

## WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE WYBRANYCH KLEJÓW EPOKSYDOWYCH

Izabela Miturska, Anna Rudawska

Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano wyniki badań właściwości mechanicznych wybranych klejów epoksydowych. W trakcie badań wykorzystano 6 kompozycji klejowych przygotowanych z 3 rodzajów żywic epoksydowych: Epidian 5, Epidian 53 oraz Epidian 57, które mieszano z utwardzaczem PAC w stosunku 100:100 oraz 100:80. Podczas realizacji badań przygotowano 2 zestawy próbek: próbki klejów w stanie utwardzonym oraz próbki jednozakładkowych połączeń klejowych blachy C45 wykonanych za pomocą wymienionych klejów. Analizując wyniki badań wytrzymałości połączeń klejowych i grubości warstwy kleju zauważono pewną zależność – im spoina ma mniejszą grubość, tym wytrzymałość połączenia jest większa. Jednozakładkowe połączenia klejowe przygotowane za pomocą kleju Epidian 57/PAC/100:80 uzyskały największą wytrzymałość (14,9 MPa), przy najmniejszej wartości grubości spoiny klejowej (0,2 mm). W przypadku zastosowania kleju Epidian 5/PAC/100:80 uzyskano najmniejszą wytrzymałość statyczną (6,69 MPa).

**Słowa kluczowe:** żywice epoksydowe, kleje epoksydowe, proces klejenia, badanie materiału, wytrzymałość

### MECHANICAL PROPERTIES OF SELECTED EPOXY ADHESIVES

**Abstract.** The article presents the results of tests of mechanical properties of selected epoxy adhesives. The study used 6 types of adhesive compositions prepared from three types of epoxy resins Epidian 5, Epidian 53 and Epidian 57, which were mixed with the hardener PAC 100:100 and 100:80. During the implementation of research two sets of samples were prepared: samples of adhesives in hardened state and single lap adhesive joints of steel sheet C45 made by using these epoxy adhesives. By studying the results of strength tests of adhesive joints and adhesive layer thickness, was observed a dependence – when the weld has a smaller thickness, the strength of the connection is greater. One single-lap adhesive joints prepared with Epidian 57 / PAC / 100: 80 have the highest strength (14.9 MPa), with the smallest adhesive thickness (0.2 mm). When using Epidian 5 / PAC / 100: 80, the lowest static strength (6.69 MPa) was obtained.

**Keywords:** epoxy resins, epoxy adhesives, bonding processes, materials testing, strength

### Wstęp

Klejenie jest bardzo popularną metodą łączenia ze sobą różnych elementów m.in. maszyn, pojazdów, wypierającą tradycyjne metody łączenia takie jak spawanie, czy nitowanie. Co ciekawsze połączenie klejowe może dorównać wytrzymałością właśnie tym tradycyjnym sposobom łączenia elementów. Często wykorzystanie kleju ma na celu uszczelnienia różnych elementów np. gwintów, silników spalinowych. Kleje wykorzystuje się również do regeneracji, napraw m.in. do usuwania nieszczelności przewodów gazowych lub do usuwania przecieków w różnych zbiornikach.

Uzyskanie połączenia klejowego o odpowiedniej wytrzymałości, sprawdzającego się w danych warunkach eksploatacji wymaga przeprowadzenia szeregu badań i prób. Określa się między innymi wytrzymałość zmęczeniową, doraźną oraz długotrwałą. Przy projektowaniu połączenia należy uwzględnić również szereg czynników technologicznych, konstrukcyjnych, materiałowych oraz eksploatacyjnych, mających istotny wpływ na właściwości połączenia.

