



# Żywice na kompozyty

Laminaty z materiałów przesyconych żywicami to nic nowego. Nawet dzicy stosowali żywice z drzew do spajania włókien łączących grot z drzewcem włócznie. Niektóre konstrukcje kompozytowe były nawet synonimem tandety (Karton Trabant, płyta paździerzowa).

Co więc powoduje obecnie tak gwałtowny rozwój kompozytów i ich coraz szersze stosowanie? To oczywiście użyte materiały i technologie.

## TETYANA OSMIRKO

**D**zięki zastosowaniu odpowiednich materiałów spajających (żywic), wzmocnień (włókien, tkanin, mat), materiałów przedkładkowych oraz odpowiednich technologii (worek próżniowy, autoklaw, infuzja); uzyskujemy wyroby nieporównywalne z poprzednimi generacjami. Oczywiście o produkcji laminatów można napisać cały szereg artykułów, a nawet książkę, warto jednak skupić się na jednym z elementów laminatu, jakim jest żywica.

Dla niektórych wytwórców żywica to po prostu żywica, a więc standardowy, najtańszy poliestr (może z rozróżnieniem orto od izoftalowego). Jeśli potrzebne jest spełnienie dodatkowych wymagań klienta, powstaje dylemat: nie przyjąć zlecenia? „wcisnąć kit” i dalej robić „po staremu”? Zrobić nadwymiarową grubość „na wszelki wypadek”, a może doksztalczyć się w zakresie stosowanych syciw i wzmocnień, ich wad i zalet?

O ile wiedza o żywicach poliestrowych jest dość powszechna i łatwa do uzyskania od producentów lub dystrybutorów, to już winylestry lub epoksydy nie są tak powszechne. Zainteresowanie żywicami epoksydowymi wzrasta głównie w związku z rosnącym rynkiem laminatów z włóknem węglowym, które najlepiej sprawdzają się w matrycy epoksydowej.

Milar od 20 lat oferuje na polskim rynku żywice epoksydowe, dzięki temu, może służyć doświadczeniem i wykwalifikowanymi doradcami, którzy pomogą



w doborze materiału. Wejście w świat zaawansowanych kompozytów odbywa się zwykle etapami. Kiedy kończą się możliwości prymitywnych technik lub konkurencja jest zbyt silna, konieczne jest wejście w innowacyjne materiały i technologie.

Po pierwsze Poliester. Jest to zwykły materiał „pierwszego wyboru”. Główne zalety to niska cena, duża dostępność, utwardzanie w niskich temperaturach, tolerancja niedokładności mieszania (proporcji składników), szybkość utwardzania regulowana ilością katalizatora. Żywice te mają jednak wiele wad. Przede wszystkim wysoka chłonność wody, powodująca korozję osmotyczną włókien (tworzenie pęcherzyków). Kolejną wadą jest stosunkowo niska wytrzymałość, powodująca konieczność wykonywania grubych ścianek, a co za tym idzie, większą wagę laminatu i większe zużycie materiałów. Nie bez znaczenia są duży skurcz i egzotermia, co w połączeniu z koniecznością wykonywania grubych ścianek powoduje występowanie naprężeń i deformacje. Większość poliestrów zawiera duże ilości łatwopalnego styrenu, powodując niebezpieczeństwo w miejscu pracy. Dodatkowo długotrwałe narażenie na wdychanie styrenu wywołuje problemy ze wzrokiem. Duża ilość styrenu to także emisja VOC, która jest coraz częściej brana „pod lupę” przez inspektorów BHP i inspekcję pracy. Wersje poliestrów „o niskiej zawartości styrenu” zwykle są kruche po wstępnym utwardzeniu, a ich odporność na wodę jest jeszcze niższa niż zwykłego poliestru.

Po drugie Winylester. Jest to duży postęp w stosunku do zwykłych poliestrów. Przede wszystkim jeśli chodzi o odporność na wodę i parametry mechaniczne (choć nie tak dobre jak epoksydów). Wciąż jednak zawartość styrenu sięga 30 proc. Wymagają dohartowania (nie utwardzają się w tak niskich temperaturach jak poliestry), posiadają wciąż duży skurcz i dodatkowo są dość trudne w naprawach po utwardzeniu. Co więcej są 2–3 razy droższe od zwykłych poliestrów, zbliżając się cenowo do epoksydów.

