



Temat specjalny

Kompozyty w budownictwie

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

Amiblu[®]

ComRebars[®]
composite technology in construction

meyer-POLYCRETE

POLIMEROBETON.PL

DORR

Kompozyty powstały w odpowiedzi na nasilające się zapotrzebowanie na materiały doskonalsze od dotychczas stosowanych, a jednocześnie takie, których właściwości można swobodnie kształtować. Umiejętność wytwarzania materiałów kompozytowych to jedno z najbardziej spektakularnych osiągnięć inżynierii materiałowej – przyczyniły się one do intensywnego rozwoju przemysłu oraz pojawienia się innowacji w wielu dziedzinach, nie tylko w budownictwie.



Pod słowem kompozyt kryje się materiał, który powstaje z połączenia przynajmniej dwóch komponentów, dzięki czemu uzyskuje się lepsze lub (oraz) nowe cechy w stosunku do materiałów składowych. Funkcjonuje wiele definicji kompozytów i materiałów kompozytowych. Ta zaproponowana w 1967 r. przez Krocka i Broutmana wyróżnia cztery istotne warunki, które muszą być spełnione, aby uznać dany materiał za kompozyt. Ma to być materiał wytworzony przez człowieka, w jego skład wchodzi przynajmniej dwa różniące się chemicznie oraz fizycznie materiały, a komponenty wyraźnie rozdziela od siebie granica rozdziału. Składniki są przy tym rozmieszczone w całej objętości materiału, a właściwości kompozytu różnią się od właściwości jego komponentów [1].

Składniki kompozytów

Materiał kompozytowy składa się z osnowy i wzmocnienia. Osnowa jest łącznikiem wzmocnienia – jej zadaniem jest przekierowywanie obciążenia o charakterze zewnętrznym na wzmocnienie, które z kolei przenosi obciążenia. Osnowa decyduje o właściwościach cieplnych, ogniowych i chemicznych kompozytów. Nadaje kształt wyrobom i ma istotny wpływ na metody ich wytwarzania. Przyjmując za podstawę klasyfikacji materiał osnowy, wyróżnia się kompozyty metalowe, polimerowe i ceramiczne. W tabeli 1 pokazano schemat możliwych kombinacji materiałów kompozytowych.

