

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE KOMPOZYTÓW PRZEKŁADKOWYCH Z RDZENIEM TYPU PLASTER MIODU ORAZ SPHERECORE

W artykule przedstawiono wyniki badań udarnościowych oraz statycznej próby zginania kompozytu przekładkowego z rdzeniem typu plaster miodu wytwarzanego przez firmę Nidaplast oraz z kompozytu z przekładką SpheroCore firmy Spheretex. Testy zginania wykazały, że kompozyt z przekładką SpheroCore posiada największy ze wszystkich badanych kompozytów moduł sprężystości przy zginaniu. Podczas próby zginania kompozyt z przekładką Nidaplast nie ulegał pęknięciu, lecz jedynie dużym odkształceniom postaciowym. Udarność obu kompozytów przekładkowych okazały się porównywalne.

WSTĘP

Plaster miodu oraz SpheroCore to dwa najczęściej stosowane rdzenie w kompozytach przekładkowych służących do budowy poszyci środków transportu. Z uwagi na swój niski ciężar właściwy elementy o strukturze plastra miodu najczęściej stosowane są w budowie kadłubów samolotów, a także w budowie naczep samochodowych. Przekładki typu SpheroCore z powodzeniem wyparty balsem, którą stosowano jako rdzeń kompozytów przekładkowych w budowie kadłubów jachtów morskich. SpheroCore jest materiałem, który doskonale łączy się z zewnętrznymi warstwami konstrukcyjnymi. Właściwie wykonany kompozyt przekładkowy z tego typu rdzeniem praktycznie nie nasiąka wodą nawet przy niewielkich uszkodzeniach. Bardzo ważną zaletą tego materiału jest również jego energochłonność, co znacznie zwiększa odporność poszycia na uderzenia.

1. ZASTOSOWANE MATERIAŁY

W artykule przedstawiono wyniki badań udarnościowych oraz statycznego zginania kompozytów przekładkowych, których warstwy konstrukcyjne miały strukturę laminatu poliestrowo – szklanego i zostały wykonane ręcznie. Struktura zbrojenia szklanego warstw konstrukcyjnych w obu rodzajach kompozytów przekładkowych była taka sama. Kompozyt przekładkowy z rdzeniem w formie plastra miodu został wykonany na bazie żywicy poliestrowej ortoftalowej A105. Zastosowana przekładka firmy Nidaplast miała grubość 5 mm. Przekładka SpheroCore miała grubość 10 mm i posłużyła do wykonania kompozytu na bazie żywicy izoftalowej K530. Analiza wyników badań udarnościowych i statycznego zginania laminatów poliestrowo-szklanych wykonanych na bazie dwóch wymienionych żywic została przedstawiona w pracy [7]. Istotne właściwości mechaniczne obu żywic oraz laminatów powstałych na ich bazie przedstawia Tab.1.

Tab. 1. Stałe materiałowe zastosowanych osnów i laminatów

Rodzaj żywicy	Moduł zginania [MPa]	Lepkość w temp. 23° C [mPa·s]
Ortoftalowa A105	4100	180
Izoftalowa K530	3700	320
Laminat poliestrowo-szklany		
osnowa A105	7774	x
osnowa K530	6452	x

Właściwości mechaniczne zastosowanych przekładek w oparciu o ich karty katalogowe [1, 2, 3] przedstawia Tab. 2.

Tab. 2. Właściwości mechaniczne przekładek

Nazwa przekładki	SpheroCore SBC	Plaster miodu Nidaplast
Materiał	Welon szklany z termoplastycznymi mikro-kuleczkami	Polipropylen
Grubość [mm]	10	5
Gęstość [g/m ²]	600	400
Moduł ściskania [MPa]	-	15
Moduł ścinania [MPa]	-	8
Wytrzymałość na ścinanie [MPa]	-	0,5

Badania przeprowadzono dla próbek wyciętych z paneli wytworzonych ręcznie. Wymiary badanych próbek zestawiono w Tab. 3.

