

# Quadur design manual

---

tekst: Zdzisław Sobierajski / projekt graficzny: Iwona Szymańska



Oddaję do Twojej dyspozycji wydanie Quadur Design Manual. Jedyne na rynku podręcznika opisującego zasady projektowania detali i konstrukcji z materiałów kompozytowych.

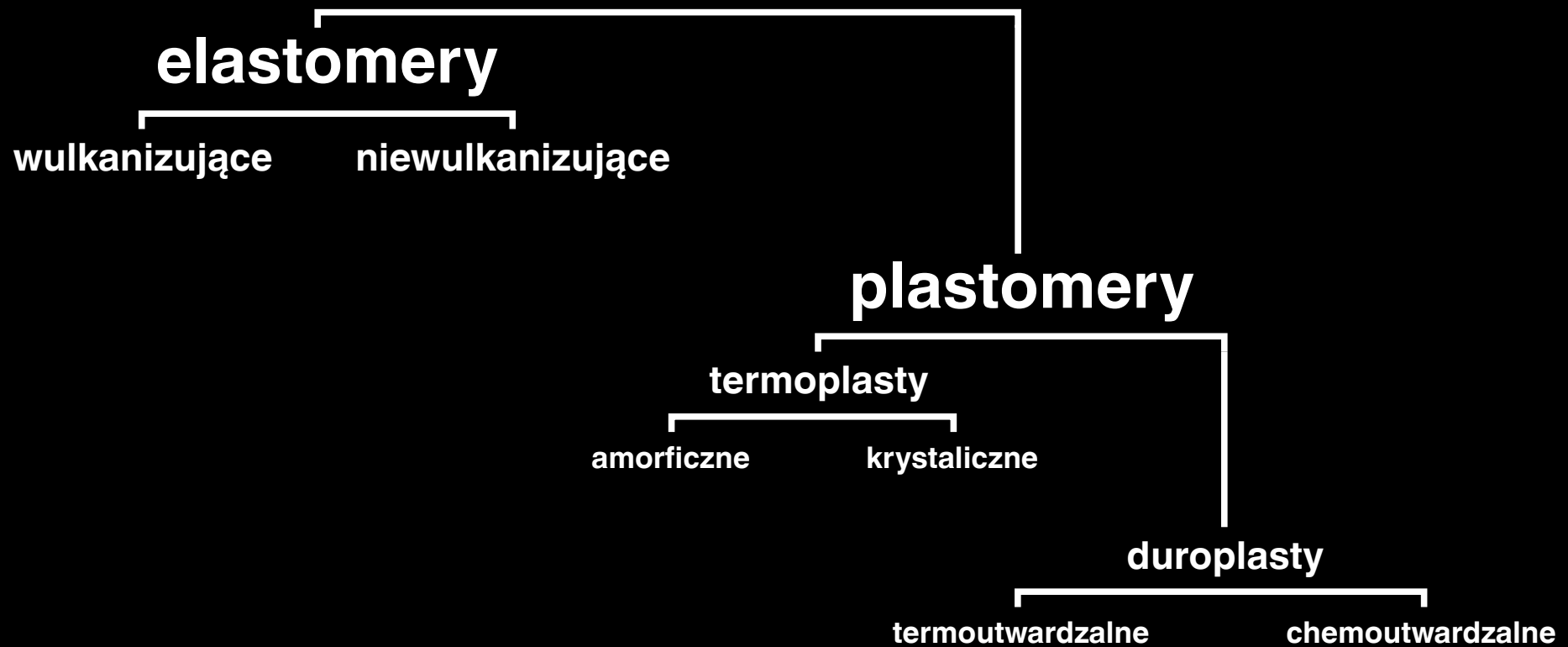
Opisane tutaj zasady konstruowania brył oraz metody obróbki mechanicznej materiałów kompozytowych produkowanych na bazie żywic chemoutwardzalnych, są efektem mojej 27 letniej pracy wdrożeniowej w czasie której powstało ponad tysiąc różnych kompozytowych części takich produktów jak obudowy aparatury medycznej, karoserie samochodowe i autobusowe, części jachtów, meble, elementy wyposażenia wnętrz, lampy, obudowy maszyn przemysłowych, części poszycia samolotów oraz wiele innych. Quadur jest technologią wytwarzania prasowanych materiałów kompozytowych o z góry założonych właściwościach mechanicznych i chemicznych. Jest to technologia znamienna wyłącznie dla firmy Quadur ([www.quadur.pl](http://www.quadur.pl)), ale oprócz specjalistycznych zastosowań, wiele z opisanych tu metod produkcji można zastosować do zwykłych laminatów i kompozytów produkowanych przez inne firmy.

Materiały kompozytowe, to jest dzisiaj najszybciej rozwijająca się dziedzina przetwórstwa tworzyw sztucznych. I chociaż kompozyty tworzone na bazie żywic chemoutwardzalnych (duroplastów) to jest tylko wycinek rynku tworzyw, to jednak skala możliwych zastosowań tych materiałów jest szeroka. Konstrukcje z tych materiałów pływają w głębinach oceanów, pływają po morzach i jeziorach, jeżdżą po drogach, są w naszych mieszkalniach i przestrzeni publicznej, służą w wojsku, przemyśle, sporcie i medycynie, latają w powietrzu i wędrują w kosmosie. W każdej dziedzinie do której robisz projekt, możesz swobodnie stosować konstrukcje lub części z kompozytów. A jak je projektować dowiesz się z tego podręcznika. A jeśli masz wątpliwości to napisz do nas śmiało. QUADUR i Sobierajski pomaganie dizajnerom i konstruktorom mają wpisane w DNA.

Zdzisław Sobierajski  
[www.sobierajski.pl](http://www.sobierajski.pl)



# polimery



## Systematyka ogólna tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne w większości są wytwarzane z substancji naturalnych, lub ropy naftowej oraz węgla.

Naturalne pochodzenie mają na przykład Poliaktyd, galalit, kauczuk czy celuloza. Tworzywa syntetyczne to na przykład polietylen (PE), polistyren (PS), poliwęglan (PC), poliamid (PA), polimetakrylan metylu (plexa PMMA).

Łatwo zauważyć przedrostek „Poli” w nazwie tych wszystkich tworzyw. Świadczy on o tym, że skład chemiczny tworzyw budują sekwencyjne cząsteczki zwane (Poli)merami. W zależności od budowy pojedynczych merów i długości łańcuchów polimerowych otrzymujemy różne właściwości chemiczne i mechaniczne tworzyw.

Kompozyt zawsze składa się z osnowy którą jest polimer, ceramika lub metal i umieszczonego w niej drugiego składnika (zbrojenia) które ma znacznie lepsze właściwości mechaniczne niż osnowa.

