



## Wpływ temperatury ekspozycji sklejki na jej wybrane właściwości w zależności od zastosowanego kleju

### The influence of plywood exposure temperature to selected properties of it in regard to glue applied

Aneta Gumowska<sup>a,\*</sup>, ORCID: 0000-0002-0872-9061

Maciej Krakowski<sup>a</sup>,

Grzegorz Kowaluk<sup>a,\*</sup>, ORCID: 0000-0003-1463-0540

<sup>a</sup>Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Technologii Drewna, Katedra Technologii i Przedsiębiorczości w Przemysle Drzewnym, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa, Polska

\*Osoba do korespondencji: [aneta\\_gumowska@sggw.pl](mailto:aneta_gumowska@sggw.pl); [grzegorz\\_kowaluk@sggw.pl](mailto:grzegorz_kowaluk@sggw.pl)

#### Streszczenie

W przeprowadzonych badaniach określono wpływ temperatury wygrzewania na spoiny klejowe w sklejce sosnowej, w której wykorzystano żywice: mocznikowo – formaldehydowa (UF), melaminowo – mocznikowo – formaldehydowa (MUF), fenolowo – formaldehydowa (PF), polioctanowinyłowa (PVAC D3) i poliuretanowa (PUR). Wszystkie warianty wyprodukowanych sklejek zostały poddane charakterystyce wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych (wytrzymałość na zginanie statyczne oraz moduł sprężystości przy zginaniu, profil gęstości, jakość sklejania fornirów). Zrealizowane badania właściwości mechanicznych pokazują, że dla sklejek wytworzonych z zastosowaniem żywic PF oraz PUR odnotowano najwyższe wartości, niezależnie od temperatury próbek, w odniesieniu do pozostałych wyprodukowanych sklejek.

#### Abstract

In the conducted tests was specified the influence of exposure temperature on glue joints in pine plywood, in which the following adhesive resins were used as a binder: urea - formaldehyde, melamine - urea - formaldehyde, phenol - formaldehyde, polyvinyl acetate and polyurethane. All variants of the produced plywood were subjected characteristic of physical and mechanical properties (static bending strength and modulus of elasticity, density profile and bonding quality of plywood). The results of the mechanical properties tests show that in the case of plywood produced with phenol – formaldehyde

and polyurethane resin obtained the highest values, regardless of the samples temperature in relation to the remaining produced plywoods.

**Słowa kluczowe:** sklejka, temperatura, żywica, właściwości mechaniczne

**Keywords:** plywood, temperature, resin, mechanical properties

## Wprowadzenie

Tworzywa warstwowe na bazie drewna, takie jak sklejka czy fornirowe drewno warstwowe (LVL) są produktami o nieustannym zapotrzebowaniu a poziom wymagań na rynku jest wysoki i stabilny. Główną zaletą tworzyw warstwowych jest fakt, że niektóre gatunki lub klasy drewna litego które nie znajdują zastosowania np. w budownictwie, jako materiał konstrukcyjny, mogą zostać wykorzystane w formie warstwowo klejonych fornirów ([www.steico.com](http://www.steico.com)). Dodatkowo technologie produkcyjne dają możliwość pozyskiwania kompozytów drewnopochodnych o lepszych właściwościach wytrzymałościowych niż sam surowiec, który stosowany jest w produkcji, jednocześnie zyskując na mniejszych przekrojach. Materiały te posiadają wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru, a ich właściwości na całej powierzchni są równomierne (Deam i in. 2008). Czynniki wpływające na właściwości drewnopochodnych tworzyw warstwowych mogą mieć różne pochodzenie. Pierwszą grupę czynników stanowią parametry technologii produkcji: szybkość zamykania pólek prasy w zależności od zadanego ciśnienia i temperatury oraz czas prasowania. Do grupy drugiej należą czynniki pochodzące z surowca: rodzaj i ilość żywicy, wypełniacze, utwardzacze, rodzaj i wilgotność forniru, miejsce pozyskania forniru (biel/twardziel), itp. W technologiach tworzyw drewnopochodnych, podstawowymi klejami jakie się stosuje są żywice PF, żywice aminowe (MUF oraz UF) oraz kleje PVAC oraz PUR (Parczewski i in. 1969). Na przykładzie żywic UF, MUF i PF, Ali i in. (2014), przeprowadzili badania wpływu różnych czynników: typu żywicy, zawartości żywicy (8, 10, 12%) i zawartości wilgoci (9, 12, 15%) na właściwości fizyczne i mechaniczne płyt pilśniowych suchoformowanych o średniej gęstości (MDF) wykonanych z włókien kenafu (*Hibiscuscannabinus* L.). Docelowa gęstość płyt wynosiła 700 kg/m<sup>3</sup> a grubość 9 mm. Wyniki pokazują, że typ żywicy i zawartość wilgoci mają znaczący wpływ na właściwości mechaniczne (wytrzymałości na zginanie statyczne i modułu sprężystości przy zginaniu oraz wytrzymałości na rozciąganie), podczas gdy zawartość żywicy jest najmniej znacząca. Z drugiej strony, dla właściwości fizycznych (nasiąkliwość oraz spęcznienie na grubość po 24h), zawartość żywicy i zawartość wilgoci mają znacznie mniejszy wpływ w porównaniu do typu żywicy.