Kleje epoksydowe uznawane są za jedne z najbardziej uniwersalnych klejów [1,3]. Właściwości, które je charakteryzują to, między innymi: odporność chemiczna, dobra przyczepność do większości metali, tworzyw polimerowych, drewna czy też ceramiki. Kluczową zaletą jest właściwie brak konieczności stosowania zwiększonego ciśnienia oraz możliwość wykorzystania podwyższonej temperatury powodującej szybsze sieciowanie kleju. Część klejów epoksydowych jest cieczami lub pastami dwuskładnikowymi, rzadziej stosuje się układy jednoskładnikowe niewymagające mieszania [13]. Podstawowym składnikiem klejów epoksydowych są żywice epoksydowe, które występują pod wieloma postaciami. Drugim komponentem epoksydowej mieszaniny klejowej jest utwardzacz. Kleje epoksydowe mogą zawierać również wiele innych dodatków, które umożliwiają zmianę właściwości kleju dostosowanych np. do łączonego materiału lub warunków eksploatacji [3,7,8,10,11]

Żywice epoksydowe utwardzają się w temperaturze pokojowej lub wymagają temperatury podwyższonej. Ponieważ każdy konkretny typ kleju epoksydowego nadaje się najlepiej do określonej grupy zastosowań, skuteczność łączenia klejami epoksydowymi zależy w znacznym stopniu od dobrania właściwego rodzaju kleju do danego zastosowania [13].

Utwardzacze do żywic epoksydowych są to związki chemiczne, które w wyniku reakcji chemicznych powodują przestrzenne usieciowanie żywicy, nadając jej cechy kleju, syciwa lub tworzywa chemoutwardzalnego [1].

Wykonane przez autorów niniejszej pracy badania wytrzymałościowe wybranych klejów epoksydowych w stanie utwardzonym oraz badania połączeń klejowych utworzonych z zastosowaniem tych klejów, miały na celu określenie właściwości mechanicznych zastosowanych klejów w stanie utwardzonym oraz określenie wpływu rodzaju żywicy epoksydowej i dobranej proporcji stechiometrycznej żywicy z utwardzaczem na wytrzymałość połączenia klejowego obciążonego na ścinanie w statycznej próbie wytrzymałościowej.

### 1. Metodyka badań

W badaniach określono właściwości mechaniczne wybranych klejów epoksydowych poprzez badanie próbek samego kleju w stanie utwardzonym, jak również połączeń klejowych utworzonych z wykorzystaniem tych klejów. Dokonano również pomiarów geometrycznych klejonych próbek, w których najistotniejszym wymiarem była grubość warstwy kleju oraz długość zakładki. Przeprowadzono analizę wpływu rodzaju kleju i ilości dodanego utwardzacza na grubość spoiny klejowej.

#### 1.1. Rodzaj kleju

Podczas przeprowadzenia badań wykorzystano 6 kompozycji klejowych przygotowanych z 3 rodzajów żywic epoksydowych: Epidian 5, Epidian 53 oraz Epidian 57, które mieszano z utwardzaczem PAC w różnych stosunkach stechiometrycznych. Dodanie do żywicy utwardzacza powoduje inicjację procesu utwardzania spoiny, prowadzącego do przemiany kleju ze stanu ciekłego w stan stały [9].

W tabeli 1 przedstawiono informacje dotyczące udziału składników klejów: utwardzacza i żywicy oraz oznaczenia zastosowanych w badaniach rodzajów kompozycji klejowych. Zastosowane proporcje zostały przyjęte zgodnie z zaleceniami producenta żywic oraz danymi literaturowymi, z zakresu wartości optymalnych pod względem uzyskania pożądanego, jak najlepszych właściwości [5,14]. Zastosowane ilości wybranych składników w poszczególnych klejach umożliwiają uzyskanie

spoiny klejowej o korzystnych właściwościach dzięki zapewnieniu w procesie utwardzania odpowiednich stosunków stechiometrycznych [13]. W przypadku zastosowania zbyt dużej ilości utwardzacza, nadmiar pozostaje w żywicy niezwiązany, przez co pogorszeniu ulegają parametry fizyczne połączenia. Często dla niektórych żywic i utwardzaczy podawany jest przedział wartości możliwych do zastosowania ilości utwardzacza w zależności od rodzaju żywicy.