Wreszcie epoksydy. Trzeba zauważyć, że żywice do laminowania należy podzielić na kilka grup, mających różne właściwości i zakwalifikować do różnych grup cenowych. Wspólne dla epoksydów bezrozpuszczalnikowych są przede wszystkim: mały skurcz, odporność zmęczeniowa, odporność na wodę i chemikalia, najlepsze właściwości mechaniczne, łatwość napraw, brak lotnych rozpuszczalników i VOC. Niestety mają też wady: są droższe od poliestrów, wymagają dokładnej proporcji składników, niektóre utwardzacze są uczulające (TETA), dla osiągnięcia pełnych parametrów wymagają dohartowania. Niektóre epoksydy zawierają rozpuszczalniki lub styren, przez co ich skurcz jest duży, stanowią zagrożenie pożarowe jak poliestry i nie pozwalają na uzyskanie wysokich parametrów mechanicznych. Są one jednak coraz rzadziej stosowane, bo przy cenie charakterystycznej dla epoksydów, posiadają wady poliestrów.

Epoksyd epoksydowi nierówny. Trzeba zauważyć, że zarówno wśród żywic, jak

też utwardzaczy, występują dość istotne różnice a samo użycie „epoksydu” wcale nie gwarantuje najwyższej klasy laminatu.

Epoksyd bazowy – występuje w dwóch postaciach:

- a) standardowej – o lepkości ok. 10 000–15 000 mPas i przeznaczeniu głównie do laminowania ręcznego. Zwykle o dużym rozrzucie parametrów końcowych. Tani, 2–4 euro/kg
- b) rozcieńczony prostym rozcieńczalnikiem (eter diglicydydowy lub monoglicydydowy z łańcuchami C12–C14). Takie proste modyfikacje pozwalają uzyskać lepkość na poziomie 500–800 mPas ale kosztem utraty sztywności. Im niższa lepkość, tym niższe parametry mechaniczne, możliwy duży rozrzut parametrów między dostawami. Tani, 3–5 euro/kg.

Epoksyd selekcyonowany – zwykle jest to żywica taka jak zwykły prosty epoksyd, ale o mniejszym rozrzucie parametrów. Selekcyonowanie podnosi nieco koszty, jednak pozostają one poziomie do 5–6 euro/kg. Może być także z prostymi rozcieńczalnikami. Przykładem są żywice typu Araldit LY1556.

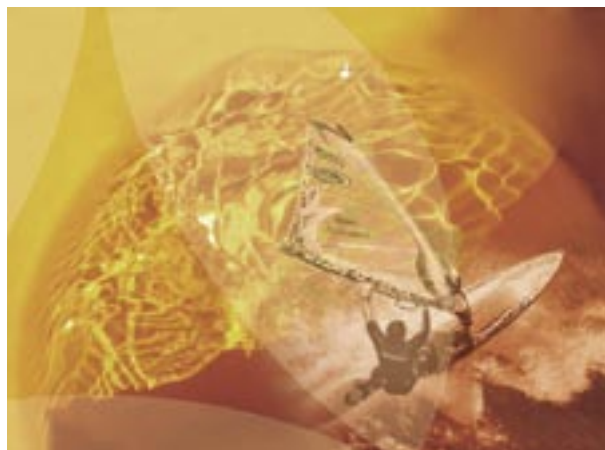
Epoksydy dedykowane – zwykle o mniejszej zawartości rozcieńczalników (jak LY1564) albo zupełnie ich pozbawione (LY3518), oferujące obniżenie lepkości przez modyfikacje w samej strukturze polimeru.

Epoksydy wielofunkcyjne – zwykle oferowane do specjalnych zastosowań. Na przykład Araldit LY5210 (przy zastosowaniu utwardzacza Aradur 5173) osiąga temperaturę zeszklenia ponad 200°C. Najwyższe parametry odporności na temperaturę i chemikalia. Wysoka cena.