Tab. 3. Wymiary próbek przekładkowych

Kompozyt przekładkowy	SpheroCore SBC	Plaster miodu Nidaplast
Grubość przekładki [mm]	10	5
Osnowa warstwy konstrukcyjnej	K530	A105
Grubość warstwy konstrukcyjnej	2 x 3,6 mm	2 x 3 mm
Szerokość średnia	27,8 mm	22,4 mm

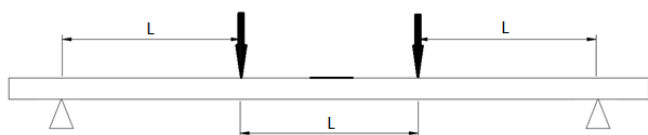
Do badań statycznego zginania wykorzystano pięć próbek z przekładką Nidaplast oraz cztery próbki z przekładką SpheroCore. Badania udarnośći przeprowadzono dla czterech próbek z każdego rodzaju. Parametry statystyczne wyników prób wytrzymałościowych, tj. wartość średnią oraz odchylenie standardowe wyznaczono z zależności (1), (2).

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

2. WYNIKI BADAŃ STATYCZNEGO ZGINANIA

Badania statycznego zginania zostały przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej ZD-40 z oprzyrządowaniem firmy HBM klasy 0,1%. Zastosowano metodę czteropunktowego zginania zgodnie z normą [4]. Odległość L widoczna na schemacie (Rys. 1) wynosiła 50 mm.



Rys. 1. Schemat obciążenia próbki podczas czteropunktowego zginania

Wartości modułów sprężystości dla zginania wyznaczono dla modelu belki Bernoulliego-Eulera [6] w którym moment gnący w przekroju o współrzędnej x jest proporcjonalny do drugiej pochodnej funkcji ugięcia belki w punkcie o tej samej współrzędnej (3). Wartości modułów sprężystości dla zginania wyznaczono w zakresie liniowej zależności siły od ugięcia.

$$E_f I_z \frac{d^2 y}{dx^2} = -M(x) \quad (3)$$

gdzie:

- E_f – moduł sprężystości dla zginania,
 - y – oś układu odniesienia jest skierowana w dół, zgodnie z kierunkiem ugięcia,
 - x – współrzędna wzdłuż długości belki,
 - $M(x)$ – moment gnący w przekroju belki o współrzędnej x ,
 - I_z – moment bezwładności przekroju względem osi obojętnej.
- Uwzględniając warunki czteropunktowego zginania, wartość modułu sprężystości dla zginania wyznaczono z zależności (4),

$$E_f = \frac{5L^3}{12I_z} \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad (4)$$

gdzie $\Delta P/\Delta y$ jest stosunkiem przyrostu siły nacisku do przyrostu przesunięcia górnych wałków obciążających.

Wszystkie przebadane kompozyty przekładkowe, tj. z przekładką korkową, Sphereskin, Sphercore oraz Nidaplast, podczas zginania ulegały dużym odkształceniom postaciowym, które wykraczały poza zakres założeń teorii Bernoulliego – Eulera. Podczas badań większość próbek ulegała zniszczeniu przez rozwarstwienie przekładki. Wyjątkiem był kompozytu z przekładką Nidaplast, który poza wyraźnym sinusoidalnym wygięciem w płaszczyźnie zginania nie ulegał pęknięciu (Rys. 2÷3).



Rys. 2. Wygięcie próbki z przekładką Nidaplast

Z powodu ugięcia belki poza zakres poprawności założeń teorii Bernoulliego-Eulera wyznaczanie naprężeń normalnych przy zginaniu, czy też maksymalnych naprężeń ścinających w przekładce może mieć wyłącznie cel porównawczy. Obliczone wartości naprężeń mogą być bowiem znacznie zawyżone.

Wartości modułów sprężystości dla zginania kompozytów przekładkowych, obliczone na podstawie wzoru (4), odnoszą się do początkowych, liniowych zakresów zależności ΔP od Δy i zestawione są w Tab. 4.



Rys. 3. Widok złomu próbki z przekładką Sphercore po próbie statycznego zginania

Ponieważ omawiane rodzaje kompozytów przekładkowych zostały wykonane na bazie różnych osnów, przy interpretacji wyników z Tab. 4 należy uwzględnić dane z Tab. 1 dla pełnych laminatów.

Tab. 4. Moduły zginania przetestowanych próbek

Rodzaj próbki	Żywica osnowy	Wartość średnia E_f [MPa]	Odchylenie Standardowe [MPa]
Kompozyt z przekładką Sphercore	Izofталowa K530	15255	1949
Kompozyt z przekładką Nidaplast	Ortoftalowa A105	1403	140

Powyższa tabela jednoznacznie wskazuje na kompozyt z przekładką Sphercore jako ten, który zapewnia większą sztywność nawet od pełnego laminatu (por. Tab. 1, 4). Duża wartość odchylenia standardowego wyników badań może być skutkiem zastosowanej metody wytworzenia próbek. Różny stopień przesączenia żywicą przekładki Sphercore ma znaczny wpływ na jej właściwości mechaniczne.

