,87	10,64	8,42
	$x_{\text{sr}}$ [MPa]	10,08	9,96	9,12	9,59	7,75
	$x_{\min}$ [MPa]	7,06	8,30	8,36	8,51	6,82
	WFP [%]	62	85	89	92	93
	Rw [%]	100	98,8	90,5	95,1	76,9

\*) Oznakowanie jak w tabeli 4; Rw – względny wskaźnik obniżenia wytrzymałości

\*) *Marking as in Table 4; Rw – relative index of shearing lowering*

Oferowane są także nowe generacje klejów PUR z wykorzystaniem osiągnięć nanotechnologii. Do klejów tych stosuje się dodatki nanokompozytów w postaci odpowiednio spreparowanych włókien na bazie, na przykład, polimerów syntetycznych (np. włókna arachidowe), bądź ich mieszanin z włóknami naturalnymi, które wprowadzone do struktury matrycy polimerowej kleju powodują efekt porównywalny do „zbrojonego betonu”, z bardzo korzystnym wpływem na wytrzymałość i odporność uzyskiwanych spoin [Schulze 2004].

### **Kontrola jakości procesu klejenia w rozwiązaniach „on line”**

Wraz z wdrażaniem produkcji wielkowymiarowych klejonych elementów konstrukcyjnych z drewna na skalę przemysłową, podejmowano pewne inicjatywy zmierzające do opracowania systemu kontroli jakości uzyskiwanych spoin w rozwiązaniach *on line*. W ramach tego systemu prowadzi się, m.in. klasyfikację wytrzymałościową tarcicy przeznaczonej do łączenia oraz klimatyzowane są hale fabryczne, w których wykonywane są procesy klejenia. W liniach technologicznych natomiast prowadzona jest w sposób zautomatyzowany kontrola jednego z bardzo ważnych parametrów, jakim jest wilgotność drewna poddawane go klejeniu. Przyjmuje się rozrzut wartości  $\pm 1\%$  w stosunku do założonej w procesie technologicznym. Elementy nie spełniające tych wymagań są eliminowane z bieżącego procesu technologicznego.

Wiele pomysłów w zakresie kontroli jakości spoin nie zostało jak dotąd skutecznie wdrożonych do praktyki przemysłowej. Warto jednakże nadmienić, że we współczesnych liniach technologicznych do wytwarzania klejonego drewna konstrukcyjnego KVH (*Keilzungung Verbindung Holz*) z tarcicy łączonej m.in. na wczepy klinowe z użyciem klejów PUR stosowane są urządzenia do nieniszczącego sprawdzania wytrzymałości sklejonnych elementów. Każdy produkt KVH poddawany jest krótkotrwałemu zdefiniowanemu obciążeniu rozciągającemu, dobieranemu zależnie od przekroju (w zakresie wartości 5÷12 MPa), co umożliwia identyfikację słabych miejsc w testowanym elemencie, obniżających jego nośność, a także obecność wadliwie wykonanych złącz. Urządzenie testujące pozwala na wyeliminowanie zarówno wad drewna, jak i ocenę cech technicznych uzyskiwanych spoin, stanowiąc niezawodny instrument w zakresie zapewnienia jakości produkcji. Wykonane elementy, które nie wytrzymały danego obciążenia są eliminowane z dalszego procesu wytwórczego, przed finalną obróbką profilującą. Przez dodatkowe pomiary odkształceń można wyznaczyć dla ocenianego elementu średnią wartość modułu sprężystości przy rozciąganiu. W koordynowanym w ramach struktur UE projekcie przebadano tą metodą około 800 tys. m<sup>3</sup> elementów z drewna KVH, stosując w diagnostyce naprężenia w zakresie wartości 5 do 8 MPa, uzależnione od przekroju i zastosowań testowanych elementów [Jeitler, i in. 2007]. W efekcie

prowadzonych badań oceny jakości, zniszczeniu uległo około 1800 sklejonych elementów, które wyeliminowano z dalszego procesu produkcyjnego. Przy czym, co godne podkreślenia, jedynie w 12,6% przyczyną były nieodpowiednio wykonane złącza klejowe, a w 87,2% sprawiły to różne wady drewna, które zlokalizowano poza strefą oddziaływania spoin. Dominowały zniszczenia wynikające z wad drewna związane z krzywoliniowym przebiegiem włókien, zarówno miejscowym (41,4%), jak i ogólnym (30,4%), występowaniem drewna reakcyjnego (8,3%) oraz pęknięciami o charakterze zgnieceń (3,8%).