Osnowa:

- utrzymuje zbrojenie
- zapewnia wytrzymałość na ściskanie
- przenosi naprężenie zewnętrzne na zbrojenie,
- zatrzymuje rozprzestrzenianie się pęknięć,

Osnową jest najczęściej polimer (duropłast - epoksyd, poliester) może też być metal (Ti, Ni, Fe, Al, Cu) lub ich stopy bądź ceramika (np.  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , SiC,  $TiO_2$ ) nadaje wyrobom pożądany kształt.

Efektom takiego połączenia jest synergia właściwości obu składników. Kompozyt zawsze ma lepsze właściwości niż jego osobne składniki.

Podział polimerowych materiałów kompozytowych można przeprowadzić według ich składu i budowy.

kompozyty cząsteczkowe (konglomeraty)

- kompozyty wzmacniane włóknami:
  - ze zbrojeniem uporządkowanym
  - ze zbrojeniem rozproszonym
- kompozytowe laminaty (wiele dwuwymiarowych warstw, różnie zorientowanych względem siebie)
- kompozyty warstwowe - warstwy zewnętrzne rozdzielone warstwą mniej gęstego materiału (rdzeń typu sandwich).



Prawie każdy polimer możemy przekształcić w kompozyt przy użyciu rozmaitych wypełniaczy i włókien naturalnych i syntetycznych, np.

- dodając cząstki średnicy 10-250 nm, tlenków metali lub mielonych skał
- wzmacniając dużymi cząstkami: węglnikami spiekanyymi, granulkami szklanymi, cząstkami metali
- zbrojąc ciętymi włóknami szklanymi, węglowymi, ceramicznymi

Poprawimy wtedy właściwości mechaniczne, odporność termiczną, twardość, nadamy właściwości samo gasnące itd. Możliwości kombinacji jest nieskończenie wiele, dlatego jest to dzisiaj bardzo prężnie rozwijająca się branża. Praktycznie co chwilę pojawiają się na rynku nowe tworzywa kompozytowe i kopolimery.

Porównanie ciężaru i sprężystości niektórych kompozytów i metali

Stal wysokogatunkowa	7,8 g/cm <sup>3</sup>	moduł Younga = 190 MPa
Stopy Tytanu	5,0g/cm <sup>3</sup>	moduł Younga = 120 MPa
Stopy Aluminium	2,8g/cm <sup>3</sup>	moduł Younga = 71 MPa
Kopozyt poliestrowo-szklany	2,0g/cm <sup>3</sup>	moduł Younga = 48 MPa
Kompozyt epoksydowo-węglowy	1,4g/cm <sup>3</sup>	moduł Younga = 189 MPa

### — Laminaty i odlewy (konglomeraty)

Laminaty zawsze powstają jako wielowarstwowe struktury nakładane warstwa na warstwę. Do ich budowy powszechnie stosuje się włókno szklane przesączone żywicą poliestrową lub epoksydową.

Odlewy (konglomeraty) powstają wskutek wymieszania żywicy bazowej z dowolnym wypełniaczem. Najbardziej popularne na rynku są parapety, umywalki i zlewozmywaki.



## Rodzaje żywic, włókien oraz wypełniaczy

### Epoksydowe

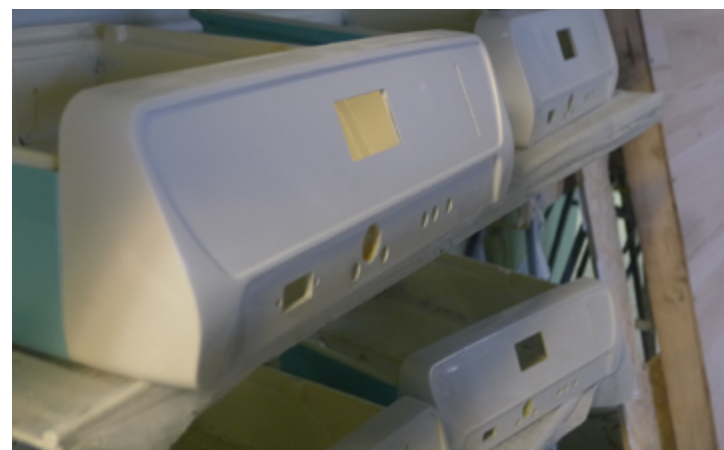
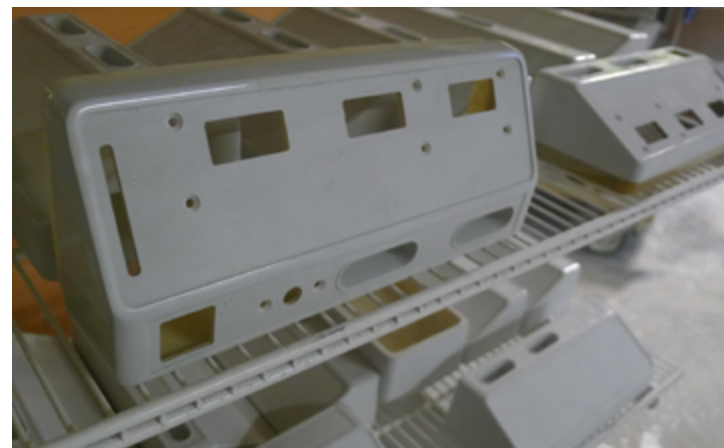
Otrzymywane w wyniku polikondensacji epichlorohydryny lub dichlorohydryny gliceryny z fenolami dwuwodortlenowymi. Żyvice epoksydowe charakteryzują się m.in. doskonałą przyczepnością niemalże do wszystkich tworzyw, zwłaszcza do metali, dobrymi własnościami mechanicznymi i elektrycznymi oraz odpornością na działanie czynników atmosferycznych i chemicznych. Doskonałe właściwości konstrukcyjne i niski – ok. 0,5% skurcz, idą w parze ze stosunkowo wysoką ceną. Kilogram żywicy epoksydowej to wydatek rzędu 30 PLN. Ale żywice o niecodziennych właściwościach w zakresie odporności termicznej do 200°C, mogą kosztować nawet powyżej 100 PLN za kilogram.



kompozyty 1C

### Żywice Poliestrowe

To ogólna nazwa wielkocząsteczkowych estrów wielozasadowych kwasów i wielowodorotlenowych alkoholi, otrzymywanych przez polikondensację dwuzasadowych kwasów lub ich bezwodników z dwuwodorotlenowymi alkoholami. Są to bardzo popularne żywice ponieważ koszt ich produkcji jest nieduży. Kilogram kosztuje już od 7 PLN. Jednak za tę cenę dostajemy niewygórowane parametry konstrukcyjne, dochodzący do 6% skurcz oraz odporność termiczną tylko do 65°C.