Stąd w poniższych badaniach skupiono się na próbie porównania wybranych właściwości mechanicznych sklejek sosnowych, zaklejonych najpopularniejszymi

dostępny żywicami na rynku oraz wyeksponowanymi na działanie różnych temperatur ekspozycji.

### Cel i zakres pracy

Celem badań było porównanie wybranych właściwości mechanicznych sklejek wykonanych z fornirów drewna sosnowego, uprzednio wyeksponowanych na działanie różnych temperatur wygrzewania w zakresie od 20 do 100°C wraz z wykorzystaniem żywic: PF, MUF, UF, PVAC, PUR o stałej wartości jednostkowego naniesienia suchej masy kleju.

### Materiały i metodyka badań

Do przeprowadzenia badań wykorzystano trójwarstwowe sklejkę wytworzone z fornirów drewna sosnowego (*Pinussylvestris* L.) o wilgotności ok. 5% i gęstości ok. 515 kg/m<sup>3</sup>, które pozyskano w wyniku skrawania obwodowego. Arkusze fornirów sformatowano do wymiarów nominalnych 350 x 350 mm<sup>2</sup> i grubości 3,2 mm. Sklejkę wyprodukowano z zastosowaniem orientacji krzyżowej. Dla każdego wariantu wytworzono po 3 arkusze sklejkę. Poniżej w tab. 1 przedstawiono udział części masowych składników potrzebnych do sporządzenia masy klejowej dla poszczególnych klejów. Zastosowany utwardzacz to 20% wodny roztwór (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, natomiast wypełniacz to skrobia żytnia. Założona robocza lepkość mas klejowych to 1700 mPas, lepkość tę regulowano dodatkiem wody. W żywicy MUF udział masowy melaminy stanowił 15%. Czas żelowania masy klejowej z żywicą MUF wynosił 81 s, natomiast z żywicą UF 72 s. W czasie procesu wytwarzania sklejek zastosowano jednostkowe ciśnienie prasowania równe 1,5 MPa przy temperaturze półek prasy wynoszącej 140°C i czasie 420 s dla wszystkich rodzajów żywic. Zawartość umownej suchej substancji określono zgodnie z normą PN-EN 827:2006. Naniesienie masy klejowej na 1 m<sup>2</sup> odpowiadało 180 g żywicy dla wszystkich wariantów sklejek, pomimo różnej zawartości umownej suchej substancji w żywicach. Wytworzone tworzywa warstwowe przed przystąpieniem do realizacji zaplanowanych badań były klimatyzowane w warunkach 20°C / 65% wilgotności względnej powietrza do stabilizacji masy.