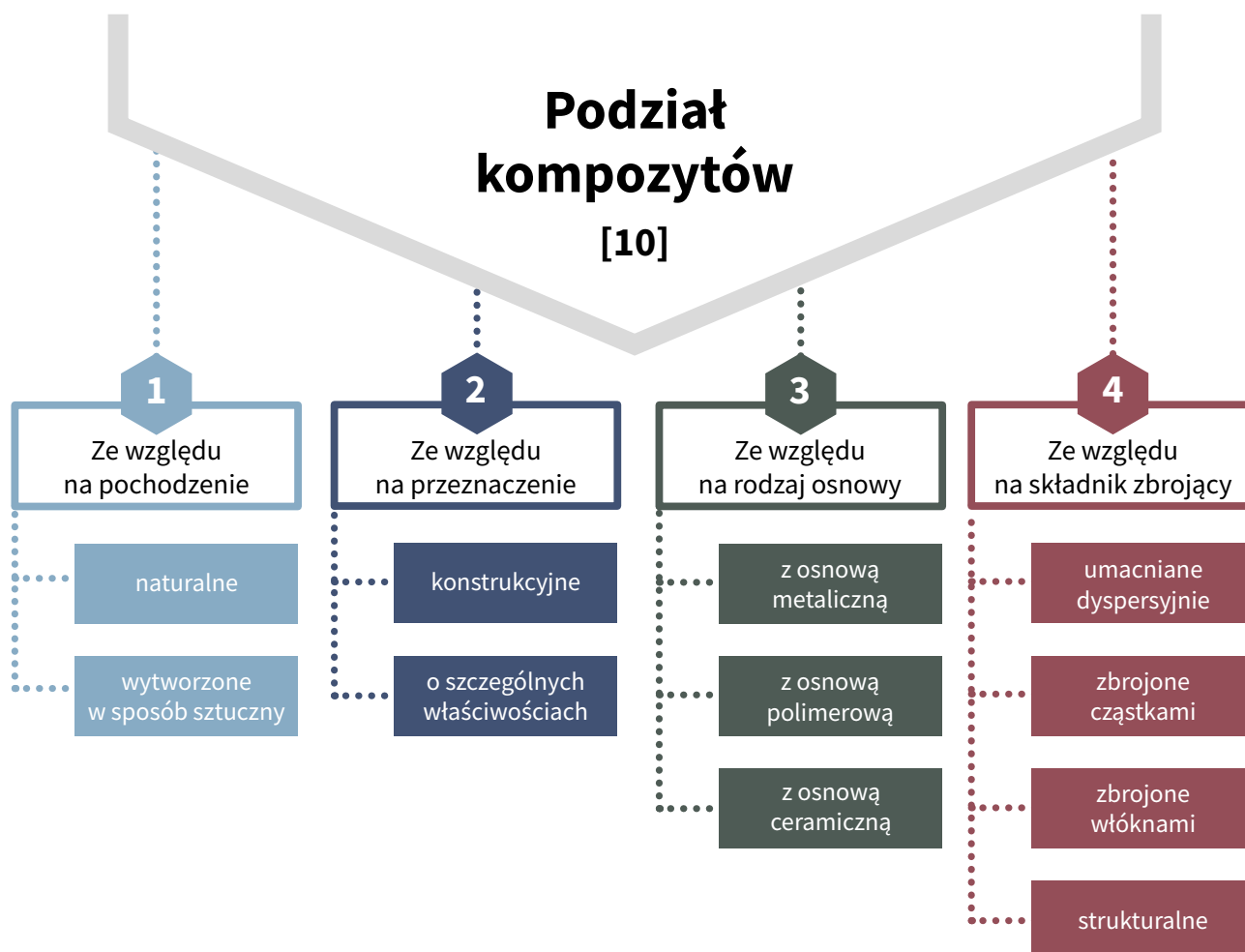
Jeśli jeden z dwóch komponentów kompozytu ma rozmiar mniejszy niż 1000 nm, określa się go mianem nanokompozytu. W nanoskali właściwości materiałów ujawniają się in-

Tab. 1. Schemat możliwych kombinacji materiałów kompozytowych [2]

| Wzmocnienie | metal | polimer | ceramika |
|-------------|-------|---------|----------|
| Osnowa | | | |
| metal | m-m | m-p | m-c |
| polimer | p-m | p-p | p-c |
| ceramika | c-m | c-p | c-c |

czej niż w makroskali. Największe znaczenie praktyczne mają nanokompozyty w osnowie polimerowej, stosowane głównie w przemyśle opakowań, motoryzacyjnym i medycznym.

Wzmocnieniem kompozytów mogą być włókna lub cząsteczki, a ich głównym celem jest nadanie kompozytom wysokich właściwości wytrzymałościowych i dużej sztywności. Włókna dzieli się na dwie grupy – naturalne oraz sztuczne i syntetyczne. Najczęściej stosowanymi są włókna szklane, węglowe, poliamidowe, polietylenowe i krzemowe. Z uwagi na właściwości biodegradowalne coraz częściej alternatywą dla włókien sztucznych są włókna naturalne, które rozkładają się pod wpływem mikroorganizmów i enzymów. O wyborze danego rodzaju włókna do wzmocnienia osnowy decyduje jego wytrzymałość, ale także odporność chemiczna i termiczna [1]. Właściwości wybranych włókien stosowanych jako wzmocnienie materiałów kompozytowych pokazano w tabeli 2.



Tab. 2. Właściwości różnych włókien stosowanych jako wzmocnienie materiałów kompozytowych [5]

