



Temat specjalny

# Materiały kompozytowe – wynalazek na miarę XXI w.

tekst: **MARIAN KOWACKI**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



Trend wzrostowy w europejskiej sprzedaży kompozytów to przede wszystkim efekt działalności największych odbiorców materiałów kompozytowych, gdzie prym wiedzie branża budowlana. W Polsce nasila się tendencja do korzystania z coraz bardziej nowoczesnych materiałów i rozwiązań. Wraz z docenianiem zalet kompozytów rośnie także obszar ich zastosowania.

fot. rawpixel

## Zawiłości terminologiczne

W literaturze przedmiotu trudno znaleźć jednoznaczną definicję kompozytu czy też materiału kompozytowego. Poniekąd wynika to z faktu, że terminologia dotycząca tworzyw kompozytowych pochodzi z różnych obszarów nauki i techniki, jak polimery, metaloznawstwo, ceramika, inżynieria materiałowa itd. [1].

Według jednej z obowiązujących w literaturze definicji, kompozyt to materiał złożony z co najmniej dwóch komponentów (faz) o różnych właściwościach w taki sposób, że ma właściwości inne – zwykle lepsze – w stosunku do komponentów użytych osobno lub niż wynikałyby to z ich zsumowania [2]. Definicję tę często uzupełnia się o zapis dotyczący charakteru połączenia elementów kompozytu, które powinno zachodzić na poziomie makroskopowym. Tym samym z grupy materiałów kompozytowych wyłącza się m.in. stopy metali, tworzące w skali mikroskopowej kompozycję wielu składników, a na poziomie makroskopowym zachowujące się jak typowe materiały jednorodne [3].

Inną powszechnie stosowaną definicją, zwłaszcza w literaturze anglojęzycznej, jest zaproponowana przez Lawrence'a J. Broutmana i Richarda H. Krocka w 1967 r., według której kompozyt to materiał charakteryzujący się czterema cechami [1]:

- jest wytworzony przez człowieka,
- składa się z co najmniej dwóch różnych (pod względem chemicznym) materiałów z wyraźnie zaznaczonymi granicami rozdziału między komponentami,
- komponenty kompozytu tworzą go przez udział w całej jego objętości,
- ma właściwości różne od jego poszczególnych komponentów.

## Podział kompozytów

Pierwsza z przytoczonych definicji skupia się na zasadniczym celu wytwarzania materiałów kompozytowych, druga zaś wyklucza kompozyty naturalne (np. drewno), materiały platerowane i warstwowe. Pomimo pewnych niespójności w nazewnictwie można jednak dokonać podziału kompozytów na podstawie wybranych kryteriów. Materiały kompozytowe w swojej budowie składają się z fazy ciągłej zwanej osnową (matrycą) oraz rozproszonej, zwanej również zbrojeniem. W zależności od rodzaju fazy rozproszonej kompozyty można podzielić na:

- zbrojone cząstkami,
- zbrojone dyspersyjnie,
- zbrojone włóknami.

Kompozyty zbrojone cząstkami to materiały, w których zarówno osnowa, jak i faza rozproszona (w postaci cząsteczek) biorą udział w przenoszeniu obciążeń zewnętrznych. Cząstki cechuje znacznie większa sztywność i twardość od osnowy, przez co wzmocnienie kompozytu przez cząstki sprowadza się do ograniczenia przez nie odkształceń osnowy w obszarze położonym w pobliżu powierzchni każdej cząstki. Najbardziej znanym tego typu kompozytem jest beton, gdzie cement jest traktowany jako faza ciągła, zaś kruszywo stanowi fazę rozproszoną.

Kompozyty zbrojone dyspersyjnie składają się z metalowej osnowy wzmocnionej drobnymi cząstkami (ceramicznymi lub metalicznymi) w ilości do ok. 15% objętości kompozytu, w efekcie czego rozproszone cząstki utrudniają ruch dyslokacji

w osnowie. W takim kompozycie osnowa przenosi większą część obciążeń zewnętrznych, co oznacza, że zbrojenie dyspersyjne nie ma w umiarkowanych temperaturach znaczącego wpływu na poprawę cech mechanicznych i wytrzymałościowych kompozytu. Natomiast w przypadku zmiany temperatury, sięgającej nawet 80% temperatury topnienia, zauważalny jest wyraźny wzrost wzmocnienia.