kompozyty 1C

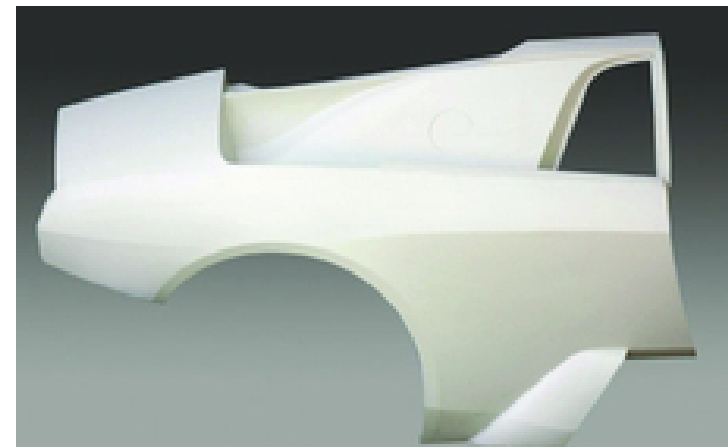


### — Żywice winyloestrowe

Mają lepsze właściwości niż poliestry. Odporność termiczna do 110oC, znakomita chemoodporność oraz dobra sprężystość, okupiona jest jednak ceną na poziomie 20-30 PLN za kilogram.

### — Żywice akrylowe

Są to produkty polimeryzacji lub kopolimeryzacji pochodnych kwasów akrylowego i metakrylowego. Stanowią półprodukt w technologii tworzyw sztucznych, np. polimetakrylanu metylu (Plexa), mogą być też wykorzystywane jako lakiery, włókna syntetyczne, kleje. Kosztują od 30 PLN za kilogram i charakteryzują się bardzo małym skurczem podczas utwardzania. Popularnym na rynku materiałem z tej grupy tworzyw jest Corian który jest mieszanką wypełniaczy mineralnych spojonych akrylem. Laminaty z tej grupy spotkacie także zaglądając pod plastikowe wanny. Cienką warstwę zewnętrzną tych wanien niesie solidna skorupa z akrylowego laminatu.

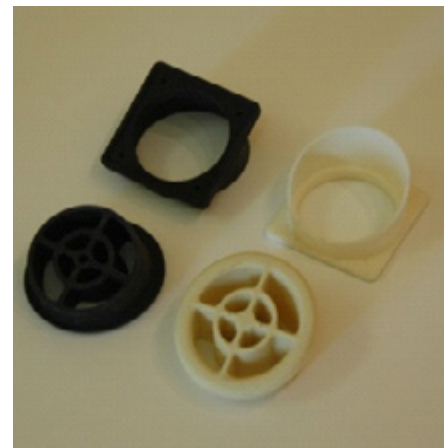
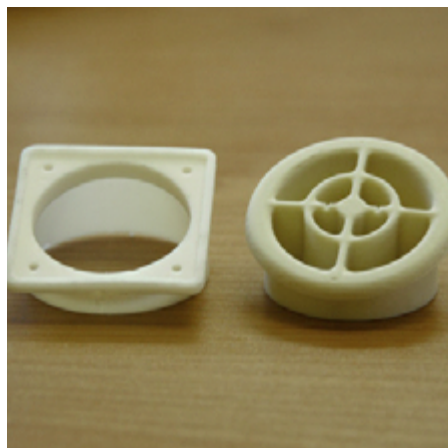


### — Żywice poliuretanowe

Tu mamy do dyspozycji bardzo szeroką gamę różnych żywic. Poliuretany mogą być twardą pianką lub gąbką, albo spienioną twardą strukturą porowatą. Mogą być twardym odlewem albo elastyczną jak guma masą. Cechą wspólną żywic poliuretanowych jest koszt kilograma w okolicy 30 PLN. Ale by dobrać odpowiednią żywicę do potrzeb produkcji, należy zawsze zasięgnąć opinii technologa z doświadczeniem wdrożeniowym. W to, co mówią handlowcy różnych dostawców poliuretanów, można wierzyć tylko w ograniczonym zakresie. Np. Lane poliuretany mają deklarowany, niski skurcz liniowy, rzędu 0,5 – 1 %. Jednak po tygodniu czy dwóch od odformowania nie można ich włożyć z powrotem do formy ponieważ detal jest o kilka procent mniejszy. Projektowanie detali z poliuretanów wymaga dużego doświadczenia i zawsze należy korzystać z porad praktyków wdrożeniowców. Są to tworzywa o dobrych właściwościach i szerokim spectrum zastosowań, ale by projektować dobre wyroby potrzeba dużego doświadczenia praktycznego.

### — Żywice i tworzywa naturalne

Są to substancje organiczne nierozpuszczalne w wodzie, będące mieszaniną kwasów organicznych, alkoholi, fenoli i estrów. Wytwarzane są przez komórki żywicorodne wielu roślin iglastych, a także przez niektóre gatunki owadów. Polimery naturalne to kauczuk, celuloza, białka, aminokwasy. Polimery są również otrzymywane poprzez chemiczną modyfikację polimerów naturalnych (octan celulozy, galalit, poliaktyd). Galalit służy np. do produkcji guzików – otrzymujemy go z kazeiny, która jest odpadem produkcyjnym w mleczarniach. Z wytwarzanego z kukurydzy poliaktydu produkujemy ekologiczne torby o bardzo krótkim czasie rozkładu. Najstarszą, stosowaną w przemyśle żywicą naturalną jest kauczuk. (zwulkanizowana żywica drzew kaurukowych).



### — Jak dobrać kompozyt do potrzeb projektu? —

Kryteriów doboru jest bardzo wiele i tylko technolog z dużym doświadczeniem wdrożeniowym może dokonać takiej analizy. W praktyce można jednak ograniczyć ilość kryteriów doboru już na etapie projektowym.

### — Koszt produkcji

Jeżeli priorytetem jest koszt produkcji to najczęściej użyjemy tanich żywic poliestrowych (niska odporność termiczna i duży skurcz). A jeśli priorytetem jest wysoka sztywność i stabilność wymiarów to musimy zainwestować w żywice epoksydowe. Jeśli potrzebujemy wysoką chemoodporność przy umiarkowanej cenie, to żywice winyloestrowe spełnią nasze oczekiwania. A jeśli chcemy stosować proste technologie odlewnicze, to jedynie żywice poliuretanowe zaspokoją nasze potrzeby.