## Podsumowanie

Reasumując można stwierdzić, że w czasie kilku ostatnich latach odnotowano bardzo znaczący postęp w dziedzinie wytwarzania i stosowania klejów przeznaczonych do produkcji wielkowymiarowych elementów konstrukcyjnych z drewna dla budownictwa. Wdrożono na skalę przemysłową nowe generacje klejów na bazie polikondensatów melaminowo-formaldehadowych oraz poliuretanowe w wersji jednokomponentowych. Produkty te zapewniają doskonałe właściwości spoin, potwierdzone odpowiednimi certyfikatami, umożliwiając realizację różnego rodzaju projektów i rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie zastosowań klejonego drewna oraz, co należy podkreślić, ze zdecydowanie większymi możliwościami w zakresie prowadzenia poszczególnych operacji w ramach procesów technologicznych ich wytwarzania. W ostatnich zwłaszcza latach nastąpiło wyraźne obniżenie rangi i znaczenia dominujących dotąd w tej dziedzinie klejów rezorcynowych. Wdrożone na szeroką skalę do praktyki przemysłowej kleje melaminowe umożliwiają ich stosowanie w wersji selektywnego nakładania komponentów mas klejowych metodą „mokro na mokro”. Do nowatorskich przedsięwzięć należy zaliczyć wykorzystanie osiągnięć z zakresu nanotechnologii w produkcji klejów poliuretanowych. Odnotowano także istotny postęp w zakresie metodologii dotyczącej diagnostyki spoin w aspekcie kontroli jakości procesu klejenia w rozwiązaniach technologicznych *on line*.

## Literatura

- Biliszczuk J., Bień J., Maliszkiwicz P.** [2001]: Mosty z drewna klejonego. WKŁ, Warszawa
- Christjanson P., Köösel A.** [2001]: Practical approach to the reactivity of resorcinols in polycondensation. Proc. 15 th Int. Symp. Adhesives in woodworking industry. Technical University of Zvolen : 31–36
- Christjansen A., W., Okkonen E.A.** [2003a]: Development of a novolak-based hydroxymethylated resorcinol coupling agent for wood adhesives. For. Prod. J. 53 [2]: 32–38

- Christjansen A., W., Okkonen E.A.** [2003b]: Improvements to hydroxymethylated resorcinol coupling agent for durable bonding to wood. *For. Prod. J.* 53 [4]: 81–84
- Draškovič F., Čierna J., Mielczarek Z.** [1999]: Badanie rzeczywistej wielkości modułów sprężystości w przekrojach elementów sklejonych warstwowo. *Mat. Konf. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych*. Szczecin-Świnoujście: 175–181
- Ganowicz R., Guzenda R.** [1996]: Destrukcyjny wpływ zmian wilgotności otoczenia na drewniane warstwowo klejone konstrukcje. *Mat. Symp. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych*. Szczecin-Międzyzdroje: 73–80
- Gos B.** [1996]: Wybrane kleje polioctanowinytowe do klejenia drewna warstwowego z tarcicy. *Mat. Symp. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych*. Szczecin-Międzyzdroje: 89–95
- Guzenda R.** [2004]: Prognozowanie i ocena zmian wilgotności w konstrukcjach drewnianych. *Rozprawy naukowe. Roczn. Akad. Rol. w Poznaniu* [351]: 104
- Jeitler G., Katzengruber R., Schickhofer G.** [2007]: Zapewnienie jakości tarcicy łączonej na wczepy klinowe. *Gazeta Drzewna* 10 [4]: 38
- Jóźwiak M., Proszyk S.** [1994]: Badania nad przystosowaniem termoutwardzalnych modyfikowanych klejów melaminowych do łączenia drewna w niepodwyższonych temperaturach. *Materiały Jubileuszowego Zjazdu Naukowego PTChem. i SITPCChem. Warszawa 1994*
- Jóźwiak M., Proszyk S.** [2000a]: Adhesion of melamine-urea-formaldehyde adhesives to wood as an interaction of surface forces. *Fol. For. Pol. Ser. B* [35]: 69–78
- Jóźwiak M., Proszyk S.** [2000b]: Studies of rheological properties of melamine-urea-formaldehyde applied in wood based materials. *Fol. For. Pol. Ser. B* [35]: 79–86
- Jóźwiak M., Proszyk S., Jabłoński W.** [2003]: Klejowe żywice melaminowo-mocznikowo-formaldehydowe (MUF) modyfikowane naturalnymi alkilorezorcynami. *Drewno-Wood* 46 [169]: 5–17
- Kosiorek M., Wróblewski B.** [1996]: Odporność ognia konstrukcji budowlanych z drewna klejonego. *Mat. Symp. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych*. Szczecin-Międzyzdroje: 133–140
- Krystofiak T., Proszyk S., Dobrowolski J.** [1997]: Badania sklejalności wybranych gatunków drewna egzotycznego przy użyciu klejów PVAC i PUR. *Mat. II Międzynarodowego seminarium nt. nowości w dziedzinie klejów stosowanych do stolarki budowlanej*. WTD AR Poznań : 99–105
- Mielczarek Z.** [1994]: *Budownictwo drewniane*. Arkady, Warszawa
- Properzi M.** [2002]: Comparative performance of fast-setting single and separative application exterior wood adhesives for structural glulam. *Holzforsch. u. Holzverwert.* 54 [1]: 18–20
- Properzi M., Uzielli L., Pizzi A.** [2003]: Comparative wet wood glueing performance of different types of glulam wood adhesives. *Holz als Roh u. Werksot.* 61 [1]: 77–78
- Proszyk S.** [1988a]: Wybrane zagadnienia z zakresu klejów fenolowych utwardzanych katalizatorami kwasowymi. *Przem. Drzew.* 39 [3]: 12–15
- Proszyk S.** [1988b]: Doświadczenia czechosłowackie w stosowaniu klejów fenolowych utwardzanych katalizatorami kwasowymi. *Przem. Drzew.* 39 [4]: 12–13
- Proszyk S.** [1990a]: Kleje alkilorezorcynowe do produkcji wielkowymiarowych klejonych konstrukcji z drewna. *Przem. Drzew.* 41 [5–6]: 21–25