Kompozyty zbrojone włóknami (FRP – *fiber-reinforced polymers / plastic*) uznawane są za najlepsze spośród dostępnych kompozytów z uwagi na ich doskonałe właściwości mechaniczne i wytrzymałościowe przy jednoczesnym zachowaniu najmniejszego ciężaru właściwego. W tego typu kompozytach fazą wzmacniającą są różnego rodzaju włókna, stanowiące element nośny. Osnowa służy jako spoiwo łączące włókna, biorąc jedynie niewielki udział w przenoszeniu obciążeń zewnętrznych. Jej zadaniem jest rozdział obciążenia zewnętrznego pomiędzy włókna i ich ochrona przed czynnikami zewnętrznymi. Osnowę w tego typu kompozytach najczęściej stanowią żywice termoplastyczne i termoutwardzalne. Zbrojenie może być wykonane z włókien węglowych, grafitowych, szklanych, boronowych czy aramidowych [4].

## Coraz szerszy wachlarz zastosowań

Materiały kompozytowe bez wątpienia mogą się spodziewać rosnącego zainteresowania ze strony przemysłu budowlano-konstrukcyjnego. W Polsce produkty do wzmacniania i zbrojenia betonu, choć początkowo spotkały się ze sceptycyzmem,

# Fibrolux

Fibrolux GmbH, Hessenstr. 18, 65719 Hofheim / Frankfurt nad Menem, Tel: 0049 6122 9100 403, Mobil: 0049 177 8116640



[www.fibrolux.com](http://www.fibrolux.com)

## BALUSTRADY, SCHODY ORAZ PRZEJŚCIA Z TWS

Produkty z TWS (Tworzywa Wzmocnione Szklę) nie przewodzą prądu i są doskonałymi izolatorami elektrycznymi. Świetnie sprawdzają się w transporcie szynowym, jako przejścia techniczne oraz podesty obsługowe pomiędzy torami kolejowymi. W przeciwieństwie do elementów ze stali, które często powodują zwarcia linii elektrycznej, materiały z TWS, dzięki swoim cechom eliminują występowanie zwarcia. Warto dodać, że produkty z TWS są bardzo lekkie, a zarazem wyjątkowo wytrzymałe. Ich dużym atutem jest łatwość montażu oraz odporność na działanie warunków atmosferycznych.

*W jakich obszarach budownictwa i w jakich warunkach klimatycznych najlepiej sprawdzają się pręty kompozytowe GFRP?*



**prof. dr hab. inż. TOMASZ SIWOWSKI,**  
kierownik Zakładu Dróg i Mostów,  
Politechnika Rzeszowska

Ze względu na swoje doskonałe własności mechaniczne i trwałościowe pręty kompozytowe GFRP (ang. *glass fibre reinforced polymer*) stają się ostatnio

obiecującą alternatywą dla tradycyjnego zbrojenia stalowego. W porównaniu do konwencjonalnych prętów stalowych można wymienić wiele zalet zbrojenia kompozytowego: większa wytrzymałość, mniejsza masa, neutralność elektromagnetyczna oraz przede wszystkim zdecydowanie wyższa odporność na korozję. Wymienione cechy prętów kompozytowych zapewniają wysoką trwałość betonowych elementów konstrukcyjnych oraz redukcję kosztów ich utrzymania. Zainteresowanie prętami kompozytowymi w budownictwie wiąże się głównie z ich trwałością w środowisku agresywnym, gdzie stal zbrojeniowa jest szczególnie narażona na działanie korozji. W związku z tym ich zastosowanie jest zalecane zwłaszcza w obiektach infrastruktury transportu: płytach pomostu obiektów mostowych, betonowych barierach ochronnych, ekranach akustycznych, betonowych elementach chodnikowych itp., gdzie niekorzystny wpływ soli w środkach odładzających jezdnie drogowe jest szczególnie widoczny. Ponadto kompozytowe pręty zbrojeniowe są odporne na działanie kwasów oraz innych czynników agresywnych, co czyni je bardzo przydatnymi w niektórych obiektach przemysłowych. Prace badawcze nad stałym ulepszaniem technologii zwiększania trwałości infrastruktury transportu przez zastosowanie zbrojenia kompozytowego mają miejsce głównie w krajach i regionach, w których klimat (np. liczne przejścia temperatury przez 0 °C) w połączeniu z tradycyjnymi metodami zwalczania śliskości jezdni prowadzą do przyspieszonej degradacji obiektów (m.in. w Kanadzie, USA oraz Japonii). Polskę bez wątpienia można również zaliczyć do tych obszarów, dlatego też wydaje się racjonalne jak najszerze wdrożenie zbrojenia prętami GFRP także do naszego budownictwa komunikacyjnego.

dziś, po kilkudziesięciu latach doświadczeń, prac naukowych i zastosowań w praktyce, okazały się materiałem godnym zaufania. Znane są m.in. doświadczenia związane z poprawieniem trwałości konstrukcji dzięki wykorzystaniu włókien przewodzących przy ochronie katodowej, które dodatkowo dają także szansę na monitorowanie odkształceń konstrukcji [5].