### — Palność produktów

Często stosujemy kompozyty laminowane z domieszką uniepalniaczy. Ten wymóg wystąpi zawsze przy projektowaniu środków transportu, obiektów do przestrzeni publicznej czy dla lotnictwa. Uniepalniacz zawsze występuje w postaci proszku, który mieszamy z żywicą przed aplikacją do formy. Uniepalnić możemy zarówno laminaty jak i konglomeraty. Rodzaj uniepalniacza zawsze należy dobrać do wymagań późniejszego procesu certyfikacji gotowego produktu. W technologii Quadur stosujemy różne preparaty i metody gaszenia. Możemy nawet zaoferować zgodność wyrobu kompozytowego z bardzo rygorystyczną normą UL 90 V-0. 350 kilogramowa scenografia warsztatów artystycznych, jedna z naszych realizacji, jest od wielu lat eksploatowana w Narodowej Galerii Sztuki Zachęta w Warszawie. Budynek o najwyższej klasie ochrony przeciwpożarowej.



Scenografia warsztatów artystycznych dla dzieci. Narodowa Galeria Sztuki Zachęta.

### — Elektrostatyka

Znakomita większość tworzyw sztucznych ma właściwości elektrostatyczne. Gromadzą ujemne ładunki elektryczne. Skutkiem tego przyciągają cząstki kurzu. Ale większym problemem jest wpływ ładunków statycznych na pracę aparatów, których częścią jest obudowa. Najprostszym sposobem pozbycia się tych ładunków jest przetarcie wilgotną szmatką, ale w warunkach przemysłowych to raczej nie wystarczy. Właściwości elektrostatyczne tworzyw sztucznych ( w trym kompozytu Quadur) likwidujemy poprzez dodanie sadzy lub grafitu do składu mieszanki. Laminat z takim wypełniaczem uzyskuje niewielką przewodność elektryczną, jednak wystarczającą by odprowadzić ładunki statyczne z powierzchni detalu. Może być eksploatowany nawet jako część maszyny w kopalni.

### —— Kompatybilność elektromagnetyczna

Wiele obudów maszyn i aparatów przemysłowych, a w szczególności medycznych, wymaga spełnienia norm na kompatybilność elektromagnetyczną (EMC – dyrektywa 214-30 UE). W technologii Quadur stosujemy preparaty Miedziano-srebrze o wysokiej tłumienności fal elektromagnetycznych. (do 65 dB/1 GHz). Projektując takie obudowy zawsze należy uzgodnić ten zakres pracy z technologiem i elektonikiem. Sposób wykonania powłoki EMC jest ściśle związany z kształtem wnętrza obudowy oraz rodzajem układu elektronicznego. Taka kompozytowa obudowa, z elektrycznego punktu widzenia, ma właściwości obudowy metalowej.

### —— Sztywność i sprężystość kompozytów

Stosując różne materiały składowe możemy dobrać parametry kompozytów do naszych potrzeb. Znam przypadek zaprojektowania resora do samolotu wykonanego w kilkuset warstw laminatu węglowego. Ogólna zasada polega zawsze na tym, że im cieńsze włókna, tym lepsza sprężystość. Dlatego laminat węglowy jest bardziej sprężysty od szklanego. Nawet jeśli mają w składzie tą samą żywicę bazową. Dla przykładu, czasza wiszącej lampy, wykonana z laminatu epoksydowo-węglowego może ważyć około 700 gramów. Taka sama, wykonana z laminatu poliestrowo-szklanego, musi być znacznie grubsza i ważyć ponad 3 kilogramy.

### —— Odporność termiczna kompozytów

Ta jest ściśle powiązana z właściwościami bazowej żywicy z której tworzymy kompozyt. Dla żywic poliestrowych jest to 65oC, dla winyloestrowych 110oC, a różne żywice epoksydowe pokryją nam zapotrzebowanie od 80oC do 220oC. Żywice poliuretanowe nie mają wielkich osiągnięć w tym zakresie i typowe temperatury granicznego użytkowania to 70-90 oC

## Technologia przetwórstwa kompozytów

### Ograniczenia ekonomiczne różnych technologii produkcji

Ekonomia zawsze decyduje o doborze materiałów i wykorzystaniu technologii. Jedynie na poziomie surowcowym kalkulacje są proste. Poliester 6-7 PLN/kg, Poliuretan > 30 PLN/kg, Epoksyd > 30 PLN/kg, Winylester >20 PLN/kg. Jednak, gdy dominującym kryterium są właściwości chemiczne i fizyczne (konstrukcyjne) detali, to wybór się komplikuje. Dobór właściwej technologii i surowca zawsze powinien być poprzedzony gruntowną analizą potrzeb inwestora, oraz planowanej skali produkcji. Zasadą jest to, że każda dodatkowa właściwość kosztuje, więc by zoptymalizować dobór bazowej żywicy należy przeprowadzić analizę potrzeb z punktu widzenia właściwości projektowanej konstrukcji oraz analizę Biznes Planu inwestora. Ogólna zasada jest taka, że im coś szybciej jeździ, pływa lub wyżej lata, to zawiera więcej droższych kompozytów epoksydowo-węglowych.

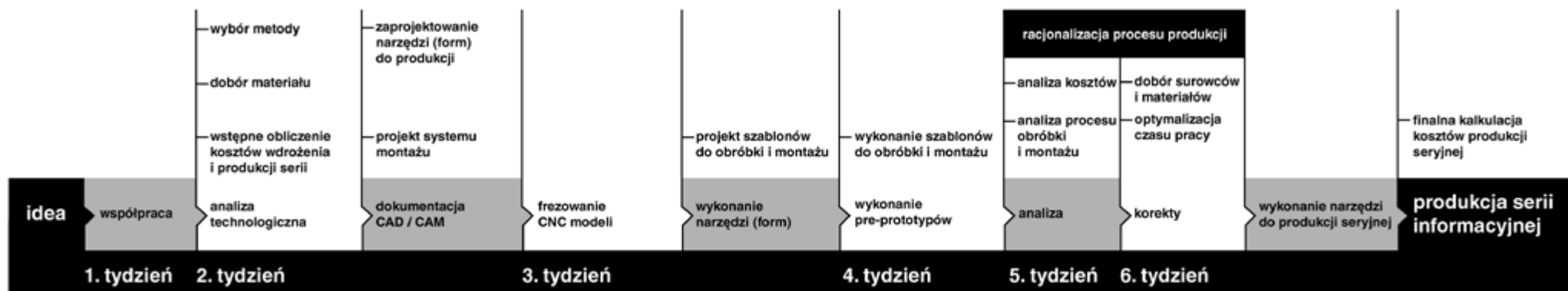


### Ekonomika produkcji. Jak dobrać odpowiednie technologie do planowanej skali.

W przypadku materiałów kompozytowych należy wyraźnie rozgraniczyć pojęcie „Technologia lub metoda przetwórstwa” od technologicznego aspektu różnych maszyn i urządzeń do wspomagania tego procesu. Pojęcie „technologia” należy stosować do konkretnej linii produkcyjnej, którą maszyny i urządzenia wspomagają będąc jedynie częścią składową linii. Zwykle maszyny i urządzenia wspomagające są potrzebne dopiero przy osiągnięciu pewnej skali produkcji dziennej, dla przyśpieszenia procesów i uzyskania lepszej powtarzalności. Każdy, budowany w oparciu o żywice polimerowe kompozyt, w praktyce można wytworzyć ręcznie, przy pomocy prostych narzędzi.