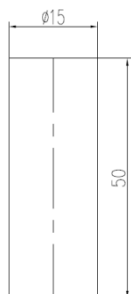
Tabela 1. Rodzaje stosowanych w badaniach klejów epoksydowych

Lp.	Oznaczenie kompozycji	Rodzaj żywicy	Rodzaj utwardzacza	Udział wagowy utwardzacza na 100 cz. wag. żywicy
1	Epidian 5/PAC/100:100	Epidian 5	PAC	100 cz. wag.
2	Epidian 5/PAC/100:80			80 cz. wag.
3	Epidian 53/PAC/100:100	Epidian 53		100 cz. wag.
4	Epidian 53/PAC/100:80			80 cz. wag.
5	Epidian 57/PAC/100:100	Epidian 57		100 cz. wag.
6	Epidian 57/PAC/100:80			80 cz. wag.

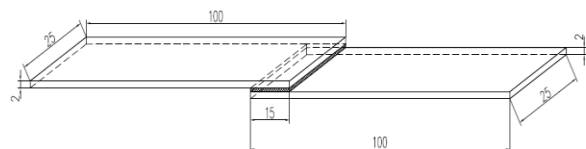
Kompozycje klejowe mieszano mechanicznie, specjalnego typu mieszadłem umożliwiającym równomierne wymieszanie obu składników kleju. Proces mieszania trwał 2 minuty, po czym usuwano pęcherze gazowe w komorze próżniowej przez 2 minuty. Cały ten proces przeprowadzono bezpośrednio przed wykonaniem próbek klejów w stanie utwardzonym oraz przed nakładaniem kompozycji klejowej na jedną z łączonych powierzchni. Podczas wykonywania połączeń klejowych masę klejową nakładano jednym pociągnięciem szpatułki w celu minimalizacji wprowadzania pęcherzy powietrza do spoiny.

## 1.2. Charakterystyka próbek

W badaniach wykorzystano walcowe próbki z poszczególnych rodzajów kleju w stanie utwardzonym oraz próbki jednozakładkowych połączeń klejowych blach stalowych C45 z zastosowaniem wymienionych klejów epoksydowych. Kształt i wymiary próbek wykorzystanych do badań przedstawiono na rys. 1 i rys. 2.



Rys. 1. Schemat próbek kleju w stanie utwardzonym



Rys. 2. Schemat połączenia klejowego jednozakładkowego blach stalowych C45

Długość zakładki obliczono ze wzoru na graniczną długość połączenia zakładkowego [4]. Przyjęto długość zakładki połączenia klejowego o wymiarze 15 mm.

Wykonane próbki klejów oraz połączenia klejowe poddano badaniom wytrzymałościowym. W przypadku próbek klejów w stanie utwardzonym zbadano siłę ściskającą oraz odkształcenie. Dla jednozakładkowych połączeń klejowych zbadano siłę niszczącą oraz wytrzymałość na ścinanie, zmierzono także grubość warstwy kleju w celu oceny wpływu grubości warstwy kleju na ich wytrzymałość.