Materiały kompozytowe znalazły zastosowanie również w transporcie rurociągowym. O ile pierwotnie mianem rury z materiału kompozytowego określano rurę z materiału będącego kompozycją żywicy i wzmocnienia w postaci włókien

szklanych, o tyle obecnie do rur kompozytowych zalicza się również rury stalowe z zewnętrzną powłoką wzmacniającą z materiału kompozytowego, rury stalowe z wewnętrzną wykładziną kompozytową czy rury polietylenowe z materiałem wzmacniającym w osnowie [6].

Dzięki odporności antykorozyjnej materiały kompozytowe znajdują zastosowanie przy wykonywaniu zabezpieczeń stateczności nasypów drogowych jako gwoździe i kotwy gruntowe. Z kolei w konstrukcjach geotechnicznych o okresie użytkowania krótszym niż dwa, trzy lata tymczasowe użycie kompozytowych kotew i gwoździ gruntowych jest możliwe dzięki łatwości ich późniejszego usuwania [7].

W 2016 r. w miejscowości Błazowa w powiecie rzeszowskim otwarto pierwszy polski most drogowy z kompozytów polimerowych wzmacnianych włóknami szklanymi i węglowymi. Na świecie istnieje zaledwie kilka obiektów inżynierskich o podobnej konstrukcji. Co więcej, most w Błazowej jest rekordową konstrukcją pod względem rozpiętości teoretycznej przęsła kompozytowego – wynosi ona 21,0 m. Płytę pomostową wykonano z betonu lekkiego zbrojonego prętami FRP, co również jest unikatowym rozwiązaniem.

Polskim wynalazkiem, bazującym na polimerowych kompozytach wzmacnianych włóknami szklanymi lub bazaltowymi, jest innowacyjna siatka kompozytowa. W porównaniu ze zgrzewanymi siatkami stalowymi, stosowanymi obecnie w budownictwie, rozwiązanie z użyciem kompozytów jest lżejsze, bardziej elastyczne i wytrzymałe, cechuje je także wyższa odporność na korozję oraz na działanie chemicznych substancji kwasowych i alkalicznych. Siatka kompozytowa jest też antymagnetyczna. Może z powodzeniem znaleźć zastosowanie również w specjalistycznych pracach inżynierskich oraz w przemyśle wydobywczym, np. do zabezpieczania podziemnych wyrobisk.

Kompozyty już od kilkudziesięciu lat docenia się w produkcji prętów zbrojeniowych dla przemysłu budowlanego. Lista zalet takich prętów jest długa. Dzięki temu, że są wytwarzane w 70% z włókien szklanych, węglowych, aramidowych lub bazaltowych łączonych żywicą polimerową, są pięcio- lub sześciokrotnie lżejsze od prętów stalowych. To nie tylko ułatwia transport, ale także sam montaż zbrojeń na placu budowy. Ponadto pręty kompozytowe są dwa i pół razy bardziej wytrzymałe niż stalowe, co oznacza, że można je wykorzystywać w mniejszych średnicach. Często pozwala to także na stosowanie cieńszych warstw betonu.

Obecnie coraz częściej kompozyty są wykorzystywane do budowy domów oraz budynków przemysłowych, które powstają z ekologicznych i wytrzymałych płyt kompozytowych. Coraz większy rynek zdobywają też nowoczesne słupy z kompozytów polimerowych, które dzięki nieprzewodzeniu prądu stanowią idealne rozwiązanie dla branży energetycznej, drogowej, kolejowej [8].

Materiały kompozytowe FRP, otrzymywane przez połączenie niemetalicznych włókien ciągłych żywicą, są stosowane od początku lat 90. XX w. do wzmacniania konstrukcji, najczęściej żelbetowych i sprężonych, ale także murowych i drewnianych. Tego typu kompozyty wykonywane są w postaci taśm, mat, prętów i cięgien sprężających oraz specjalnych kształtek. Taśmy i maty z tworzyw sztucznych zbrojonych włóknami coraz częściej są używane do wzmocnienia elementów konstrukcyjnych zamiast stalowych kształtowników przykręcanych lub przyklejanych do konstrukcji [9].