**Tabela 1.** Udział części masowych poszczególnych składników mas klejowych  
**Table 1.** Share of mass parts of individual components of adhesive masses

Wariant płyty	Części masowe poszczególnych składników masy klejowej (cz.m.)				Zawartość umowna suchej substancji żywicy [%]
	Żywica	Roztwór utwardzacza	Woda	Wypełniacz	
UF	100	8	10	10	65
MUF	100	8	10	10	67
PF	100	0	10	10	47
PVAC (D3)	100	0	10	10	51
PUR	100	0	0	10	100

### *Oznaczenie wytrzymałości na zginanie statyczne i modułu sprężystości przy zginaniu*

Badanie wytrzymałości na zginanie statyczne oraz modułu sprężystości przy zginaniu badanych sklejek, zostało zrealizowane zgodnie z normą PN-EN 310:1994. Do powyższych oznaczeń wykorzystano nie mniej niż 50 próbek dla każdego zastosowanego rodzaju żywicy z wyszczególnieniem pięciu temperatur ekspozycji (20, 40, 60, 80, 100°C). Wykorzystano próbki, w których włókna warstw zewnętrznych przebiegały równolegle do długości próbek. Przed przystąpieniem do wyżej opisanych badań w określonej temperaturze, każda seria próbek została zabezpieczona 3 warstwami folii aluminiowej w celu uniknięcia wymiany wilgoci z otoczeniem. Następnie próbki zostały włożone do komory suszarniczej, w której przebywały do etapu osiągnięcia docelowej temperatury dla danej grupy próbek. W praktyce czas wygrzewania wynosił 2h. Po wygrzaniu seria próbek była pobierana z suszarki i przekazywano bezpośrednio do badań. Pirometr posłużył do odczytu temperatury.

### *Oznaczenie profilu gęstości*

Oznaczenie profilu gęstości wykonano, wykorzystując profilomierz DA-X firmy GRECON. Pomiar oparty na promieniowaniu X, prowadzono z prędkością 0,05 mm/s oraz krokiem próbkowania 0,02 mm. Do oznaczenia profilu gęstości użyto trzech próbek z każdego wariantu sklejek. Do przeprowadzenia oznaczenia wykorzystano próbki o wymiarach nominalnych 50x50 mm<sup>2</sup> x grubość sklejki.

### *Oznaczenie jakości sklejenia fornirów*

Badanie zostało zrealizowane zgodnie z normą PN-EN 314-1:2007 (U). Oznaczenie przeprowadzono na próbkach, których ilość była nie mniejsza niż 12 dla każdej zastosowanej żywicy w sklejkach.

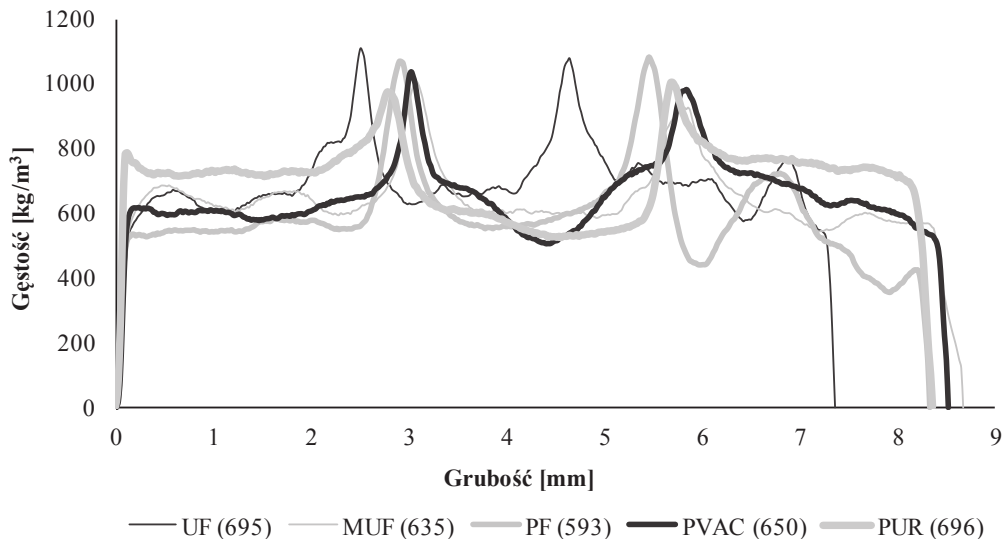
Uzyskane wyniki zostały zbadane za pomocą analizy wariancji (ANOVA) oraz został przeprowadzony test Studenta ( $\alpha=0,05$ ) dla określenia istotności różnic pomiędzy czynnikami. Wyniki przedstawione na wykresach obrazują wartości średnie i odchylenia standardowe.