### Ręczne formowania laminatu

Najbardziej rozpowszechniona metoda polega na ręcznym przesączaniu mat lub tkanin z włókien szklanych, żywicą poliestrową, w otwartych formach. Ta metoda może być wspomagana urządzeniami do natrysku żywicy, bądź do podawania żywicy na wałek do laminowania. Formy są tanie, ale wydajność wynosi 1 detal/dobę. Gładka jest tylko jedna strona laminatu. Strona wewnętrzna ma widoczną, niejednorodną powierzchnię. Czasochłonne jest montowanie insertów do skręcania i mocowania wyposażenia.



### — Wielkoseryjna produkcja kompozytów

Wymaga większych kosztów wdrożeniowych, np RTM (Resin Transfer Moulding) oraz techniki infuzyjne, które są stosunkowo młodymi metodami przetwórstwa kompozytów i umożliwiają produkcję detali o grubości ścianki od 5 do kilkunastu milimetrów. Do produkcji RTM stosujemy ciężkie masywne formy z polimerobetonu. Ze względu na wysoki koszt narzędzi metoda RTM stosowana jest tylko w dużych seriach produkcyjnych.

### — Prasowanie preimpregnatów

Metody prasowania preimpregnatów poliestrowych w lekkich formach, w Polsce najbardziej rozwinęła firma Quadur, która z powodzeniem stosuje je w produkcji skomplikowanych, cienkościennych elementów obudów do profesjonalnych aparatów medycznych i przemysłowych. Koszt wdrożeniowy są umiarkowane, choć znacznie większe niż przy formowaniu jednostronnym. Koszt wdrożeniowy jest szybko kompensowany łatwością obróbki i insertacji detali. Detal obudowy wykonany w technologii QUADUR jest tańszy niż jednostronnie laminowany.

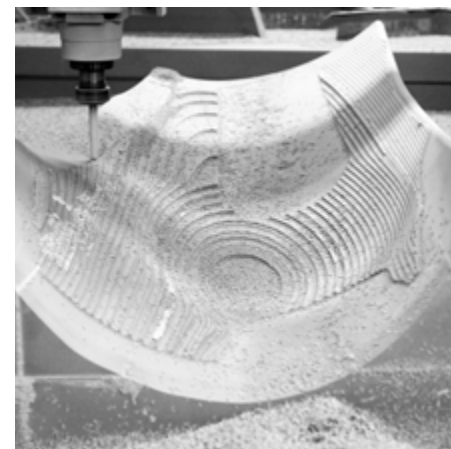
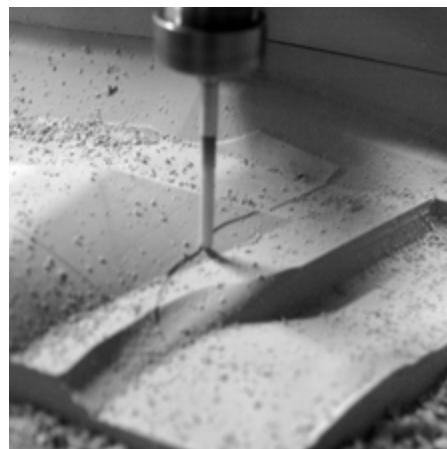
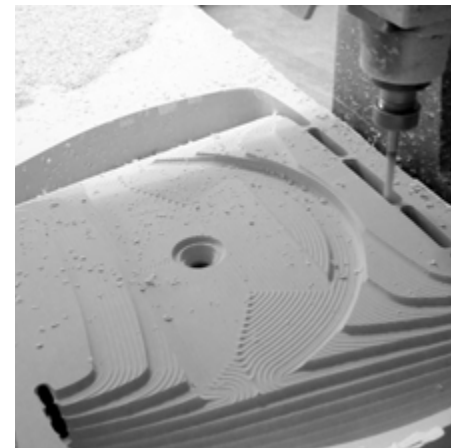
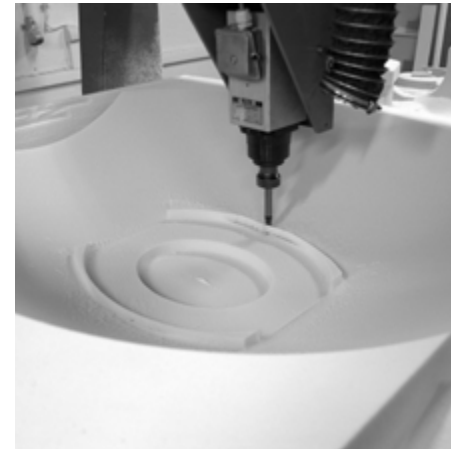
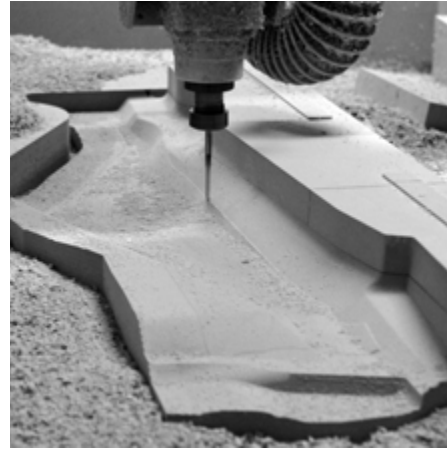
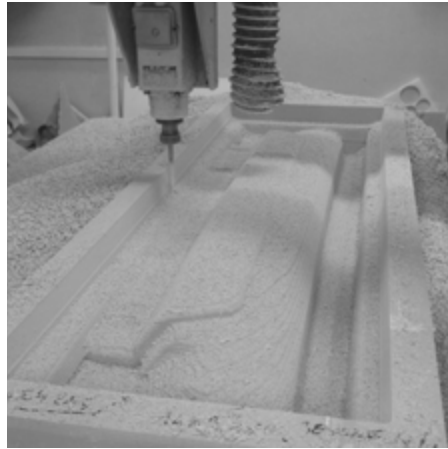
### — Techniki infuzyjne

Polegają na wstępnym ułożeniu warstw zbrojenia w formie, przykrycia formy folią lub silikonowa membraną, a następnie zassaniu żywicy do formy za pomocą pompy próżniowej. Taka metoda bardzo przyspiesza produkcję dużych elementów kompozytowych. Oprócz technik infuzyjnych, metody prasowania preimpregnatów stosowane są w przetwórstwie ultralekkich elementów epoksydowych na bazie włókien węglowych. Poziomu innowacyjności metod produkcji kompozytów, nie wyznaczają zakupione maszyny i urządzenia wspomagające produkcję, tylko poziom wiedzy o właściwościach dostępnej stosowanej chemii i innych surowców, połą-

czony z pomysłem i doświadczeniem w budowaniu linii technologicznej do produkcji niecodziennych produktów. Linie technologiczne zawsze są projektowane pod realizację konkretnych detali. Inowacja może objawić się w potaniu kosztów, albo w niecodziennych właściwościach mechanicznych, albo w niecodziennej odporności chemicznej, czy temperaturowej kompozytu, a podstawą jest zawsze know-how wynikający z B+R i doświadczenia wdrożeniowca. Firmy które stosują najprostrze metody przetwórstwa laminatów są dopiero na początku tej drogi. QUADUR wykonuje formy i szablony do obróbki, oraz projektuje kompletne linie technologiczne dla producentów laminatów. Prowadzi również doradztwo i szkolenia z zakresu know-how technologii kompozytowych.