| Rodzaj włókna | Typ | Gęstość | Moduł Younga [GPa] | Wytrzymałość [MPa] | Odkształcenie niszczące [%] | Uwagi |
|---------------------|----------|---------|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Szkłane | E | 2,57 | 72,5 | 3300–3500 | 2,5–4,5 | Najpowszechniejsze |
| | E-CR | 2,71 | 72,5 | 3330 | 2,5–4,5 | Chemoodporne |
| | C | 2,46 | 74 | 2350 | 2,5–3,2 | |
| | S | 2,47 | 88 | 4600 | 3,0–5,2 | O zwiększonej wytrzymałości |
| | R | 2,55 | 86 | 4400 | 3,0–5,1 | |
| | AR | 2,70 | 70–75 | 3500 | 2,5–3,5 | Odporne na zasady |
| Węglowe i grafitowe | T300 | 1,76 | 1,76 | 3530 | 1,5 | Włókna węglowe, wysokowytrzymałe |
| | T400H | 1,8 | 250 | 4410 | 1,8 | |
| | T700S | 1,8 | 230 | 4900 | 2,1 | |
| | T800H | 1,81 | 294 | 5490 | 1,9 | Włókna o module pośrednim |
| | T1000G | 1,8 | 294 | 6370 | 2,2 | |
| | M40J | 1,77 | 377 | 4410 | 1,2 | Włókna wysokomodułowe |
| | M60J | 1,94 | 588 | 3920 | 0,7 | |
| Aramidowe | Kevlar29 | 1,44 | 58 | 3620 | 3,7 | – |
| | Kevlar49 | 1,44 | 124 | 3620 | 2,9 | – |

Właściwości kompozytów

Kompozyty o osnowie metalicznej wzmocnione cząstkami są użyteczne dla lekkich elementów konstrukcyjnych. Mają wysoką wytrzymałość, sztywność oraz odporność na zużycie. Wzmocnienie metalowych matryc cząstkami ceramicznymi poprawia moduł sprężystości, odporność na ścieranie i pękanie. Właściwości kompozytów o osnowie metalicznej zbrojonych cząstkami będą w dużej mierze zależę od wielkości i rodzaju cząstek, a także od ich udziału objętościowego. W wyniku zmniejszenia wielkości cząstek następuje wzrost takich właściwości, jak wytrzymałość, granica plastyczności, moduł Younga, odporność na pękanie i odporność na zmęczenie. Jednocześnie maleje plastyczność i ciągliwość [3].

Dzięki zastosowaniu w kompozytach polimerów jako osnowy zyskały one lekkość, odporność na korozję, zdolność tłumienia drgań, izolacyjność elektryczną i cieplną oraz łatwość kształtowania. W budownictwie kompozyty polimerowe stały się popularne ze względu na małą masę i dużą wytrzymałość elementów konstrukcyjnych, ale także z uwagi na łatwość montażu, eksploatacji, odporność na korozję i możliwość pokrycia ich powierzchni specjalnymi farbami antygraffiti [1].

W porównaniu z właściwościami metali i polimerów ceramika znacznie się od nich różni. Z jednej strony charakteryzuje ją m.in. mała gęstość, duża wytrzymałość na ściskanie i odporność na działanie wysokich temperatur oraz środowiska, z drugiej strony mała wytrzymałość na rozciąganie i pękanie. Najczęściej jako osnowę stosuje się ceramikę techniczną, szkło i tworzywa szklano-ceramiczne oraz węgiel.

Obszary zastosowań

W budownictwie kompozyty stosuje się od ok. 30 lat. Są używane m.in. do produkcji profili konstrukcyjnych, struktur przekładkowych, konstrukcji sklepień hal wystawowych i pawilonów, elementów nośnych kładek dla pieszych, elementów