## 1.3. Warunki przygotowania próbek

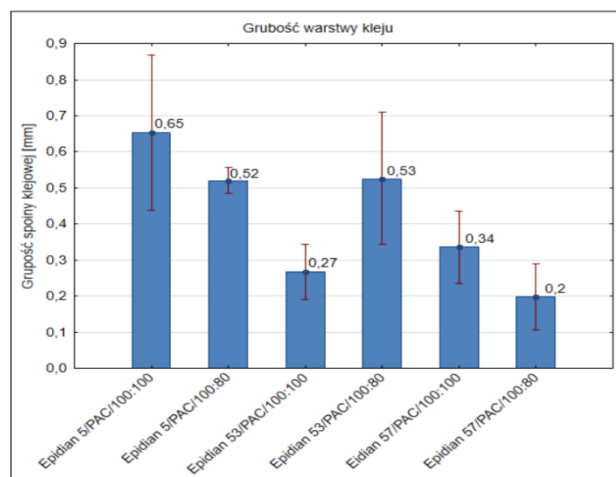
Wszystkie próbki przygotowano i badano w warunkach laboratoryjnych, w których temperatura powietrza wynosiła  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , a wilgotność  $31\% \pm 2\%$ . Próbki pozostawiono do utwardzenia przez 7 dni, przy czym próbki połączeń klejowych dodatkowo w tym czasie były obciążone ciśnieniem  $1,54 \cdot 10^{-2}$  MPa. Próbki blachy C45 przed esem klejenia poddano obróbce mechanicznej i odtłuszczeniu. Proces ręcznej obróbki mechanicznej przeprowadzono za pomocą papieru ściernego o ziarnistości P800, wykonując 30 okrężnych ruchów. W celu odtłuszczenia powierzchni próbek wykorzystano środek Loctite 7063. Aby oczyścić dokładnie powierzchnie z wszelkich zanieczyszczeń spryskano ją obficie odtłuszczaczem i wytarto do sucha ręcznikiem papierowym, a następnie zaaplikowano środek odtłuszczający i pozostawiono do wyschnięcia na około 10 minut. Procedurę odtłuszczenia zawarto w pracy [12].

## 2. Wyniki badań i ich analiza

Pomiary wytrzymałościowe przeprowadzono w próbach niszczących na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150, zgodnie z normą DIN EN 1465 [2], przy sile wstępnej 5 N i prędkości odkształcania 5 mm/min, w przypadku połączeń klejowych. Natomiast w odniesieniu do klejów w stanie utwardzonym zastosowano normę ISO 604.03/2002 [6] w celu określenia odkształcenia kleju.

### 2.1. Analiza wymiarowo-kształtowa połączeń klejowych

Jednym z pierwszych etapów badań było dokonanie pomiarów geometrycznych próbek połączeń klejowych. Istotną była analiza grubości warstwy kleju w zależności od jego rodzaju i ilości dodanego utwardzacza, która następnie może mieć wpływ na ocenę oddziaływania grubości warstwy kleju na wytrzymałość badanych połączeń. Wyniki tych pomiarów zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Grubość spoiny klejowej w zależności od zastosowanego rodzaju kleju

Wartości odchyłek standardowych pomiarów grubości spoin klejowych w połączeniach klejowych wykonanych z poszczególnymi rodzajami mieszanin klejowych są stosunkowo duże. Największa różnica pomiędzy wynikami, a wartością średnią są zauważalne w przypadku klejów Epidian 5/PAC/100:100, Epidian 53/PAC/100:100 oraz Epidian 53/PAC/100:80. W przypadku pozostałych klejów wyniki te charakteryzują się rozrzutem mniejszym o około 50%.

Analizując wyniki pomiaru grubości warstwy kleju w jednozakładkowych połączeniach klejowych blach stalowych C45 wykonanych z użyciem rozpatrywanych rodzajów klejów, zauważyć można, że Epidian 57/PAC/100:80 to klej

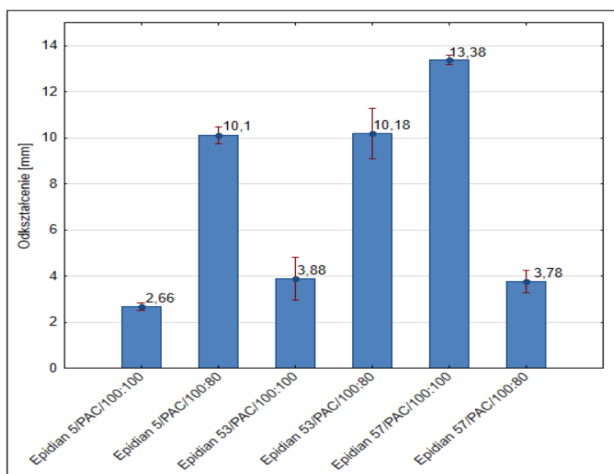
umożliwiający uzyskanie spoiny o najmniejszej grubości. Widoczne jest również, że zastosowanie utwardzacza w stosunku wagowym 100:80 do ilości zastosowanej żywicy powoduje zmniejszenie grubości spoiny w porównaniu do równej proporcji mieszania żywicy z utwardzaczem. Wyjątkiem jest klej Epidian 53/PAC/100:80, dla którego zastosowanie utwardzacza w stosunku wagowym 100:80 spowodowało dwukrotne zwiększenie grubości warstwy kleju.