Dla porównania wykonano pomiary gęstości wszystkich badanych próbek. Wyniki przedstawia Tab. 5. Ponieważ gęstość badanych kompozytów przekładkowych jest mniejsza od gęstości wody, przy jej obliczaniu zastosowano wzór $\rho = m / V$, gdzie V jest objętością próbki wliczoną na podstawie jej wymiarów geometrycznych, stąd mniejsza dokładność tych pomiarów. W przypadku laminatów zastosowano metodę wypornościową pomiaru gęstości. Wartości odchylenia standardowego wskazują, że metoda ta okazała się bardziej dokładną.

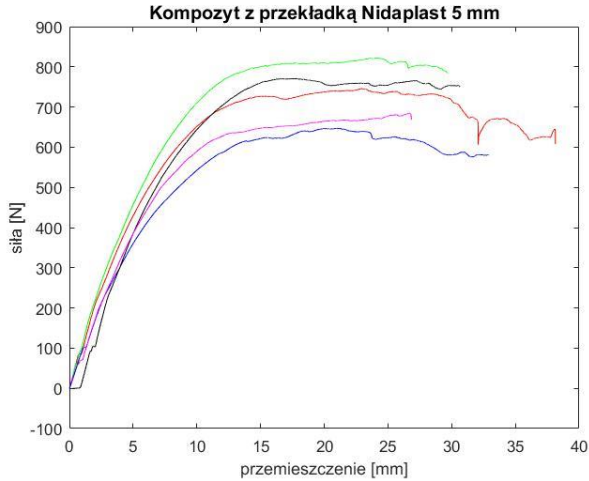
Tab. 5. Gęstości przebadanych próbek kompozytowych

Rodzaj próbki	Żywica osnowy	Wartość średnia [kg / m ³]	Odchylenie Standardowe [kg / m ³]
Kompozyt z przekładką Sphercore	Izofталowa K530	860	10
Kompozyt z przekładką Nidaplast	Ortoftalowa A105	920	40
Laminat	Izofталowa K530	1360	3
Laminat	Ortoftalowa A105	1410	3

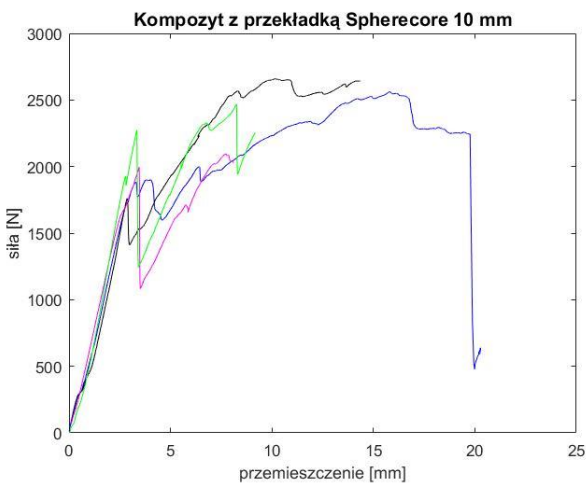
Dane ujęte w Tab. 5 wskazują na kolejny atut kompozytu z przekładką Sphercore: jest to najlżejszy kompozyt ze wszystkich badanych czterech rodzajów paneli. Powiązanie wyjątkowo małej gęstości z dużą, jak na materiał kompozytowy sztywnością przemawia za stosowaniem kompozytów z przekładką Sphercore do budowy poszyc środków transportu lotniczego, a doceniona już znikoma (praktycznie zerowa) chłonność wody, całkowicie usprawnia stosowanie tego typu przekładki w budowie kadłubów jachtów morskich.

Aby mieć pełny obraz własności omawianych kompozytów przekładkowych przy obciążeniu momentem zginającym należy przyjąć się ich wykresom zginania (Rys. 4÷5).

Na wykresie zginania kompozytu z przekładką Nidaplast można zauważyć, że po osiągnięciu pewnej maksymalnej siły P_{max} zwiększanie ugięcia próbki następuje bez wzrostu siły nacisku. Zatem, chociaż próbka nie uległa pęknięciu, można uznać takie zachowanie się materiału jako utratę zdolności nośnych. Trudno jednak określić wartość naprężeń niszczących w przekrojach próbki.



