



Szczepan Gorbacz, Amargo

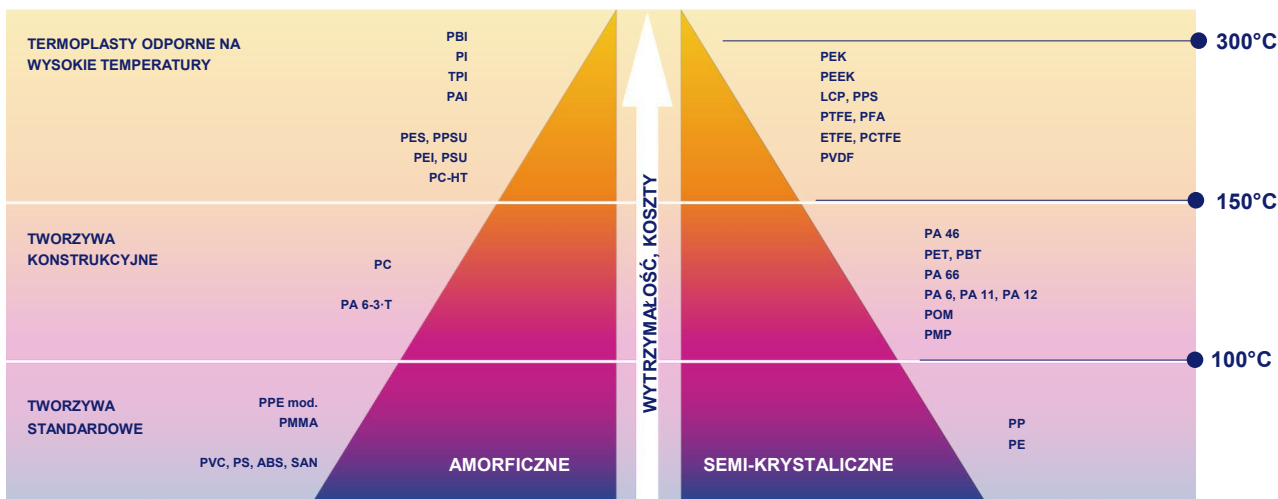
Tworzywo, kompozyt, hybryda – dobór materiałów do budowy zbiorników przemysłowych

Projektowanie oraz konstruowanie zbiorników na substancje żrące, trujące i niebezpieczne wymaga gruntownego podejścia, ze szczególnym zwróceniem uwagi na właściwości wytrzymałościowe oraz eksploatacyjne dobieranego materiału konstrukcyjnego. Mają one kluczowy wpływ na zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa, gwarancję określonej żywotności zbiornika, czy osadzenie inwestycji w realiach finansowych. To z kolei rzutuje na szanse realizacji i sukces danego przedsięwzięcia.

Wśród podstawowych materiałów konstrukcyjnych zbiorników należy wyróżnić tworzywa polimerowe z grupy termoplastów, które wykorzystuje się w przypadkach, gdy zastosowanie stali nie stanowi optymalnego rozwiązania z uwagi na koszty, ciężar, możliwości obróbki, a także odporność chemiczną i na korozję. Zbiorniki wielkogabarytowe z tworzywa z powodzeniem pracują w różnorodnych branżach przemysłowych, niezależnie od stopnia skomplikowania procesu technologicznego, zarówno w posadowieniu naziemnym, jak i podziemnym.

Do podstawowych zalet tworzyw polimerowych takich jak m.in. PE, PP, PVC, PVDF zalicza się m.in.:

- wysoką odporność chemiczną, dzięki której zbiorniki mogą być przeznaczone do kontaktu z większością agresywnych substancji chemicznych,
- odporność na korozję i działanie agresywnego medium,
- odporność na promieniowanie UV,
- niższe koszty wytwarzania w stosunku do zbiorników stalowych,
- niską masę – łatwiejszy transport i montaż,
- łatwość obróbki,
- możliwość długiego czasu eksploatacji bez konieczności stosowania dodatkowych materiałów zabezpieczających.