Na grubość spoiny klejowej mogły mieć wpływ także inne czynniki technologiczne, takie jak lepkość kleju, która jest cechą charakterystyczną zmienną w zależności od zastosowanego rodzaju kleju. Grubość spoiny mogła być również uzależniona od ewentualnych wahań temperatury i wilgotności, występujących w trakcie przygotowywania połączeń klejowych.

## 2.2. Wytrzymałość na ściskanie

Próbki walcowe kleju w stanie utwardzonym poddano niszczącym badaniom wytrzymałościowym. Określono ich wytrzymałość na ściskanie. Siłę wstępną ustalono na 10 N, przy prędkości trawersy 10 mm/min. Jako maksymalne odkształcenie przyjęto 15%. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 4.

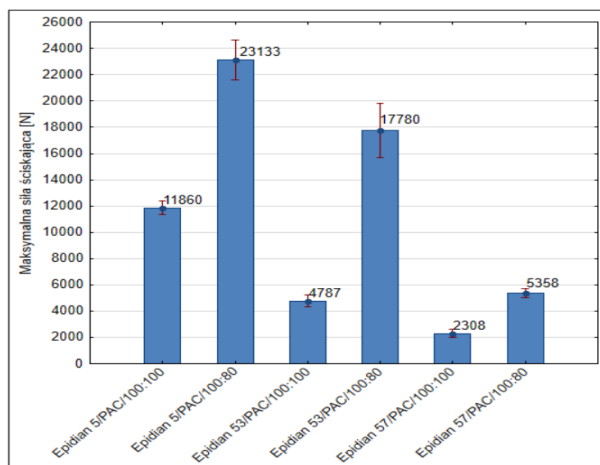
Wartości odchylenia standardowego od wartości średniej odkształcenia próbek kleju w stanie utwardzonym dla wszystkich analizowanych mieszanin klejów epoksydowych są porównywalne i mają niewielką wartość (od 0,17 dla Epidian 5/PAC/100:100 do 0,37 dla Epidian 57/PAC/100:80). Porównując wyniki odkształcenia próbek klejów w stanie utwardzonym można zauważyć, że w przypadku mieszanin Epidian 5/PAC/100:100 i Epidian 5/PAC/100:80 odkształcenie jest prawie czterokrotnie mniejsze w przypadku równej proporcji żywicy i utwardzacza. Dla kompozycji Epidian 53/PAC/100:100 odkształcenie jest 64% mniejsze niż dla żywicy Epidian 53/PAC/100:80. Odwrotną sytuację można zaobserwować w przypadku mieszaniny Epidian 57/PAC/100:100, dla której zmniejszenie ilości utwardzacza spowodowało zmniejszenie odkształcenia o 70%.



Rys. 4. Wyniki pomiaru odkształcenia / wydłużenia próbek kleju w stanie utwardzonym

Dla dokładniejszej interpretacji wyników, na rys. 5. zaprezentowano wartości maksymalnej siły ściskającej, jakie uzyskano podczas próby wytrzymałościowej na ściskanie.

Na podstawie wyników pomiaru odkształcenia próbek w zależności od siły ściskającej zauważyć można, że największe odkształcenie próbki (13,38 mm) uzyskano przy sile 2308 N wykonując próby wytrzymałościowe próbki mieszaniny klejowej Epidian 57/PAC/100:100. Najmniejsze odkształcenie (2,66 mm) uzyskano przy sile ściskającej 11860 N dla kompozycji klejowej Epidian 5/PAC/100:100.