Wiele parametrów kompozycji epoksydowych zależy od utwardzacza. Rodzaj utwardzacza decyduje o czasie życia, sposobie utwardzania, a także o wielu parametrach, jak wytrzymałość, elastyczność, temperatura pracy, odporność na wodę i chemikalia itd. Wybór właściwego utwardzacza może być kluczem do uzyskania optymalnych parametrów kompozytu.

Utwardzacze aminowe:

- a) najprostszym i najtańszym jest TETA łatwa w użyciu i pozwalająca na nie-



zbyt dokładne zachowanie proporcji, niezłe parametry są uzyskiwane przy utwardzaniu w niskich temperaturach. Obecnie coraz rzadziej stosowana ze względu na podejrzenia o rakotwórczość, w większości krajów UE niestosowana. Przy braku dohartowania na gorąco może ulegać hydrolizie i obniżyć odporność laminatu na wodę.

- b) aminy alifatyczne – popularne ze względu na dobry stosunek parametrów do ceny, zwykle dla osiągnięcia pełnych parametrów wymagają dohartowania. Niektóre aminy są również toksyczne
- c) Aminy cykloalifatyczne – droższe od alifatycznych ale pozwalające na osiągnięcie wyższych parametrów mechanicznych, długi czas życia mieszanki ale konieczność dohartowania.
- d) Aminy aromatyczne posiadają najlepsze parametry, jednak ze względu na rakotwórczość w większości zostały wycofane.

Utwardzacze bezwodnikowe – utwardzane wyłącznie na gorąco. Stosowane

głównie do metod automatycznych (nawijanie na mokro, pultruzja, prasowanie) ze względu na bardzo długi czas życia mieszanki, sięgający tygodni.

### Systemy/kompozycje

Coraz więcej producentów zachęca do kupowania żywicy i utwardzacza z jednego źródła (optymalne dopasowanie). Zapewnia to uzyskanie założonych parametrów z wysoką powtarzalnością. W przypadku zakupu żywicy i utwardzacza oddzielnie (często od różnych producentów), zwykle parametry końcowe są jedynie „sugerowane” albo całe badania spadają na wykonawcę. Dzięki zastosowaniu gotowego systemu, większość parametrów jest dokładnie określonych, co pozwala zaprojektować laminat bez przewymiarowania. Uzyskanie cieńszych ścianek (mniejszej wagi) pozwala na zmniejszenie kosztów materiałowych, a jednocześnie stanowi argument w rozmowach z odbiorcą (gdyby nie zależało mu na wadze, nie zamawiałby epoksydu, tylko grubego laminatu poliestrowego). Zastosowanie systemu daje też gwarancję powtarzalności parametrów. Wiele systemów posiada atest Loyd, co nie jest dostępne przy stosowaniu komponentów dobranych samodzielnie.

Niektóre systemy stanowią swoisty „state of the art”. Na przykład Huntsman Araldite LY3598/HY3498 wykorzystujące dodatek nanowłókien, co pozwala na osiągnięcie w technologii RTM parametrów prepregu (udarność Gic na poziomie 1000J/mkw). Dodatkowo oferuje połączenie zwiększonej odporności na zginanie z dużym wydłużeniem do zerwania (w zwykłych żywicach zwiększanie jednego z parametrów pociąga spadek drugiego).

Kompozycja LY8615/XB5173 zawierająca wielofunkcyjną żywicę, pozwala uzyskać odporność na temperatury rzędu 200°C, zachowując niską lepkość ok. 300 mPas.

**Dodatkowe informacje można otrzymać od specjalistów firmy Milar: [www.milar.pl](http://www.milar.pl)**

Autorem tekstu jest

Tetyana Osmirko, Milar Sp. z o.o.



# Polipropylenowe plastry miodu ThermHex, przekładki nowej generacji do laminatów poliestrowych i epoksydowych

Zupełnie nowy typ przekładek niemieckiej firmy ThermHex wprowadził właśnie na polski rynek Milar Sp. z o.o., czołowy dostawca materiałów hi-tech do produkcji kompozytów.