Schemat 1. Piramida termoplastycznych tworzyw sztucznych.

Oczywiście, jak żadne z materiałów konstrukcyjnych, tak i tworzywa polimerowe nie są pozbawione wad. Niektóre z nich stanowią pewne ograniczenia, głównie w kontekście warunków użytkowania, m.in.:

- niski zakres temperaturowy pracy,
- słaba odporność na starzenie,
- brak możliwości przechowywania gazów,
- brak możliwości realizacji skomplikowanych kształtów.

Dlatego też w zależności od przeznaczenia i charakteru pracy zbiorników coraz częściej do ich budowy stosuje się duroplasty.

Dobór tworzywa a parametry pracy zbiornika magazynowego i procesowego

Zawsze podkreślam, jak ważne jest – już na etapie koncepcji i projektowania – określenie przez inwestora temperatury oraz stężenia czynnika roboczego. To dane, które wpływają na kolejne kroki tj. dobór odpowiedniego tworzywa oraz grubość materiału ścian zbiornika zapewniającą odpowiednią statykę.

W inżynierii przemysłowej szczególną rolę odgrywają właściwości chemoodporne materiału. Oddziaływanie czynników chemicznych na polimery jest bowiem znacznie szybsze niż w przypadku wpływu czynników atmosferycznych.

Na wspomnianą odporność chemiczną kluczowy wpływ mają:

- temperatura, której oddziaływanie wpływa na wytrzymałość mechaniczną; wraz z jej wzrostem zwiększa się szybkość reakcji chemicznych, szybkość pęcznienia i ługowania; z kolei przy ujemnych temperaturach należy zwrócić uwagę na przystosowanie tworzyw do zastosowania zewnętrznego (nie każde sprawdzą się w tej roli),
- promieniowanie ultrafioletowe,

- zmienność warunków użytkowania – cykliczne zmiany są bardziej szkodliwe niż praca ciągła,
- ruch cieczy – jej mieszanie zwiększa jej agresywność,
- stężenie czynnika agresywnego.

Wiemy już, że wpływ na dobór odpowiedniego tworzywa, z którego będzie wykonany zbiornik mają właściwości medium, z którym będzie on pracował tj. skład procentowy, stężenie, maksymalna temperatura oraz gęstość. Znajomość czynnika roboczego pozwoli nie tylko dobrać materiał o odpowiedniej odporności chemicznej, ale może stać się decydująca jeśli chodzi o wybór technologii, w jakiej zostanie wyprodukowany zbiornik.

Jak wiadomo – zwłaszcza dla tworzyw z grupy termoplastów – wraz ze wzrostem temperatury znacznie zmienia się elastyczność materiału. Z tego powodu dla zachowania odpowiedniej statyki konstrukcji należy w takich przypadkach stosować znacząco większe grubości ścianek, które wynikają z obliczeń statyki w oparciu o ww. parametry. Takie dane mogą zdecydować o wykluczeniu standardowej technologii produkcji z wykorzystaniem gotowych arkuszy tworzywa ([AmargTank ClassicWeld¹](#)). Wtedy doskonałą alternatywą staje się technologia nawojowa ([AmargTank SafeSeamLess²](#)).

¹AmargTank ClassicWeld to nazwa własna standardowej technologii produkcji zbiorników becznieniowych z zastosowaniem gotowych arkuszy tworzyw sztucznych o stałych wymiarach handlowych. Poza płytami do produkcji wykorzystywane są druty spawalnicze w formie zwojów. W zależności od wymaganych wymiarów zbiornika arkusze tworzywa są przycinane, a następnie zgrzewane doczołowo oraz spawane ekstruzyjnie lub gorącym powietrzem.