## **Wyniki badań i analiza**

### *Badanie profilu gęstości*

Wyniki oznaczeń profili gęstości dla wszystkich wariantów sklejek zostały przedstawione na rys. 1. Po dokonaniu analizy poniższego wykresu można zaobserwować, że sklejki, w których użyto żywicy UF charakteryzowały się najwyższą gęstością spośród wszystkich badanych próbek, zaś najniższa gęstość została zaobserwowana w przypadku zaklejania żywicą MUF. Dla sklejki z żywicą UF, największy gradient gęstości na grubości próbki jest konsekwencją jej największego stopnia sprasowania, co widoczne jest na wykresie

w formie najmniejszej grubości spośród wszystkich wariantów. Prawdopodobną przyczyną najwyższej gęstości dla sklejki zaklejanej żywicą UF, może być jej dodatkowe lokalne zagęszczenie jednej z zewnętrznych powierzchni, co jest widoczne na ryc. 1. Każdy z wykonanych rodzajów tworzyw warstwowych prezentuje zbliżony do siebie profil gęstości, w którym gęstość była równomiernie rozłożona. Na przekroju poprzecznym próbki można wskazać dwie strefy znaczącego wzrostu gęstości (ok. 700 – 1100 kg/m<sup>3</sup>), które ilustrują gęstość spoin klejowych.



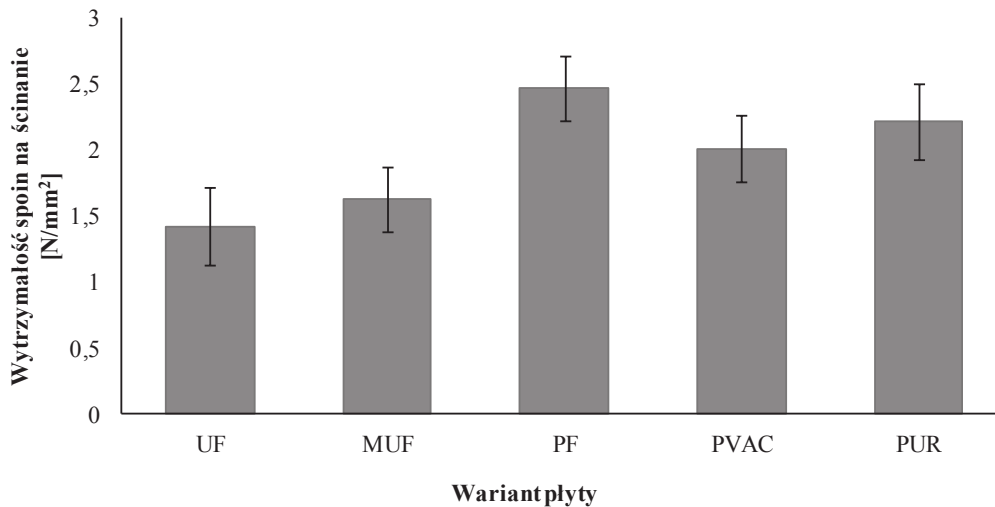
**Rys. 1.** Profile gęstości wszystkich wariantów wyprodukowanych sklejek (średnia gęstość w nawiasach)