Rys. 4. Zależność siły ΔP od ugięcia Δy w miejscu przyłożenia siły P podczas czteropunktowego zginania próbek z przekładką Nidaplast na bazie żywicy ortoftalowej A105



Rys. 5. Zależność siły ΔP od ugięcia Δy w miejscu przyłożenia siły P podczas czteropunktowego zginania próbek z przekładką Sphercore na bazie żywicy izoftalowej K530

W przypadku kompozytów z przekładką Sphercore wartość siły niszczącej jest wyraźnie widoczna na wykresie zginania. Jednak wszystkie próbki tego typu ulegały pęknięciu w przekładce. Zatem obliczone dla zadanych warunków zginania maksymalne naprężenia normalne występujące w zewnętrznych włóknach próbek przekładkowych (5) mają jedynie wartość porównawczą z naprężeniami niszczącymi w pełnym laminacie (Tab. 6).

Tab. 6. Naprężenia maksymalne w próbkach zginanych

Rodzaj próbki	wartość średnia σ_{max} [MPa]	Odchylenie standardowe [MPa]
Kompozyt z przekładką Sphercore	97	3
Laminat	213	11

$$\sigma_{max} = \frac{3PL}{bh^2} [MPa] \quad (5)$$

Pomimo większej sztywności, próbki z przekładką Sphercore charakteryzują się wyraźnie mniejszą wytrzymałością na zginanie niż pełny laminat. Oczywiście żądane parametry wytrzymałościowe kompozytu przekładkowego można uzyskać zmieniając grubość jego warstw konstrukcyjnych.

3. WYNIKI BADAŃ UDARNOŚCIOWYCH

Ze względu na znaczne różnice w grubości próbek, do badań wykorzystano dwa młoty Charpy'ego: PSW-30 o maksymalnej energii łamania 300 J oraz PSW-5 o maksymalnej energii łamania 50 J. Udarność obliczono ze wzoru (6) zgodnie z normą [5]

$$a_{cU} = \frac{E_C}{b \cdot h} \quad (6)$$

gdzie:

a_{cU} – udarność [kJ/m²]

E_C – skorygowana energia zużyta na złamanie próbki

b – szerokość próbki

h – grubość próbki.

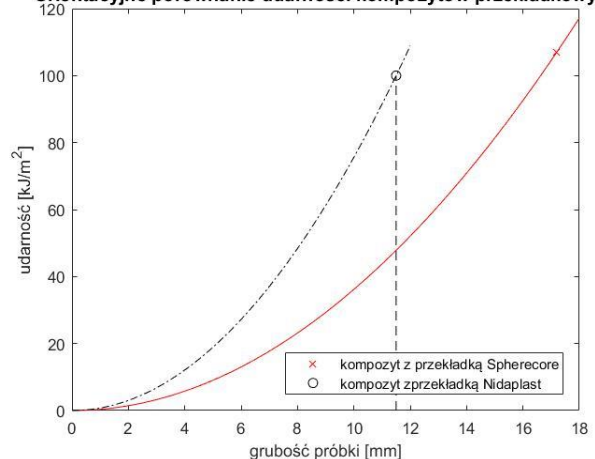
Poniższa tabela przedstawia wyniki tych obliczeń.

Tab. 5. Wyniki prób udarnościowych

Rodzaj próbki	Grubość średnia [mm]	Szerokość średnia [mm]	Udarność średnia [kJ/m ²]	Odchylenie standardowe [kJ/m ²]
Laminat z osnową A105	9,5	27	134,5	0,7
Laminat z osnową A105	13,7	30	358,3	53,8
Laminat z osnową K530	10	28,7	182,3	5,8
Laminat z osnową K530	14	29	374,4	12,9
Kompozyt z przekł. Sphercore	17,2	29	107	9,5
Kompozyt z przekł. Nidaplast	11,3	23,5	100	3,1

Z powyższych danych wynika, że udarność kompozytu przekładkowego Sphercore jest wyższa niż udarność kompozytu z przekładką Nidaplast. Laminaty na bazie osnowy K530 mają wyższą udarność niż laminaty na bazie żywicy A105. Konsekwentnie, warstwy konstrukcyjne kompozytu z przekładką Sphercore wykonane na osnowie K530 mają większą udarność niż warstwy konstrukcyjne drugiego kompozytu przekładkowego wykonane na osnowie A105. Należy jednak pamiętać, że grubości obu rodzajów próbek znacznie się różniły.