## Światowe trendy

Zainteresowanie materiałami kompozytowymi sprawia, że rynek tych produktów stale się rozwija. Od nanokompozytów, zwłaszcza tych przeznaczonych do produkcji niektórych elementów ścian kurtynowych, czyli elewacji budynków nieposiadających funkcji konstrukcyjnej, oczekuje się, że z czasem pozwolą zastępować w tym zakresie aluminium i stal. Atutami nanokompozytów są elastyczność projektowa, redukcja ciężaru i odporność na korozję, bardzo dobre własności mechaniczne oraz duża ogniotrwałość.

Wiele nowych rozwiązań z udziałem kompozytów rodzi się w Ameryce. Na uwagę zasługuje m.in. dwupiętrowy budynek California Bay House, którego monokokowa struktura składa się z dziewięciu wzmacnianych włóknami kompozytowych prefabrykatów (paneli) wykonanych w technologii *sandwich*. W innym innowacyjnym amerykańskim projekcie zamontowano kompozytową, kamieniopodobną okładzinę fasady biurowca.

Jedna z tamtejszych firm opracowała własne materiały i procesy produkcyjne, panele FCP (*fiber composite panels*), umożliwiające postawienie trwałego i energooszczędnego domu w czasie od jednego do trzech dni bez użycia betonu, drewna czy stali. Także w Ameryce dostępne są słupy szkieletowe z żywicy poliestrowej wzmacnianej włóknem szklanym, które, według producenta, są mocniejsze niż stal i lżejsze od drewna. Z kolei kanadyjska firma produkuje kompozytowe panele, wykorzystując polipropylen wzmacniany włóknem szklanym, z których można konstruować ściany i dachy o dużej wytrzymałości na trzęsienia ziemi i huragany [10].

Biorąc pod uwagę możliwości i potencjał materiałów kompozytowych, ich zastosowanie będzie w przyszłości obejmować coraz szersze obszary budownictwa i zataczać coraz szersze kręgi geograficzne.

## Literatura

[1] Braszczyńska-Malik K.N., Pędzich Z., Pietrzak K., Rośląnec Z., Sterzyński T., Szweyca M.: *Problemy terminologii*



Pierwszy polski most drogowy z kompozytów polimerowych wzmacnianych włóknami szklanymi i węglowymi, fot. Mostostal Warszawa SA

w kompozytach i wyrobach kompozytowych. „Kompozyty” 2005, t. 1, s. 19–24.

- [2] Boczkowska A., Kapuściński J., Lindemann Z., Witemberg-Petryk D., Wojciechowski S.: *Kompozyty*. Wyd. 2 zm. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.
- [3] German J.: *Podstawy mechaniki kompozytów włóknistych*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2001.
- [4] German J.: *Materiały kompozytowe w budownictwie*. Cz. 1. „Kalejdoskop Budowlany” 2000, nr 6, s. 14–17.
- [5] Górski M., Kotala B., Białożor R.: *Rodzaje i właściwości zbrojenia niemetalicznego*. XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 6–9 maja 2018.
- [6] Klupa A.: *Rury z materiałów kompozytowych do przesyłania paliw gazowych*. „Nafta-Gaz” 2010, nr 9, s. 805–809.
- [7] Balconi G., Badawika G.: *Materiały kompozytowe w geotechnice*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2009, nr 2, s. 88–91.
- [8] *Rozwój przemysłu kompozytowego w Polsce i Europie Centralnej*. „Composites Review” 2017, nr 2, s. 4–9.
- [9] Derkowski W., Zych T.: *Nowoczesne materiały kompozytowe do wzmacniania konstrukcji budowlanych*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo” 2004, R. 101, z. 14-B, s. 15–25.
- [10] *Architekci polubili kompozyty*. „Composites Review” 2018, nr 2–3, s. 14–19.



## Dystrybutor w Polsce:



Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością  
Your partner in business Spółka Komandytowa  
63-020 Zaniemyśl, ul. Średzka 30  
www.albakompozit.pl

**Biurowisko, Marketing, Sprzedaż:**  
tel.: +48 601 401 436  
email: j.albakompozit@gmail.com

**Logistyka i Sprzedaż:**  
tel.: +48 538 811 180  
email: szymon@fmcg-trade.pl