**Fig. 1.** Density profiles of all variants of produced plywood (average density in brackets)

#### Badanie jakości sklejenia fornirów

Uzyskane wyniki dotyczące badania jakości sklejenia, która jest definiowana na podstawie wytrzymałości spoin na ścinanie przez rozciąganie, zostały zestawione na rys. 2. Rozrzut wyników przedstawionych poniżej w postaci odchylenia standardowego przedstawia porównywalnie powtarzalne pojedyncze wartości wokół średniej. Średnie wartości wytrzymałości spoin na ścinanie z uwzględnieniem wartości odchyłeń standardowych dla pięciu wariantów wykonanych sklejek wykazują statystycznie istotne różnice pomiędzy próbkami zaklejanymi żywicami UF i MUF a PF, PVAC i PUR. Najwyższą wartością wytrzymałości spoin na ścinanie przez rozciąganie charakteryzowały się tworzywa, w których została użyta żywica PF, natomiast najniższą wartość zanotowano dla sklejek zaklejanym żywicą UF. Rozpatrując udział zniszczenia w drewnie dla poszczególnych próbek, należy uwzględnić rodzaj kleju. Udział zniszczenia w drewnie wynoszący 0% zaobserwowano dla próbek wykonanych z zastosowaniem żywicy UF. Dla sklejek zaklejanym żywicą MUF udział zniszczenia w drewnie, wynosił 70%. Warto zauważyć, że uwzględniając rozrzut wyników wokół średnich wartości, w przypadku żywic UF i MUF brak jest statystycznie istotnych różnic średnich wartości wytrzymałości.

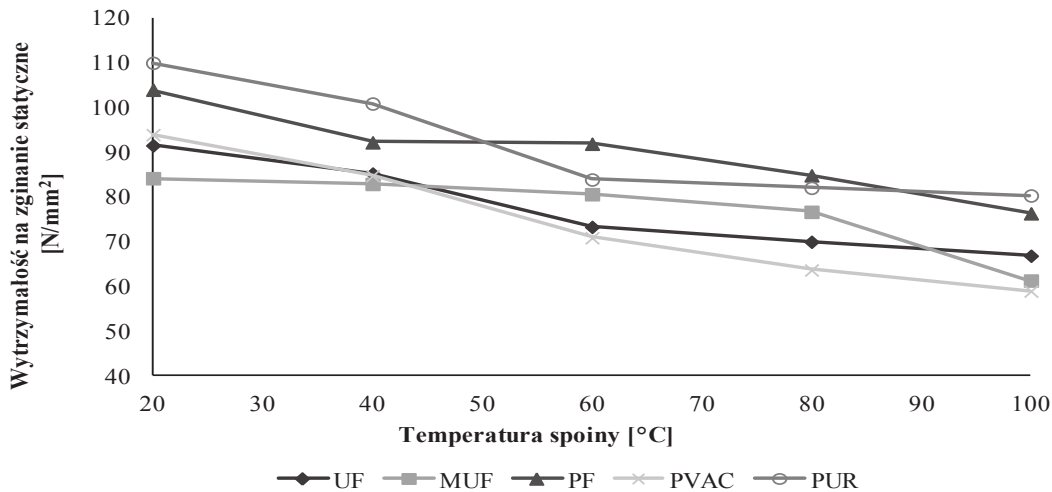
Natomiast w przypadku próbek, w których wykorzystane były żywice PF, PUR i PVAC udział zniszczenia w drewnie, zanotowano na poziomie 100%.