²AmargTank SafeSeamLess – nazwa własna technologii nawojowej, która opiera się o system ekstrudowanych ścianek i profili nakładanych w jednoczesnym procesie wraz z podgrzewaniem stalowego obrotowego rdzenia prowadzącego. W kolejnym etapie następuje dalsza obróbka znana z sektora termoplastów. W efekcie powstaje bezspoinowa, uformowana na dany kształt i wymiar rura, czyli część cylindryczna zbiornika – pobocznicą.

Jakie tworzywa termoplastyczne stosuje się do produkcji zbiorników wielkogabarytowych na chemię?

Aby odpowiedzieć na to pytanie spójrzmy na tzw. piramidę termoplastycznych tworzyw sztucznych z podziałem na grupy (schemat 1.). W grupie tworzyw standardowych widzimy powszechnie stosowane polietylen PE i polipropylen PP. Cena tych materiałów jest stosunkowo niska, natomiast mimo wielu zastosowań ich właściwości stanowią pewne ograniczenia jeśli chodzi np. o temperatury stosowania czy odporność chemiczną w zależności od konkretnej substancji i jej stężenia.

Poziom wyżej znajduje się grupa tworzyw konstrukcyjnych, w której przewagę stanowią głównie poliamidy. Na czubku piramidy mieści się grupa termoplastów z rodziny fluorowców odpornych na wysokie temperatury. Tworzywa te cechuje często także wysoka odporność chemiczna (ECTFE, PVDF). Mimo to, z uwagi na niezwykle wysoki koszt tych materiałów (polifluorek winylidenu PVDF czy etylen/chlorotrifluoroetylen ECTFE są materiałami średnio dwudziestokrotnie droższymi w stosunku do polietylenu wysokiej gęstości HDPE / polipropylenu homopolimeru PP-H), są one w przypadku budowy konstrukcji zbiorników rzadko wykorzystywane.

Chcąc wskazać wpływ odporności temperaturowej na zastosowanie termoplastów jako materiału konstrukcyjnego zbiorników, w tabeli 1. zestawiono wspomniane ograniczenia temperaturowe tworzyw w zależności od rodzaju najczęściej magazynowanych substancji stosowanych w przemyśle i ich stężenia.

Jak widzimy, największą trudność stanowią m.in. kwas azotowy i siarkowy, dla których wymienione materiały – głównie PE i PP – nie są odporne. Dla tych substancji od-

porność chemiczną zachowuje np. PVDF czy też PVC, jednak w praktyce nie są to rozwiązania optymalne. PVC nie daje możliwości technicznych z powodu kruchości, z kolei PVDF czy ECTFE – tak jak wspominaliśmy wcześniej – nie są optymalne ekonomicznie.

Z tego powodu w zasadzie nie konstruuje się z nich warstwy nośnej zbiornika. W takich przypadkach tworzywa te stosuje się jako liner – wewnętrzną, chemoodporną warstwę zbiornika, natomiast samą konstrukcję stanowi kompozyt.

Podsumowując, w warunkach nieracjonalnych ekonomicznie i dla podwyższonych temperatur doskonałym rozwiązaniem są konstrukcje kompozytowe (poliesterowe, winyloestrowe wraz ze zbrojeniem włóknem szklanym) z chemoodporną warstwą wykańczającą lub systemy hybrydowe, czyli konstrukcja kompozytowa o wysokiej odporności antykorozyjnej i chemicznej + trwale zespolony kaszerowany liner wewnętrzny z tworzywa PE, PP, PVC, PVDF, E-CTFE, PFA (poza wysoką odpornością chemiczną zapewniający odporność temperaturową). Takie podejście pozwala zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa oraz wytrzymałość zbiorników.

Zbiorniki kompozytowe – wprowadzenie

Według definicji kompozyt to rodzaj materiału utworzony z co najmniej dwóch komponentów (faz) o różnych właściwościach w taki sposób, że ma właściwości lepsze i/ lub nowe (dodatkowe) w stosunku do komponentów użytych osobno lub wynikających z prostego sumowania tych właściwości – kompozyt jest materiałem zewnętrznym monolitycznym, jednakże z widocznymi granicami między komponentami.