Orientacyjne porównanie udarności kompozytów przekładkowych



Rys. 6. Orientacyjne porównanie udarności kompozytów z przekładką Sphercore oraz Nidaplast

Z analizy wzoru (4) wynika, że energia odkształcenia sprężystego przypadająca na jednostkę powierzchni przekroju próbki zginanej powinna zależeć od kwadratu grubości próbki. Zatem udarność też powinna zależeć od kwadratu grubości próbki. Przykładowo, jeżeli kompozyt o grubości 17,2 mm z przekładką Sphercore ma udarność 107 kJ/m², to gdyby miał grubość 11,5 mm tj. taką jak kompozyt z przekładką Nidaplast, to jego udarność powinna wynieść 47 kJ/m², czyli dużo mniej niż kompozytu z przekładką Nidaplast (Rys. 6). Oczywiście energia niszczenia podczas próby udarności nie jest energią sprężystą i niekoniecznie musi zależeć od kwadratu grubości próbki. Sprawdzenie tej zależności powinno być przedmiotem badań.

Sposób pęknięcia obu rodzajów kompozytów przekładkowych przedstawiają Rys. 6÷7.



Rys. 6. Złom próbki z przekładką Sphercore po badaniu udarności



Rys. 7. Złom próbki z przekładką Nidaplast po badaniu udarności

Podczas próby udarności wszystkie przebadane próbki uległy zniszczeniu. Kompozyt z przekładką Nidaplast uległ przełamaniu w miejscu uderzenia młota, natomiast kompozyt z przekładką Sphercore uległ rozwarstwieniu wzdłuż przekładki. Zatem uwzględniając grubość próbek (Rys. 6) kompozyt z przekładką Nidaplast charakteryzuje się większą udarnością niż kompozyt z przekładką Sphercore.

PODSUMOWANIE

Wykonano próby statycznego zginania oraz udarności kompozytów z przekładką typu plaster miodu firmy Nidaplast oraz z przekładką Sphercore firmy Spheretex. Wyniki porównano z wynikami wykonanych wcześniej badań dla próbek wytworzonych z pełnego laminatu. Na tej podstawie można sformułować następujące wnioski:

1. podczas prób zginania próbki z przekładką Sphercore pękały w warstwie przekładki jako wynik działania naprężeń tnących,

2. moduł sprężystości dla zginania kompozytu z przekładką Sphercore miał największą wartość, większą niż pełny laminat,
3. największą wytrzymałość na zginanie wykazały próbki z pełnego laminatu,
4. kompozyt z przekładką Sphercore miał najmniejszą gęstość, co w porównaniu z wysoką sztywnością czyni go konkurencyjnym materiałem do budowy poszyci środków transportu,
5. pełny laminat wykazywał również największą udarność,
6. próbki z przekładką Sphercore, które miały większą grubość, wykazały również większą udarność niż próbki z przekładką Nidaplast,
7. po uwzględnieniu wpływu grubości próbki na udarność, lepsze właściwości absorpcyjne energii należy przypisać kompozytowi z przekładką Nidaplast.

BIBLIOGRAFIA

1. www.nidaplast-honeycomb.com
2. <http://www.csvkompozyty.pl/>
3. <http://www.spheretex.com>
4. PN-EN-ISO 14125
5. PN-EN-ISO 179-1:2002
6. Timoshenko, S: History of strength of materials, McGraw-Hill, New York 1953
7. Kukliński, M: Porównanie wybranych właściwości mechanicznych laminatu z kompozytem przekładkowym z korkowym rdzeniem, Autobusy – Eksploatacja i testy 12, 2017

Selected mechanical properties of sandwich composites with Sphercore and honeycomb core

Paper discussed the mechanical properties of two sandwich composites. Specimens were submitted to flexural and impact tests. Sandwich composite with Sphercore layer had the greatest value of flexural modulus even greater than laminate, but of course had minor flexural strength. The Sphercore sandwich composite during flexural tests fractured by stratification inside core layer due to tangent stress. Composites with honeycomb core during bending tests didn't fracture, only suffered large deformations.

Due to greater thickness the Sphercore specimens revealed greater energy absorbency, but taking into account the dependency of impact toughness on specimen's thickness, it is the honeycomb sandwich composite, that was more energy absorbent.

Autor:

dr inż. **Mariusz Kukliński** – Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy – Zakład Mechaniki Stosowanej, mariusz.kuklinski@utp.edu.pl.