**Rys. 2.** Wytrzymałość spoin na ścinanie  
**Fig. 2.** Strengths shear welds

#### *Badanie wytrzymałości na zginanie statyczne oraz modułu sprężystości przy zginaniu statycznym*

Wyniki przeprowadzonych badań wytrzymałości na zginanie statyczne zestawiono na rys. 3 oraz w tab. 2 uwzględniono podział na klasy wytrzymałości sklejk na zginanie statyczne w oparciu o normę PN-EN 636:2012+A1:2015. Najwyższe wartości wytrzymałości na zginanie statyczne zanotowano dla sklejek zaklejanych żywicą PUR oraz PF, natomiast dla sklejek z żywicą PVAC wartość tej cechy jest najniższa. Wraz ze wzrostem temperatury wygrzewania sklejek od 20 do 100°C zanotowano spadek wytrzymałości w zakresie od 27% dla żywic PF, UF, MUF i PUR do 37% dla żywicy PVAC w stosunku do wartości początkowej wytrzymałości przy 20°C. W przypadku sklejek zaklejanych klejem PVAC przyczyną spadku właściwości wytrzymałościowych jest termoplastyczna natura kleju polioctanowinylowego (Murray 1997). Dla pozostałych sklejek spadek właściwości wytrzymałościowych, aczkolwiek co do wartości zdecydowanie mniejszy niż dla kleju PVAC, kształtował się na zbliżonym poziomie. Chociaż w badanych sklejkach (z wyłączeniem PVAC) wykorzystano substancje klejące na bazie związków duroplastycznych, to zaistniały spadek właściwości wytrzymałościowych można tłumaczyć częściowym uplastycznieniem chemicznych składników drewna, jak np. ligniny. Zdaniem Krzysika (1975) temperatura całkowitego uplastycznienia ligniny wynosi 130°C, więc można domniemywać, że przy każdym wzroście temperatury lignina ulega proporcjonalnemu uplastycznieniu.



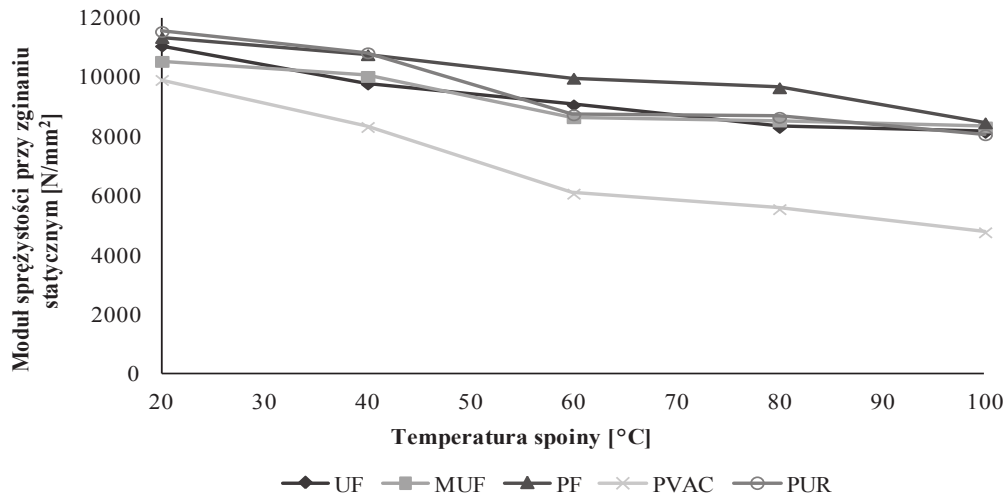
**Rys. 3.** Wytrzymałość na zginanie statyczne wszystkich wytworzonych wariantów sklejek  
**Fig. 3.** Resistance to static bending of all produced variants of plywood

**Tabela 2.** Podział na klasy wytrzymałości sklejk na zginanie statyczne dla badanych wariantów próbek

**Table 2.** Division into plywood strength classes for static bending for the tested sample variants

Klasy wytrzymałości na zginanie statyczne	Temperatura ekspozycji [°C]				
	20	40	60	80	100
F70	PUR				
F60	UF PF PVAC	PUR PF	PF		
F50	MUF	UF MUF PVAC	MUF PUR	MUF PF PUR	PF PUR
F40			UF PVAC	UF PVAC	UF MUF
F30					PVAC

Na rys. 4 zostały zestawione wyniki badań modułu sprężystości, natomiast w tab. 3 przedstawiono wyniki z podziałem na klasy modułu sprężystości sklejk przy zginaniu (PN-EN 636:2012+A1:2015). Dla modułu sprężystości sytuacja jest podobna jak w przypadku wytrzymałości na zginanie statyczne, najwyższa wartość modułu sprężystości została zanotowana dla tworzyw warstwowych, w których zastosowano żywice PUR oraz PF, natomiast próbki z żywicą PVAC wykazywały najniższą wartość modułu sprężystości w całym zakresie temperatur. Wraz ze wzrostem temperatury wygrzewania sklejek od 20 do 100°C zanotowano spadek modułu sprężystości przy zginaniu statycznym w zakresie od 21% dla żywic PF, UF, MUF i PUR do 52% dla żywicy PVAC w stosunku do wartości początkowej wytrzymałości przy 20°C.