**MARZENA CWALINA**  
**TOMASZ CZARNECKI**  
**TETYANA OSMIRKO**

**W** dotychczasowej ofercie Milaru znajdują się najwyższej jakości tkaniny szklane, węglowe oraz aramidowe, pianki PVC, PET, drewno balsa, materiały do techniki worka próżniowego oraz infuzji, rowing, prepregi, żywice epoksydowe i środki rozdzielające oraz materiały narzędziowe i kleje.

Rozszerzenie oferty o nowe materiały jest wynikiem dwudziestoletniego doświadczenia i nieustannego badania rynku w zakresie potrzeb i kierunków rozwoju przez wysoko wykwalifikowanych specjalistów firmy Milar.

Ten nowy typ polipropylenowej (PP) przekładki o strukturze plastra miodu, zaproponowanej przez ThermHex okazał się doskonałym wyborem dla wytwórców warstwowych płyt kompozytowych. Ciągły i efektywny proces produkcji pozwala na obniżkę kosztów, a w efekcie stosowanie tej przekładki w aplikacjach, w których (z powodu kosztów) plastry miodu nie były stosowane wcześniej.

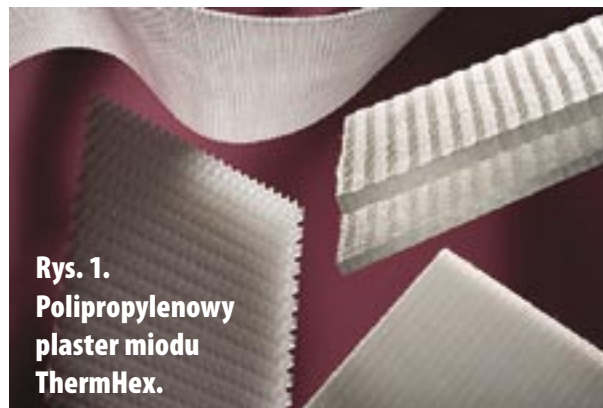
## Budowa i własności „sandwicha”

„Sandwiche” to szczególnego rodzaju laminaty, które przy zachowaniu możliwie jak najniższej wagi cechują się wysokimi własnościami wytrzymałościowymi i bardzo wysoką sztywnością. Obniżenie wagi laminatu osiąga się poprzez zastosowanie materiałów przekładkowych w postaci pianek lub „plastra miodu”. Tego typu konstrukcje warstwowe z prze-

kładką z tworzyw sztucznych są często wykorzystywane w przemyśle samochodowym, lotniczym i morskim oraz w budownictwie. Diagram pokazuje zalety stosowania „sandwichy”.

## Polipropylenowe plastry miodu ThermHex

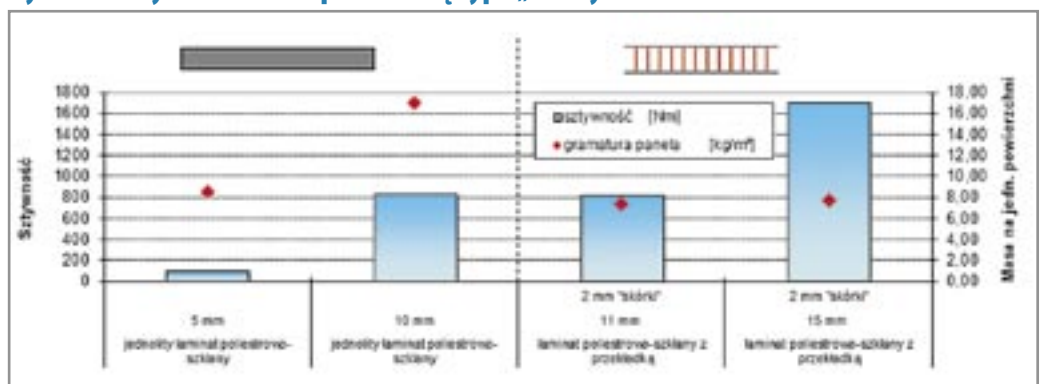
Ciekawe rozwiązanie w dziedzinie materiałów przekładkowych proponuje niemiecki producent ThermHex Waben GmbH. Wprowadził on na rynek polipropylenowe przekładki nowej generacji o strukturze „honeycomb”, wykonane są w autorskiej technologii ThermHex. Polipropylenowe plastry miodu stosuje się do produkcji m. in. zabudów dla wyposażenia saun, kabin łazienkowych, zabudów aut ciężarowych, basenów czy elementów konstrukcyjnych jachtów. Liczba możliwych zastosowań w związku