### — Narzędzia używane do obróbki kompozytów i konglomeratów

Detale z laminatów poliestrowych czy epoksydowych można obrabiać ręcznie, przy użyciu najprostszyc narzędzi. Jednak jest to najbardziej kosztowna i najmniej dokładna metoda obróbki. W firmie Quadur stosowana jest numeryczna obróbka na maszynach CNC. Wszystkie detale są montowane w specjalnych uchwytach na stole frezarki numerycznej wyposażonej w program do obróbki konkretnego detalu. Obróbka trwa kilkadziesiąt sekund. W założeniach projektowych należy zawsze przewidzieć koszt czasu ustawienia uchwytu i justacji obróbki CNC. Ten koszt powinien się amortyzować w każdej serii obrabianych elementów. Jeżeli seria jest mała, to koszt ustawień frezarki pojawi się jako osobna pozycja na fakturze. Dlatego detale kompozytowe należy projektować z wielką dbałością o prostotę obróbki przy użyciu tradycyjnych, ogólnie dostępnych narzędzi. Wtedy i te „numeryczne” doskonale sobie poradzą.



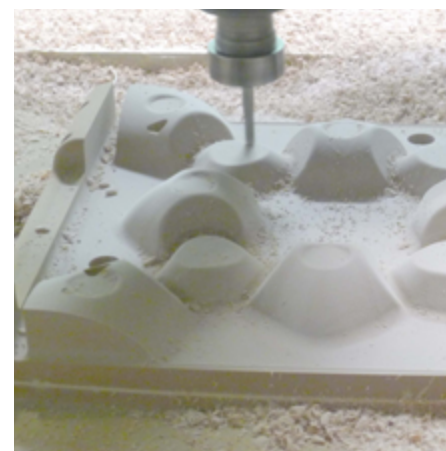
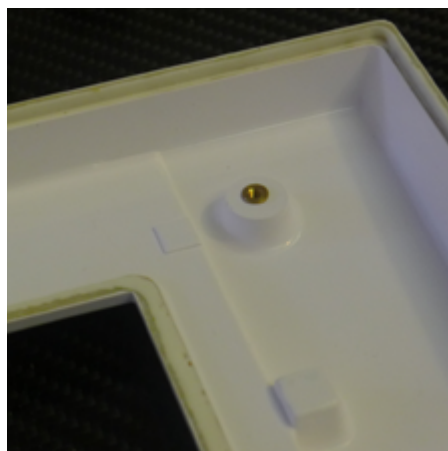
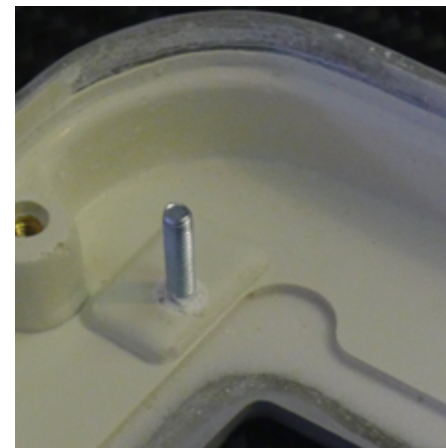
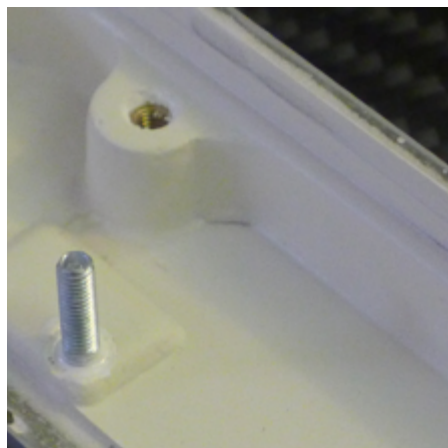
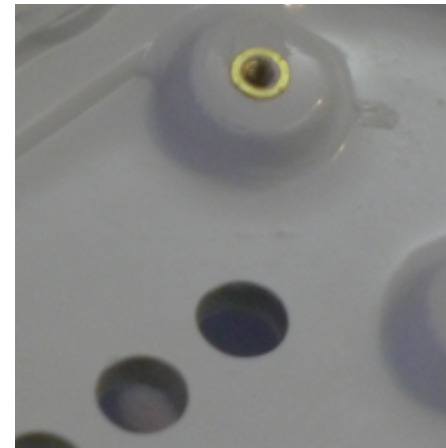
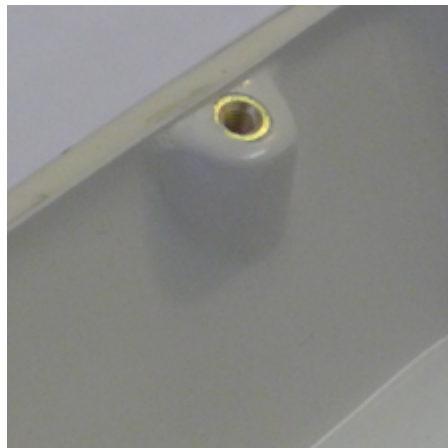


### — Ograniczenia obróbki oraz problemy insertacji detali z kompozytów

W technologii Quadur stosujemy rozmaite systemy mocowania elementów wewnętrznych oraz płytek PCB z elektroniką. Najprostsza i najbardziej efektywna ekonomicznie jest insertacja z gotowych, gwintowanych elementów wklejanych w obrobione metodą cnc gniazda obudowy. W technologii kompozytowej należy pamiętać by zaprojektować odpowiednie gniazdo, które powinno mieć min 200% średnicy insertu, a pod jego denkiem zostawiamy min 3 mm ścianki.