- Proszyk S.** [1990b]: Produkcja klejów alkilorezorcynowych. *Chemik* 43 [3]: 155–158
- Proszyk S.** [1996]: Dyspersyjne kleje PVAC i ich stosowanie w przemyśle drzewnym. *Mat. III Konferencji nt. Otrzymywanie i zastosowanie wodnych dyspersji i roztworów polimerów. Ustroń-Jaszowiec 1995. Wyd. OBRKiW, Oświęcim*: 57–61
- Proszyk S., Dudziński J., Krystofiak T.** [1999]: Badania sklejalności lignomeru z drewna brzozy i olchy. *Mat. Konf. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin-Świnoujście*: 277–281
- Proszyk S., Gębicz P., Krystofiak T.** [1999]: Badania nad klejeniem drewna o podwyższonej wilgotności za pomocą klejów poliuretanowych. *Mat. Konf. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin-Świnoujście*: 269–276.
- Proszyk S., Jabłoński W., Józwiak M., Krystofiak T.** [1996]: Kleje alkilorezorcynowe i ich stosowanie w konstrukcjach drewnianych. *Mat. Symp. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin-Międzyzdroje*: 255–262
- Proszyk S., Krystofiak T.** [1997]: Badania wytrzymałości i odporności spoin z wodoodpornych klejów PVAC stosowanych w stolarce budowlanej. *Mat. II Międzynarodowego seminarium nt. nowości w dziedzinie klejów stosowanych do stolarki budowlanej. WTD AR Poznań* : 111–121
- Proszyk S., Krystofiak T., Józwiak M., Lis B.** [2002]: Investigations on the strength and durability of glue lines from MUF adhesives at various loading. *Proc. IV<sup>th</sup> Symp. Composite Wood Materials, Technical University of Zvolen*: 219–223
- Proszyk S., Krystofiak T., Kurtyka S.** [2002]: Studies of suitability of epoxy and polyester adhesives for gluing wood with steel. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW. For. a. Wood Technol. Special No 1*: 208–211
- Proszyk S., Krystofiak T., Thiele P., Lis B.** [2002]: Effect of kind of hardener in epoxy resins applied for gluing wood on the strength and durability of glue lines. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW. For. and Wood Technol. Special No 1*: 212–215
- Proszyk S., Sedliačik J., Krystofiak T.** [2002a]: Investigations of the strength and durability of glue lines from PUR adhesives. *Proc. 4<sup>th</sup> Symp. Composite Wood Materials, Technical University of Zvolen*: 232–235
- Proszyk S., Sedliačik J., Krystofiak T.** [2002b]: Studies of gluability of pine wood with high moisture content. *Proc. IV<sup>th</sup> Symp. Composite Wood Materials, Technical University of Zvolen*: 236–240
- Radović B., Rothkopf C.** [2003]: Eignung von 1K-PUR-Klebstoffen für den Holzbau unter Berücksichtigung von 10-jähriger Erfahrung. *Bauen mit Holz* [6]: 1–6 (Sonderdruck)
- Rapp P.** [1999a]: Belki drewniane o dużej rozpiętości klejone z elementów grubowarstwowych. *Mat. Konf. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin-Świnoujście*: 291–296
- Rapp P.** [1999b]: Klejone wzdłużne połączenia belek drewnianych w rewaloryzacji obiektów zabytkowych. *Mat. Konf. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin-Świnoujście*: 283–290
- River B., H.** [1986]: Strength and durability of alkylresorcinol adhesives from Estonian oil shale kerogen. *For. Prod. J.* 36 [4]: 25–34
- Schulze T.** [2004]: Jowapur – Verbindungen auf die Sie bauen können. *Proc. 10<sup>th</sup> Innovationen für die Welt des Klebens. Detmold/ Hannover* : 1–5
- Smardzewski J.** [1999]: Cykliczna niejednorodność drewna a wytrzymałość połączeń klejowych. *Mat. Konf. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin-Świnoujście*: 297–306

## **ADHESIVES FOR LARGE-SCALE WOODEN CONSTRUCTION ELEMENTS FOR BUILDINGS**

### **Summary**

Basing on literature data and industrial experience the problems concerning the production of large-scale construction elements of glued beam wood were presented with the particular focus on adhesives offered for that purpose. The general characteristics of adhesives covered with the stress on contemporary trends and solutions, presenting successively RPF, ARF, MUF and PUR adhesives.

**Keywords:** building, wood, binding agent, gluing technology, glued beam, glue line, strength, durability