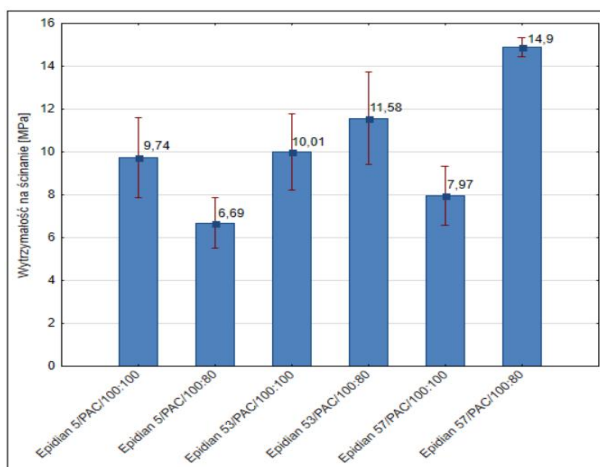


Rys. 5. Wyniki pomiaru maksymalnej siły ściskającej podczas ściskania próbek kleju w stanie utwardzonym

Wart uwagi jest fakt, że największe odkształcenie próbki kleju w stanie utwardzonym Epidian 57/PAC/100:100 uzyskano przy najmniejszej sile (2308 N), co może oznaczać, że mieszanina klejowa wykonana w takich proporcjach charakteryzuje się elastycznością większą niż pozostałe kompozycje rozpatrywane w badaniach.

## 2.3. Wytrzymałość na ścinanie

Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie jednozakładkowych połączeń klejowych blach stalowych C45 wykonanych z wykorzystaniem opisywanych kompozycji klejowych, przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wyniki pomiaru wytrzymałości na ścinanie zakładkowych połączeń klejowych

Bazując na wynikach niszczącej próby wytrzymałościowej połączeń klejowych wykonanych z wykorzystaniem klejów Epidian 53/PAC/100:80 i Epidian 57/PAC/100:80 można zauważyć, że w przypadku zastosowania mniejszej ilości utwardzacza w stosunku do użytej żywicy, wytrzymałość połączeń klejowych jest większa niż w przypadku zastosowania mieszanin klejowych połączonych w stosunku 1:1. W przypadku połączenia klejowego wykonanego z użyciem kompozycji Epidian 57/PAC/100:100 wytrzymałość ta stanowi 53% wytrzymałości połączenia klejowego wykonanego za pomocą Epidian 57/PAC/100:80. Odwrotnie jest, jeżeli chodzi o połączenia wykonane za pomocą kleju epoksydowego Epidian 5/PAC/100:100 – wytrzymałość połączenia klejowego wykonanego z użyciem Epidian 5/PAC/100:80 stanowi 69% wytrzymałości połączeń klejowego wykonanego z użyciem kompozycji klejowej Epidian 5/PAC/100:100.



Można zauważyć, że dla najbardziej wytrzymałego połączenia klejowego (13,3 MPa), wykonanego za pomocą kleju Epidian 57/PAC/100:80, grubość warstwy kleju była najmniejsza (0,22 mm), zaś dla połączeń klejowych o mniejszej wytrzymałości grubość warstwy kleju była większa (około 0,5 mm).

### 3. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania dotyczyły określenia właściwości mechanicznych wybranych klejów epoksydowych oraz wpływu ich właściwości na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych. Badaniom wytrzymałościowym na ściskanie poddano próbki klejów w stanie utwardzonym, w celu określenia ich podatności na odkształcenia. Niszczącym próbom wytrzymałościowym poddano również połączenia klejowe blachy stalowej C45, łączone za pomocą klejów przygotowanych z żywicy epoksydowych: Epidian 5, Epidian 53 oraz Epidian 57 i utwardzacza PAC w różnych stosunkach stechiometrycznych.

W artykule zwrócono uwagę na badanie kleju w stanie utwardzonym. Na podstawie otrzymanych rezultatów zaobserwowano największe odkształcenie w próbkach kleju Epidian 57/PAC/100:80, a najmniejsze dla Epidian 5/PAC/100:100. Dla kleju Epidian 57/PAC/100:100 zmniejszenie udziału utwardzacza w masie klejowej (Epidian 57/PAC/100:80) powoduje kilkukrotne zmniejszenie odkształcenia próbki. Odwrotnie jest dla kleju Epidian 5/PAC/100:100 i Epidian 53/PAC/100:100, dla których odkształcenie jest mniejsze przy zastosowaniu proporcji 1:1.