Rodzaj termoplastu	Odporność temperaturowa tworzyw termoplastycznych w zależności od rodzaju substancji, °C					
	Ług sodowy 50%	Kwas solny 37%	Kwas azotowy 10%	Kwas azotowy 53%	Kwas siarkowy 96%	Kwas siarkowy 98%
PE 100 / PE 100 RC	60	40	40	0	0	0
PP-C	80	40	40	0	0	0
PP-H	80	40	40	0	0	0
PVC-CAW	60	60	60	40	40	0
PVDF	0	100	100	80	40	20
ECTFE	80	100	100	80	80	60

Tabela. 1. Ograniczenia temperaturowe tworzyw termoplastycznych w zależności od rodzaju i stężenia czynnika roboczego. Na zielono zaznaczono tworzywa odporne na wskazaną temperaturę, na żółto – warunkowo odporne, na czerwono – nieodporne.

Elementy kompozytu stanowią:

- osnowa – decyduje m.in. o właściwościach chemicznych i cieplnych kompozytu,
- komponent konstrukcyjny (zbrojenie) np. włókna – poprawia określone właściwości mechaniczne i/lub użytkowe wyrobu.

Duroplasty charakteryzują się usieciowaną lub drabinkową konfiguracją makrocząsteczek. Ze względu na strukturę przestrzennie usieciowaną mogą być one przetwarzane tylko jednokrotnie.

W tabeli 2. znajdującej się na kolejnej stronie porównano wybrane właściwości dla termoplastów i kompozytów. Na możliwość użytkowania duroplastów w wyższych temperaturach, aniżeli w przypadku termoplastów wpływa ich usieciowana struktura.

Polimery stosowane jako osnowy w kompozytach

Jako osnowę w kompozytach można stosować zarówno termoplasty jak i duroplasty. W praktyce wśród kompozytów konstrukcyjnych przeważają obecnie materiały o osnowach duroplastycznych (stanowią 70% rynku kompozytowego).

W osnowach kompozytowych najczęściej stosuje się polimer epoksydowy, poliestrowy, winyloestrowy, epoksywinyloestrowy i fenolowy. Rodzaj osnowy wpływa na właściwości fizyko-chemiczne (gęstość, nasiąkliwość, udarność, wytrzymałość na rozciąganie, skurcz).

Z uwagi na cenę do wytworzenia konstrukcji zbiorników najczęściej stosuje się żywice poliestrowe lub winyloestrowe. Porównując je z żywicami epoksydowymi po

Właściwości	Termoplasty	Duroplasty
Moduł Younga E, Gpa	1,0 – 4,8	1,3 – 6,0
Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa	40 – 190	20 – 180
Odporność na kruche pękanie K_{IC} , MPa·m ^{1/2}	1,5 – 6,0	0,5 – 1,0
Dopuszczalna temperatura użytkowania, °C	25 – 230	50 – 450

Tabela. 2. Porównanie wybranych właściwości termoplastów i kompozytów.

utwardzeniu posiadają one korzystniejsze właściwości tj.: wyższą odporność na działanie czynników chemicznych, właściwości elektryczne i wytrzymałościowe, większy skurcz technologiczny. Należy jednak pamiętać, że polimery poliestrowe cechuje niższy moduł Younga (in. moduł odkształcalności liniowej albo moduł sprężystości podłużnej), a co za tym idzie – mniejsza sztywność. Mimo stosunkowo niskiej ceny znacznie rzadziej stosuje się żywice fenolowe, które poza główną zaletą jaką jest trudnozapalność charakteryzują się słabszymi właściwościami.

Oprócz wymienionych wcześniej żywic prowadzimy badania z firmą zewnętrzną pod kątem możliwości zastosowania żywic ekologicznych, niskoemisyjnych, bezstyrenowych. Wynika to z faktu, że w przypadku żywic



Przykład 1.