### — Narzędzia do efektywnej obróbki ręcznej i mechanicznej

Najbardziej efektywna jest obróbka detali na ploterach lub frezarkach CNC. Jednak nie wszystko da się tak wykonać. Ze względu na ich wiotkość, duże skorupy kompozytowe obrabiamy ręcznie w specjalnie do tego celu zaprojektowanych szablonach i prowadnicach. Do obróbki używamy zawsze frezów z powłoką diamentową lub w ostateczności węglkową. Projektując detale, należy pamiętać o tym, że efektywna obróbka otworów jest możliwa za pomocą freza średnicy 3 mm lub większej. Ten wymóg determinuje kształt narożników otworów. Obróbka frezami mniejszej średnicy też jest możliwa, ale znacznie wolniejsza, co generuje dodatkowe koszty produkcji.



## — Sposoby formowania detali z laminatów —

### — Laminowanie

Polega na układaniu w formie kolejnych warstw zbrojenia z włókien, przesączonych warstwa po warstwie żywicą. Taki detal formuje się przy pomocy wałów i pędzli „wklepując” laminat w zakamarki formy. Jest to najprostsza metoda formowania detali kompozytowych. Wadą jej jest niejednorodna powierzchnia wewnętrznej strony laminatu, a zaletą są niewielkie koszty wdrożeniowe.

### — Prasowanie

Polega na ułożeniu w formie przygotowanej wcześniej kształtki laminatu (pre-prega) i wciśnięciu jej do formy, przy pomocy specjalnego stempla. Taka metoda umożliwia produkcję detali o bardzo wysokiej zawartości włókien, a co za tym idzie detale mają wysokie parametry konstrukcyjne. Technologie prasowania rozwijają się najbardziej w przemyśle motoryzacyjnym. Coraz więcej elementów naszych samochodów jest produkowanych z kompozytów.

### — Infuzja

Polega na ułożeniu włókien (mat, tkanin) w formie, przykrycie formy specjalną folią lub membraną i zassaniu żywicy do formy przy pomocy pompy próżniowej. Jest to szybka metoda do formowania dużych elementów. Największy detal jaki zrobiono taką metodą to był 60 metrowy kadłub okrętu patrolowego dla rosyjskiej armii. Popularne na rynku detale to elementy karoserii, maszyn rolniczych, wanny przemysłowe, detale elewacyjne czy pokrycia dachowe w architekturze.

#### RTM (Resin Transfer Moulding)

Jest to przemysłowa metoda produkcji kompozytów. Polega nałożeniu zbrojenia w specjalnej formie, zamknięcie formy pokrywą (stemplem) i wtrysnięcie żywicy pod ciśnieniem, ze wspomaganie przepływu przy pomocy pompy próżniowej podłączonej z drugiej strony formy. Zaletą tej techniki jest bardzo szybki proces (kilkanaście minut + czas na żelowanie i odformowanie, oraz duża stabilność wymiarów detali.

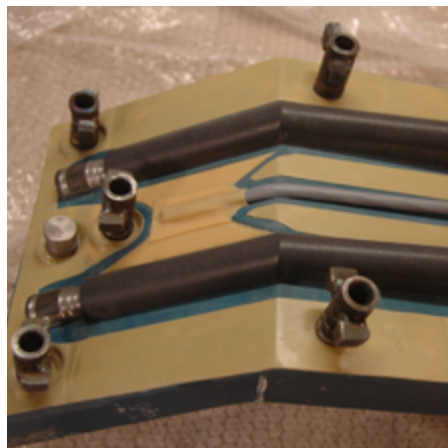
#### QUADUR (PRI – Precision Resin Iniektion)

To autorska metoda, która łączy zalety kilku pozostałych. Polega na iniekcji żywicy do zamkniętej formy z jednoczesnym prasowaniem detalu. Umożliwia formowanie cienkościennych, precyzyjnych laminatów o zadanych wcześniej właściwościach konstrukcyjnych, a nawet wielowarstwowych struktur przekładkowych typu „Sandwich”. Ta metodą możemy produkować laminaty i konglomeraty stosując pełny asortyment żywic (epoksydowe, poliestrowe, winyloestrowe czy poliuretanowe). Technologia Quadur jest rozwijana od pięciu lat, a w 2013 roku została finalistą prestiżowego konkursu Instytutu Wzornictwa Przemysłowego Dobry Wzór.



## — Sposoby formowania detali z konglomeratów polimerowych

Tu mamy do dyspozycji metody odlewania w zamkniętych lub w otwartych formach. Decyzję o wyborze metody zawsze należy oprzeć na informacji o planowanej skali produkcji, oraz rachunku kosztów produkcji. Sposób wykonania i trwałość formy należy zawsze dostosować do planowanej skali produkcji. Metodą odlewania konglomeratów produkowanych jest wiele wyrobów takich jak: umywalki, wanny, zlewozmywaki, figury ogrodowe, rzeźby, parapety. Do produkcji figur stosuje się formy wirowane z obrotem w trzech płaszczyznach w których płynna masa konglomeratu równomiernie rozlewa się po ściankach formy i żeluje.



## — Jak projektować detale kompozytowe? Systematyka specyfiki projektowania detali —

Zasada 1. Im większa skorupa tym projektujemy większe tolerancje montażowe. Ta konieczność wynika z tego, że duże gabaryty zwykle obrabiamy ręcznie, a więc najmniej dokładnie. W detalach mniejszych możemy zastosować obróbkę CNC i tolerancje opisane w normie IT 12-16.

Zasada 2. Projektując bryły należy zawsze pamiętać o tym, by każdy detal można było wyjąć z formy bez potrzeby jej dzielenia na kilka fragmentów. Forma dzielona zawsze powoduje zwiększenie kosztów produkcji detalu o kilkadziesiąt do kilkuset PLN za szt. Tyle czasu kosztuje rozkręcanie, czyszczenie i składanie formy, oraz wyszlifowanie rąbka odlewniczego na detalu. Takie detale wymagają dodatkowego (i kosztownego) lakierowania a czas życia form jest bardzo krótki. W dzielonych formach nie stosujemy techniki infuzyjnej ani RTM czy technologii Quadur.

Zasada 3. Typografia na maszynach CNC. Podczas projektowania ornamentów, logotypów 3D czy napisów należy stosować krój pisma przyjazny do frezowania CNC. Minimalna średnica freza może mieć 1 mm i takie promienie należy zaprojektować w narożnikach znaków. Poniżej tego wymiaru musimy już zastosować kosztowne (pewolne) grawerowanie. Intarsje i kolory Zawsze robimy w postaci nakładek wykonanych w osobnym procesie i wklejonych do dopasowanego cyfrowo dołka w głównej skorupie, lub w postaci detali wklejanych w otwór wycięty w skorupie nośnej. Możliwe jest także grawerowanie powierzchni laminatu na maszynie CNC i wypełnienie bruzd żelkotem o innej barwie niż skorupa nośna. Wiąże się to jednak ze wzrostem pracochłonności i kosztach wytworzenia detali.