wzmacniających konstrukcje stalowe i betonowe, prętów zbrojeniowych i w inżynierii bezwykopowej (np. rękawy termoutwardzalne do renowacji rurociągów). Kompozyty z powodzeniem wykorzystuje się do konstruowania elementów cienkościennych, jak rury, zbiorniki na wodę i ścieki o różnym charakterze, studzienki kanalizacyjne itp. Za ich stosowaniem przemawiają liczne zalety, np. bezproblemowe dostosowanie funkcji, wymiarów, kolorystyki, a zwłaszcza własności wytrzymałościowych i odpornościowych do indywidualnych potrzeb klienta (np. na działanie mediów chemicznie agresywnych). Docenia się także niski ciężar konstrukcji kompozytowych. W zastępstwie prętów stalowych w zbrojeniu betonu wykorzystuje się pręty kompozytowe, złożone z ultracienkich włókien bazaltowych, szklanych lub węglowych i matrycy żywicznej lub epoksydowej. Są nawet cztery razy lżejsze od identycznych prętów stalowych, a przy tym nie ulegają korozji. Dodatkowo cechują się bardzo wysoką odpornością na rozciąganie i ściskanie – nawet do trzech razy większą od stali, zaś okres ich eksploatacji wynosi ponad 100 lat z zachowaniem pierwotnych parametrów. Ten aspekt jest szczególnie ważny w sytuacjach, w których pręty są narażone na przyspieszoną korozję (np. tunele, porty i mosty) [6]. Unikatowa w skali światowej technologia zbrojenia ciągłego kompozytami została zastosowana na odcinku H autostrady A1 Pyrzowice – Częstochowa. Użyto tam prętów kompozytowych z włókna szklanego połączonego z polimerami. Pręty kompozytowe znalazły także zastosowanie przy budowie kolejowego tunelu średnicowego w Łodzi.

Dzięki odporności antykorozyjnej materiały kompozytowe wykorzystuje się do wykonywania zabezpieczeń stateczności nasypów drogowych, w specjalistycznych pracach inżynierskich oraz w przemyśle wydobywczym, np. do zabezpieczania podziemnych wyrobisk. Ekologiczne i wytrzymałe płyty kompozytowe znajdują zastosowanie w budowie domów i budynków przemysłowych. Nowoczesne słupy z kompozytów polimero-

Zalety materiałów kompozytowych [11]



wych, nieprzewodzące prądu, stanowią idealne rozwiązanie dla branży energetycznej, drogowej, kolejowej.

Od początku lat 90. XX w. do wzmacniania konstrukcji, najczęściej żelbetowych i sprężonych, ale także murowych i drewnianych, stosuje się materiały kompozytowe FRP. Wyroby w postaci taśm, mat, prętów i cięgien sprężających oraz specjalnych kształtek są używane do wzmocnienia elementów konstrukcyjnych zamiast stalowych kształtowników [7–9].

Coraz szersze zastosowanie kompozyty polimerowe znajdują także w mostownictwie. Do końca 2016 r. w USA i Kanadzie zbudowano 480 obiektów mostowych z kompozytowymi elementami nośnymi, w tym m.in. 388 obiektów z pomostami z elementów kompozytowych, 63 obiekty z dźwigarami głównymi z kompozytów FRP, 17 obiektów z dźwigarami łukowymi typu CFCT oraz dziewięć obiektów z dźwigarami hybrydowymi typu kompozyt FRP – drewno klejone. W Polsce szersze zainteresowanie nowym materiałem do budowy i utrzymania mostów rozpoczęło się wraz ze wzmocnieniem taśmami kompozytowymi CFRP pierwszego mostu drogowego przez Wiar w Przemysłu w 1997 r. Kompozyty FRP jako alternatywa dla konwencjonalnych materiałów budowlanych oferują budownic-

twu mostowemu przede wszystkim dużą wytrzymałość, wysoką trwałość, lekkość oraz związaną z tym łatwość i szybkość montażu dużych elementów. W Polsce pierwszy pełnogabarytowy obiekt mostowy wykonany z kompozytów FRP to przeprawa w Błazowej, oddana do użytku w lutym 2016 r. Jeszcze tego samego roku jesienią kolejna przeprawa kompozytowa połączyła brzegi potoku Rujak w Nowej Wsi. To pierwsze realizacje, w których kompozyt został wykorzystany jako główny materiał konstrukcyjny [4].

Z kompozytów polimerowych wykonuje się także np. dachówki czy balustrady balkonowe. Wykorzystuje się je do produkcji rur i zbiorników oraz instalacji do eksploatacji ropy i gazu. Kompozyty ceramiczne to np. materiały budowlane, jak cement i gips.