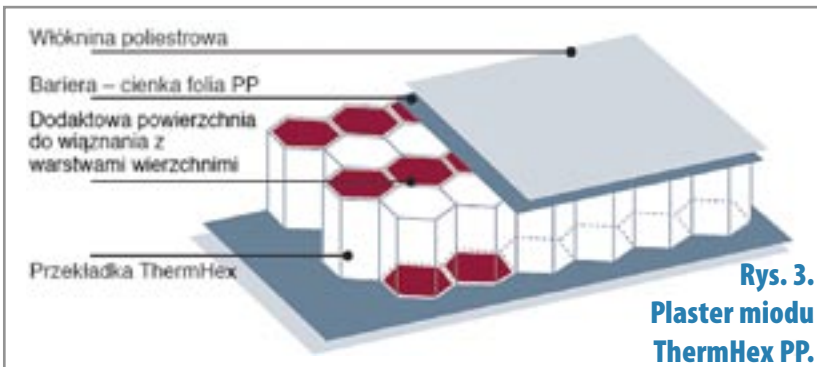
**Rys. 1.**  
**Polipropylenowy**  
**plaster miodu**  
**ThermHex.**

grubość przekładki	grubość „skórek”	grubość panela	E	sztywność	gęstość przekładki	gęstość „skórek”	gramatura wypełnienia	gramatura „skórek”	gramatura panela
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[Nm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
0	2,5	5	10000	104		1700		4,25	8,50
0	5	10	10000	833		1700		8,5	17,00
7	2	11	10000	823	80	1700	0,56	3,4	7,36
11	2	15	10000	1703	80	1700	0,88	3,4	7,68

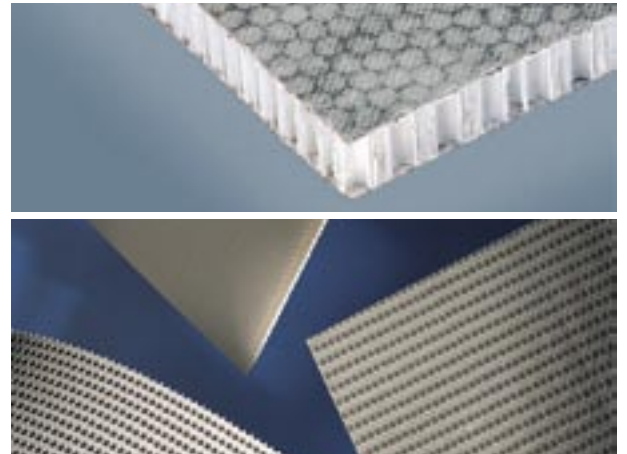
## Rys. 2. Zalety laminatów z przekładką typu „honeycomb”.







**Rys. 3.**  
**Plaster miodu ThermHex PP.**



**Rys. 4.**  
**„Honeycomby” oferowane przez firmę TermHex.**

### Wytyczne dotyczące stosowania i przetwarzania przekładki przy produkcji paneli lub części.

#### Cięcie

Do cięcia zaleca się użycie noży z ostrzami ze stali. Opcjonalnie można stosować gorące druty, specjalne noże z kołowymi ostrzami oraz piłowanie (po nim materiał powinien być wyczyszczony z odpadów). Należy jednak pamiętać, że przy temperaturze ok. 140°C jest możliwe topnienie i zmiana struktury przekładki.