Zmierzono również grubość otrzymanych spoin klejowych w połączeniach jednozakładkowych, aby móc określić wpływ rodzaju kleju na grubość warstwy kleju oraz ocenić wpływ tej wartości na wytrzymałość połączenia.

Na podstawie badań, zauważono że rodzaj użytego kleju oraz ilość utwardzacza w mieszaninie klejowej ma istotny wpływ na grubość warstwy kleju w spoinie klejowej. Warstwę kleju o najmniejszej grubości uzyskano podczas zastosowania kleju Epidian 57/PAC/100:100. Ze względu na kryterium, jakim jest grubość spoiny klejowej, najmniej korzystne okazało się zastosowanie kleju Epidian 5/PAC/100:100 oraz Epidian 53/PAC/100:80.

Biorąc pod uwagę wytrzymałość na ścinanie, najwyższą wartość wykazały połączenia klejowe wykonane z użyciem mieszaniny klejowej Epidian 57/PAC/100:80. Najmniej korzystnym wynikiem charakteryzowały się połączenia wykonane za pomocą kleju Epidian 5/PAC/100:80.

Analizując wyniki badań wytrzymałości połączeń klejowych i grubości warstwy kleju można zauważyć, że:

- im spoina ma mniejszą grubość, tym wytrzymałość połączenia jest większa, co po raz kolejny stanowi potwierdzenie prowadzenia badań uwzględniających tą problematykę,
- jednozakładkowe połączenia klejowe przygotowane za pomocą kleju Epidian 57/PAC/100:80 uzyskały największą wytrzymałość, przy najmniejszej wartości grubości spoiny klejowej,
- w przypadku zastosowania kleju Epidian 5/PAC/100:80 uzyskano najmniejszą wytrzymałość statyczną, przy jednocześnie największej wartości grubości warstwy kleju,
- dla kompozycji klejowych: Epidian 53/PAC i Epidian 57/PAC zaobserwowano wzrost wytrzymałości połączeń klejowych, wykonanych z ich wykorzystaniem, przy zmniejszeniu udziału procentowego utwardzacza w kompozycji klejowej (stosunek 100:80).

Podsumowując analizę wytrzymałościową i mając na uwadze fakt, że żadna z próbek nie uległa całkowitemu zniszczeniu można stwierdzić, że kleje te cechują się wysoką elastycznością, co wynika z rodzaju zastosowanego utwardzacza. Dodanie do masy klejowej utwardzacza PAC powoduje, że klej staje się bardziej elastyczny, dlatego też kleje z udziałem tego utwardzacza polecane są do stosowania w elementach narażonych na odkształcenia podczas ich użytkowania.

Klejenie staje się coraz bardziej popularną metodą łączenia ze sobą elementów. Uzyskane połączenia charakteryzuje duża wytrzymałość oraz elastyczność, czego nie można uzyskać w przypadku innych metod spajania. Ważne jest, aby m.in. odpowiednio przygotować powierzchnię do klejenia, dobrać właściwy klej oraz określić, w jakich warunkach będzie pracował łączony element. Odpowiednie obliczenia wymiarowe połączenia oraz badania wytrzymałościowe pozwalają na jak najlepsze dobranie rodzaju kleju i uzyskanie pożądanej jego wytrzymałości i elastyczności. Opisane w powyższej pracy badania mogą okazać się być pomocne podczas wykonywania lub naprawy konstrukcji gdzie podstawowym materiałem jest stal konstrukcyjna C45. Otrzymane wyniki mogą wskazywać na możliwość zastosowania badanych klejów w zależności od potrzeb ich wykorzystania, jako bardziej elastycznych lub bardziej sztywnych z uwzględnieniem uzyskanej grubości spoiny klejowej.