Podsumowanie

Rozwój budownictwa i inżynierii materiałowej wymaga wprowadzania nowych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, mających na celu zwiększenie trwałości i niezawodności obiektów budowlanych. Dlatego kompozyty znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie w budownictwie. Najczęściej

www.polimerobeton.pl

meyer POLYCRETE

DOKŁADNE WYMIARY ORAZ NIEZWYKŁA WYTRZYMAŁOŚĆ

RURY PRZECISKOWE
Z POLIMEROBETONU DN250-DN3500

WYTRZYMAŁE

Niezawodność nawet przy największych obciążeniach ściskających

KOMPLETNY SYSTEM

Rury przeciskowe, rury odkrywkowe, studnie i zbiorniki o dowolnych kształtach

WYŁĄCZNY DYSTRYBUTOR





for: Rawpixel.com, Freepik

celem wytworzenia kompozytu jest podwyższenie właściwości mechanicznych materiału – sztywności, wytrzymałości, odporności na pęknięcie i ścieranie.

W Stuttgarcie w Niemczech powstaje obecnie most kolejowy, którego elementy nośne wykonano z kompozytów polimerowych zbrojonych włóknem węglowym, co pozwoliło nie tylko na obniżenie kosztów, ale także przekroczenie ośmiu pasów autostrady bez dodatkowych podpór. W Polsce wśród głównych barier hamujących obecnie szybszy rozwój mostów kompozytowych wymienia się trzy czynniki. Jednym jest wysoki koszt początkowy konstrukcji kompozytowych. Kolejne to brak norm i przepisów oraz wiedzy na temat projektowania tego typu obiektów, a także stosunkowo skromne doświadczenia eksploatacyjne w odniesieniu do mostów z kompozytów FRP [4].

Ostatnie miesiące pokazały, że kompozyty z racji swoich unikatowych cech mogą np. stanowić potencjalną odpowiedź na brak miejsc w szpitalach – z paneli kompozytowych możliwe jest szybkie wybudowanie modułowych obiektów dla chorych. Wszystko wskazuje na to, że perspektywy zastosowania kompozytów na szerszą skalę są bardzo obiecujące.

Literatura

- [1] Boczkowska A., Krześciński G.: *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*. Warszawa 2016.
- [2] Wojtkun F., Sołncew J.P.: *Materiały specjalnego przeznaczenia*. Politechnika Radomska. Radom 2001.
- [3] Łach M.: *Wpływ cząstek tufu na właściwości spiekanego kompozytu o osnowie miedzi na elektrody do zgrzewania oporowego*. Kraków 2015.
- [4] Siwowski T.: *Mosty z kompozytów FRP. Kształtowanie, projektowanie, badania*. Warszawa 2018.
- [5] Bełzowski A.: *Podstawowe wiadomości o próbach wytrzymałości materiałów kompozytowych* (online). Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, Wydziałowy Zakład Wytrzymałości Materiałów. Wrocław, luty 2007. Dostępny w Internecie: http://www.wzwm.pwr.wroc.pl/files/pages/inst_12.pdf (dostęp 24 czerwca 2020).
- [6] Rajczyk M., Stachecki B.: *Współczesne materiały kompozytowe – wybrane kierunki rozwoju nowych technologii*. „Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym” 2011, nr 8, s. 202–211.
- [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] Ziejewska C., Nykiel M., Hebda M.: *Badanie odporności na zużycie ścierne kompozytów na osnowie niskostopowej stali Astaloy CrL modyfikowanych dodatkiem węgla wolframu*. W: *Wiedza i technologia motorem gospodarki 2017*. Red. M.S. Kruk, A. Synowiec. Częstochowa 2017.
- [11] Major M., Major I.: *Kompozyty w budownictwie zrównoważonym – przegląd rozwiązań i przykłady zastosowań*. „Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym” 2015, nr 1, s. 126–133.



Jakie znaczenie dla rozwoju inżynierii materiałowej miało stworzenie materiałów kompozytowych?



prof. dr hab. inż. ANNA BOCZKOWSKA,
Zakład Materiałów Ceramicznych
i Polimerowych, Wydział Inżynierii
Materiałowej, Politechnika Warszawska