**Rys. 4.** Moduł sprężystości przy zginaniu statycznym wszystkich wytworzonych wariantów sklejek

**Fig. 4.** The modulus of elasticity in static bending of all produced variants of the plywood

**Tabela 3.** Podział na klasy modułu sprężystości sklejki przy zginaniu statycznym dla badanych wariantów próbek

**Table 3.** Classification of the modulus of elasticity of plywood with static bending for the tested variants of samples

Klasy modułu sprężystości przy zginaniu statycznym	Temperatura ekspozycji [°C]				
	20	40	60	80	100
E100	UF MUF PF PUR	MUF PF PUR			
E90	PVAC	UF PVAC	UF PF	PF	
E80			MUF PUR	UF MUF PUR	UF MUF PF PUR
E70					
E60			PVAC		
E50				PVAC	
E40					PVAC

## Wnioski

Po dokonaniu analizy uzyskanych wyników zauważono, że sklejka, która została wytworzona przy użyciu żywicy PUR i PF wykazała najwyższe wartości wytrzymałości na zginanie statyczne z uwzględnieniem zakresów temperatur. W przypadku modułu sprężystości przy zginaniu statycznym najwyższą jego wartość zanotowano w zakresie temperatur od 20 do 40°C dla sklejek, w których, jako spoiwa użyto żywicy PUR, natomiast w zakresie od 60 do 100°C najwyższym modułem sprężystości wykazały się sklejki PF. Najniższa wartość wytrzymałości na zginanie statyczne oraz wartość modułu sprężystości przy zginaniu statycznym, została zaobserwowana dla sklejek zaklejanych żywicą PVAC.



Odnotowany spadek właściwości wytrzymałościowych materiałów warstwowych powinien być uwzględniany w kontekście docelowego zastosowania tworzyw w miejscach, w których różnice temperatur mogą być istotne. W oznaczeniu wytrzymałości spoin na rozciąganie uzyskano najwyższą wartość dla próbek, w których wykorzystano żywicę PF, natomiast najniższą wartość w przypadku próbek z użyciem żywicy UF. Po przeanalizowaniu profili gęstości dla poszczególnych rodzajów sklejek, sprecyzowano wniosek, że brak jest istotnych różnic pomiędzy nimi.

### Literatura

Ali I., Jayaraman K., Bhattacharyya D., 2014: Effects of resin and moisture content on the properties of mediumdensityfibreboards made from kenafbastfibres. *Industrial Crops and Products* 52, 191–198.

Deam B. L.,Fragiacomo M., Buchanan A. H. 2008: Connections for composite concrete slab and LVL flooring systems. *Materials and Structures* 41(3), 495–507. DOI: 10.1617/s11527-007-9261-x.

Krzysik F. 1975: *Nauka o drewnie*. PWN Warszawa

Murray, G. T. 1997: *Handbook of materials selection for engineering applications*, CRC Press, p. 242, ISBN 978-0-8247-9910-6.

Parczewski A., Sadowski M., Wierzbicki A. 1969: *Technologia produkcji sklejek*, rozdział nr IV, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.

### Wykaz norm

PN-EN 310:1994 Płyty drewnopochodne - Oznaczanie modułu sprężystości przy zginaniu i wytrzymałości na zginanie.

PN-EN 314-1:2007 (U) Sklejka - Jakość sklejenia - Część 1: Metody badań.

PN-EN 636:2012+A1:2015 Sklejka - Wymagania techniczne.

PN-EN 827:2006 Kleje – Oznaczenie umownej i stałej zawartości suchej substancji.

### Źródła internetowe

[www.steico.com/](http://www.steico.com/) (dostęp: kwiecień 2019).

---

*Artykuł recenzowany / Reviewed paper*

*Zgłoszony / Submitted: 14.05.2019*

*Opublikowany online / Published online: 07.07.2019*