#### Kształtowanie

Przekładka jest względnie sztywna, więc jeśli forma do wyrobu komponentu kompozytowego wymaga odkształcalności przekładki, może być ona dostarczona w wersji nacinanej, która umożliwia jej dopasowanie do kształtu formy i laminację w takiej postaci.

Wskazówki odnośnie stosowania przekładek o różnej gęstości:

- Przekładki o gęstości powyżej 80 kg/m<sup>3</sup> produkowane są jedynie na zamówienie. Mogą być stosowane w warunkach wymagających wyższych niż zwykle parametrów wytrzymałościowych.

Przekładki o mniejszej gęstości (60 kg/m<sup>3</sup>) są dobrym rozwiązaniem dla aplikacji z minimalnym narażeniem na zginanie i z mniejszą wytrzymałością na ściskanie.

**Więcej informacji znajdą Państwo na stronie [www.milar.pl](http://www.milar.pl).**

Autorzy tekstu:

Marzena Cwalina – Milar Sp. z o.o.

Tomasz Czarnecki – ThermHex Waben GmbH

Tetyana Osmirko – Milar Sp. z o.o.

z rozwojem technologii kompozytowych ciągle rośnie.

Tak szerokie spektrum zastosowania umożliwiają następujące parametry: gęstość przekładki 80 kg/m<sup>3</sup> oraz grubości dostępne już od 3 mm. Dzięki opatentowanej technologii, producent udostępnia jednolite przekładki w nieograniczonych długościach (standardowo arkusze dostępne są w wymiarach 2500 mm x 1200 mm).

Przekładki, dzięki odpowiednio przygotowanej powierzchni, można stosować w różnych procesach przy zastosowaniu różnorodnych typów materiałów, m.in.: laminowanie warstw na bazie żywic i włókna szklanego, laminowanie innych materiałów poprzez sklejanie klejami ciekłymi, laminowanie gotowych kompozytów na tworzywach sztucznych różnego typu.

Plastry miodu ThermHex oferowane są z warstwą dodatkową, którą stanowi włókna z cienką folią, co sprawia, że stosowane żywice i kleje nie przesączają się do wnętrza struktury, a to z kolei pozwala na pełną kontrolę procesu oraz na uzyskanie jednorodnych własności mechanicznych w przekroju gotowego produktu. Warstwa włókniwa na powierzchni przekładki zapewnia bardzo dobrą jakość wiązania międzykomponentowego laminatu.

Zalety stosowania przekładki polipropylenowej ThermHex wyróżniają ją wśród innych produktów konkurencyjnych:

- niska waga elementu przy wysokiej jakości powierzchni;
- wysoka sztywność materiału, dobre parametry wytrzymałościowe;
- ulepszone własności termoizolacyjne i dźwiękochłonne;
- łatwe i bezpieczne przetwarzanie;
- przy zachowaniu powyższych para-

metrów – niski koszt przekładki, co umożliwia jej zastosowanie w branżach, w których wcześniej nie była stosowana.

Przekładka w postaci plastra miodu zapewnia doskonale uzupełnienie dla materiałów stanowiących rdzeń „sandwichów”. Jej niskie koszty powodują że staje się coraz bardziej konkurencyjna względem innych materiałów przekładkowych.

W celu sprawdzenia konstrukcji na podstawie przekładki w praktyce dla wyprodukowania sztywnych i bezpiecznych laminatów, szczególną uwagę należy zwrócić na sposób wiązania (połączenia) przekładki ze „skórkami”, stanowiącymi powierzchnię laminatu. Warstwy muszą być ściśle połączone z przekładką, siła przyczepności powinna być potwierdzona badaniami w warunkach symulujących środowisko, w którym materiał będzie stosowany (dotyczy również warunków drastycznych zmian temperatur).

Przekładka ThermHex PP nie jest podatna na degradację w środowisku wilgotnym, jest odporna na działanie większości chemikaliów zawierających kwasy i zasady.



**Rys. 5.**  
**Przygotowania do laminowania z użyciem materiału ThermHex.**