Zbiorniki tworzywowe laminowane do przechowywania ciekłych odpadów promieniotwórczych zabudowane wraz z instalacją hydrauliczną w wannie wychwytowej.

standardowych problematyczne pozostają kwestie recyklingu, a dodatkowo podczas produkcji następuje emisja styrenu. Kierunek gospodarki niskoemisyjnej potwierdza, że żywice ekologiczne, utwardzane promieniowaniem UV mogą doskonale się sprawdzić w powszechnych zastosowaniach. Prace stanowią bardzo ważny element strategii Amargo, w którą wpisuje się troska o środowisko naturalne.

Zalety zbiorników kompozytowych przeznaczonych do pracy z agresywną chemią

Pora na podsumowanie zalet zbiorników kompozytowych z nawojem z włókna szklanego lub węglowego. Pierwszą z nich jest możliwość zaoszczędzenia ok. 50% masy przy niezmienionej objętości – konstrukcja całkowicie metalowa to masa rzędu 1,4 kg/l – natomiast zbiornika wykonanego tylko z materiałów kompozytowych – od 0,3 kg/l do 0,45 kg/l. Takie zbiorniki cechuje bardzo duża sztywność/wytrzymałość, którą zapewniają włókna (małą gęstość zapewnia osnowa polimerowa). Zastosowanie kompozytów niesie zatem za sobą duże oszczędności w masie konstrukcji. Ponadto podkreślić należy także:

- wysoką odporność chemiczną na silnie utleniające substancje,
- w porównaniu do tworzyw standardowych możliwość pracy w wyższych temperaturach,
- możliwość stosowania linerów z tworzywa,
- możliwość wzmocnienia właściwości materiału za pomocą środków pomocniczych poprawiających właściwości mechaniczne, dielektryczne, cieplne, chemiczne lub przetwórcze,
- możliwość uzyskania większego kształtu sfery,
- w porównaniu do zbiorników o tej samej odporności, ale wykonanych ze stali nierdzewnej, koszt zbiorników kompozytowych jest znacznie niższy.

Projekty badawczo-rozwojowe

Z uwagi na zasadność stosowania kompozytu + linera Amargo zrealizowało i realizuje projekty badawczo-rozwojowe:

- Bon na innowacje: „Innowacyjna technologia konstrukcji produktów przeznaczonych do bezpośredniego kontaktu z substancjami niebezpiecznymi” zrealizowany wspólnie z Wydziałem Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej,
- „Opracowanie inteligentnej konstrukcji ciśnieniowego zbiornika kompozytowego z uchylną dennicą” realizowany wraz z naukowcami Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej oraz z Politechniki Wrocławskiej,
- „Innowacje produktowe w firmie AMARGO opracowane dzięki utworzeniu infrastruktury B+R”.



Przykład 2.

Jeden ze zbiorników z tworzyw sztucznych laminowanych na nieczystości ciekłe laboratoryjne (tzw. instalacja zielona) oraz na ścieki niskoaktywne (instalacja czerwona) zabudowane w komorze podziemnej.

Materiały, z których korzystano podczas opracowania artykułu:

1. A. Boczkowska, G. Krześciński; *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2016.
2. W. Baranowski, P. Palutkiewicz; *Technologiczne aspekty wytwarzania zbiorników wielkogabarytowych z tworzyw polimerowych*, Politechnika Częstochowska, 2014
3. P. Pawłowska, K. Gawdzińska, K. Bryll, M. Pijanowski, L. Chybowski; *Dobór materiału osnowy na hybrydowe materiały kompozytowe z udziałem recyklatów*, PRZETWÓRSTWO TWORZYW 5 (wrzesień – październik) 2017
4. Aplikacja SIMCHEM ONLINE <https://www.simona-pl.com/mysimona/simchem/> [dostęp październik 2021]