Historia kompozytów sięga zamierzchłej przeszłości, chociaż jako odrębna grupa materiałów o nazwie kompozyty została wyróżniona dopiero w XX w. Kompozyty

powstały jako rezultat poszukiwań nowych materiałów konstrukcyjnych, doskonalszych od stosowanych dotychczas, głównie ze względów wytrzymałościowych. Składają się one z co najmniej dwóch składników różniących się właściwościami. Przez odpowiedni dobór składników, różny kształt i rozmiar, zmieniając ich wzajemny udział i rozmieszczenie, można w świadomy sposób kształtować właściwości wyrobów. Tym właśnie zajmuje się inżynieria materiałowa. Kompozyty dają nieograniczone możliwości kształtowania ich właściwości. Do wytworzenia lekkich materiałów konstrukcyjnych o dużej wytrzymałości stosuje się ciągłe włókna, np. węglowe, szklane. Dla uzyskania lekkiego materiału o dużej

przewodności elektrycznej do polimerów wprowadza się przewodzące cząstki metaliczne lub węglowe (sadza, grafit) czy nanowłókna lub nanorurki węglowe. Poznanie zależności pomiędzy składnikami, ich wzajemnego oddziaływania na granicy faz umożliwiło rozwój wiedzy w dziedzinie inżynierii materiałowej. Dobór rodzaju osnowy kompozytu zależy od warunków jego pracy, a od warunków pracy i rodzaju osnowy zależy wybór odpowiedniego wzmocnienia. Obecnie duża część materiałów stosowanych w inżynierii materiałowej to kompozyty. Mogą one być na osnowie polimeru, ceramiki lub metalu. Często połączenie ze sobą składników kompozytu stanowi duże wyzwanie technologiczne. Stąd też nowoczesna inżynieria materiałowa potrafi zmienić właściwości powierzchni wzmocnienia, tak aby było ono lepiej zwilżalne przez ciekłą osnowę, a w efekcie miało też lepszą adhezję do osnowy. Kompozyty to też nowe wyzwania stawiane przed inżynierią materiałową związane z charakterystyką ich mikrostruktury, zwłaszcza w skali nanometrycznej, oraz właściwości, preparatyką materiałów do badań czy przewidywaniem ich właściwości z wykorzystaniem numerycznych technik obliczeniowych.

W wielu współczesnych zastosowaniach tworzyw konstrukcyjnych wymagana jest jednocześnie wysoka wytrzymałość, sztywność i mała masa. Czy rury kompozytowe wpisują się w te trendy?



DARIUSZ KOSIOROWSKI,
międzynarodowy ekspert grupy Amiblu
w zakresie technologii przecisku
i mikrotunelowania, szef działu
technicznego oddziału w Dąbrowie
Górnicej

Rury kompozytowe z TWS (ang. GRP) od samego początku były produktem,

który umożliwiał spełnienie szerokiego wachlarza wymagań wynikających z zastosowania. Podstawową zaletą rur GRP jest ich odporność chemiczna, ceniona w zastosowaniach kanalizacyjnych, przemyśle czy w zasolonej wodzie. Rozwój i badania prowadzone na całym świecie pozwalają na swobodną modyfikację wielu parametrów według konkretnych wymagań. Zwiększenie wytrzymałości wzdłużnej umożliwia opuszczanie rurociągów na głębokość ponad 500 m przy budowie studni odwadniających w kopalniach odkrywkowych.

Niektóre wykładziny rur GRP umożliwiają hydrotransport urobku górniczego, który wytwarza ekstremalnie wysokie ścieranie. Duża wytrzymałość na ściskanie to cecha sprzyjająca stosowaniu tych rur w instalacji kanalizacji metodą mikrotunelowania, co zostało potwierdzone przez budowę ponad 200 km dużych kanałów tą metodą w Polsce. Relatywnie niski ciężar jednostkowy rur ułatwia pracę firmom budowlanym przy zachowaniu parametrów mechanicznych odpowiednich dla dużych zagłębień i obciążeń od ruchu samochodowo-kolejowego. To dzięki kompozytowej budowie ze wzmocnieniem włóknami szklanymi możliwa jest produkcja rur ciśnieniowych w zakresie średnic do 4000 mm i ciśnieniu 32 b, które wszechstronnie spełniają wymagania rurociągów w elektrowniach wodnych i konwencjonalnych. Ich gładka powierzchnia wewnętrzna, niezmienna w czasie, pozwala na ograniczenie strat energii przy pompowaniu i produkcji energii z odnawialnych źródeł.