### Literatura

- [1] Czub P., Bończa-Tomaszewski Z., Penczek P., Pieluchowski J.: Chemia i technologia żywic epoksydowych. WNT, Warszawa 2002.
- [2] DIN EN 1465 Adhesives – Determination of tensile lap-shear strength of bonded assemblies.
- [3] Fink J.K.: Epoxy resin. Chapter 3 in: Reactive Polymers Fundamentals an Applications. A volume in Plastics Design Library, 2005, 139–240.
- [4] Godzimirski J., Czaplicki J., Ćwikliński J., Konar P.: Klejenie tworzyw konstrukcyjnych. WKŁ, Warszawa 1987.
- [5] Godzimirski J., Tkaczuk S.: Określenie właściwości mechanicznych spoin klejowych. Technologia i Automatyzacja Montażu, 3–4/2004, 95–97.
- [6] ISO 604.03/2002 - Plastics -- Determination of compressive properties
- [7] Jintao W., Zhi-Yang B., Cun-Jin X., Bo-Geng L., Hong F.: Preparation, curing kinetics, and properties of a novel low-volatile starlike aliphatic-polyamine curing agent for epoxy resins. Chemical Engineering Journal 171/2011, 357–367.
- [8] Morancho J.M., Cadenato A., Ramis X., Fernández-Francos X., Salla J.M.: Thermal curing and photocuring of an epoxy resin modified with a hyperbranched polymer. Thermochimica Acta 510/2010, 1–8.
- [9] Rudawska A., Głogowska K.: Analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych wykonanych przy użyciu klejów epoksydowych. Przetwórstwo tworzyw 4/2014, 320–325.
- [10] Rudawska A., Kuczmaszewski J.: Badania porównawcze efektów modyfikacji żywic epoksydowych napełniaczami o dużym stopniu rozdrobnienia dla wybranych utwardzaczy. Przetwórstwo Tworzyw 5/2012, 500–504.
- [11] Rudawska A., Kuczmaszewski J.: Klejenie blach ocynkowanych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2005.
- [12] Rudawska A., Reszka M., Warda T., Mitorska I., Szabelski J., Stančeková D., Skoczylas A.: Milling as a method of surface pre-treatment of steel for adhesive bonding. Journal of Adhesion Science and Technology 06/2016 (DOI: 10.1080/01694243.2016.1191585)
- [13] Rudawska A., Semeniuk M.: Wpływ rodzaju żywicy epoksydowej i utwardzacza na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych. Technologia i Automatyzacja Montażu 4/2014, 65–68.
- [14] Stawińska K.: Wroby epoksydowe z Zakładów Chemicznych „Organika – Sarzyna”. Polimery 43(11–12)/1998, 741–746.

**Mgr inż. Izabela Mitorska**  
e-mail: i.mitorska@pollub.pl

Doktorantka 3 roku studiów doktoranckich kierunku budowa i eksploatacja maszyn. Od 2015 pracownik Katedry Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Swoje badania prowadzi w zakresie modyfikacji klejów epoksydowych oraz analizy wpływu czynników technologicznych i konstrukcyjnych na wytrzymałość połączeń klejowych materiałów konstrukcyjnych. Współautorka kilku zgłoszeń patentowych i 1 patentu oraz kilku artykułów, w tym również z listy filadelfijskiej.

**Dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PL**  
e-mail: a.rudawska@pollub.pl

Kierownik zakładu Projektowania Procesów i Systemów Technologicznych w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji. W swoich badaniach koncentruje się na zagadnieniach analizy wpływu czynników technologicznych i konstrukcyjnych na wytrzymałość połączeń klejowych różnorodnych materiałów konstrukcyjnych, badaniu właściwości adhezyjnych łączonych materiałów, a także problematyce modyfikacji kompozycji klejowych epoksydowych. Autorka 160 publikacji naukowych oraz twórczyni licznych zgłoszeń patentowych i patentów.

otrzymano/received: 15.06.2016

przyjęto do druku/accepted: 22.11.2017