### Jakie kompozyty dla kogo?

Dla branży motoryzacyjnej projektujemy kompozyty poliestrowo-szklane i odporne na temperaturę 110oC winyloestrowo-szklane, z 30% zawartością uniepalniaczy. Pojazdy sportowe wymagają na ogół lekkich elementów epoksydowo-węglowych.

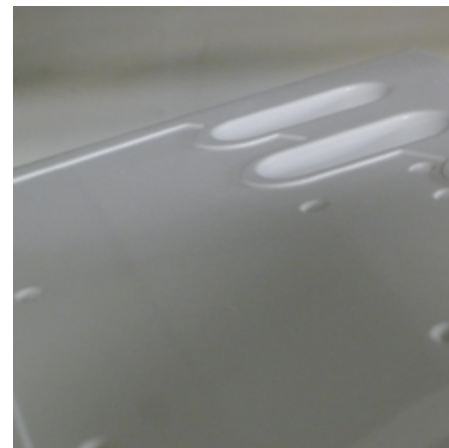
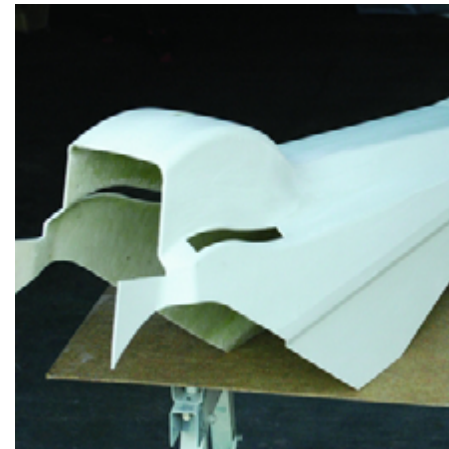
Dla przemysłu maszynowego projektujemy osłony maszyn i urządzeń.

Dla przestrzeni publicznej projektujemy obiekty odporne na wandalizm, promieniowanie UV i inne czynniki atmosferyczne. Muszą być uniepalnione, łatwe do utrzymania w czystości. Są to systemy oświetleniowe, ławki i siedziska, gazony i kwietniki, infokioski, systemy nośników reklamy itd.



Dla kolejnictwa zaprojektujemy kompozyty poliestrowo-szklane z dużą zawartością uniepalniaczy, oraz w konstrukcjach osłon czołowych kabin lokomotyw, kompozyty epoksydowo-węglowe z dodatkiem włókien aramidowych. Wszystkie elementy karoserii i wyposażenia pociągów muszą przejść specyficzne testy niepalności podczas których bada się nie tylko stopień uniepalnienia, ale i zawartość toksyn w emitowanych gazach (test na pożar w tunelu).

Dla branży kosmetycznej projektujemy obudowy do aparatów kosmetycznych.



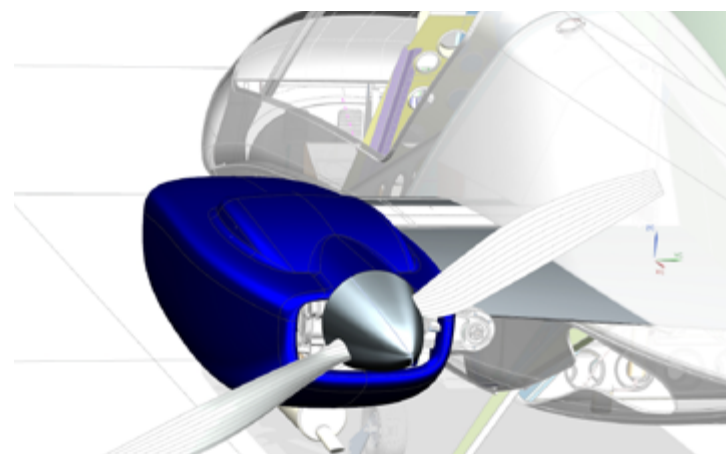
Dla branży medycznej projektujemy mało szczelin, łagodne promienie, antyseptyczne żelkoty. Obudowa musi być odporna na zalewanie wodą oraz na uderzenie metalowej kuli średnicy 5 cm zrzucanej na obudowę z wysokości 100 cm. Musi być wykonana z materiałów bionieaktywnych.



przykłady 3b



Dla lotnictwa projektujemy kompozyty epoksydowo-węglowe z min. 30% zawartością bezhalogenkowych niepalniaczy. Poszycie maszyny latającej musi przejść test ogniowy w którym z odległości 5 cm przez siedem minut atakujemy laminat płomieniem gazowym o temperaturze 1100°C. Ogień nie może się rozprzestrzeniać.



**przykłady 3b**

### Zasady konstruowania brył wyrobów z laminatów i konglomeratów.

Jak wspominałem wcześniej, detale projektujemy tak, by łatwo można było je odformować. Podział projektowanej bryły na poszczególne detale jest równie ważny jak projekt ich montażu. Projektowanie skomplikowanych brył, o ujemnych pochyleniach, świadczy na ogół o brakach kompetencyjnych dizajnera, a go gorsza o nie liczeniu się z kosztami późniejszej produkcji seryjnej. Stylistę od projektanta odróżnia przede wszystkim kompetencja w zakresie konstrukcji i produkcji seryjnej produktu. Projekt zawsze powinien uwzględniać sposób produkcji detali w technologii stosowanej przez wytwórcę. W przypadku produkcji kompozytowych, rozwiązania wymuszające produkcje w dzielonych formach mogą być akceptowane tylko w szczególnych warunkach, w których uzyskany efekt jest wart znacznie więcej, niż koszt jego wytworzenia.

Zasada 4. W pragmatycznej praktyce projektowej, lepiej jest zaprojektować kilka detali sklejonych w jedną całość, niż produkcję, która wymusza pracę z dzielonymi formami.

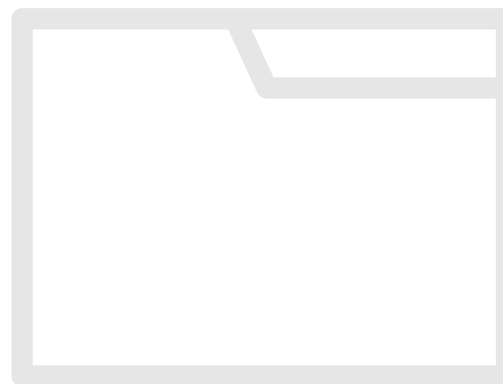
Technologia QUADUR pozwala na produkcję nawet bardzo złożonych struktur kompozytowych i daje projektantowi bardzo dużą swobodę. Dzięki dokładnemu sparametryzowaniu procesu technologicznego QUADUR, projektant bardzo szybko dostaje informację o kosztach wdrożeniowych i produkcyjnych projektowanych elementów. Ważne jednak jest to, by konsultował się w trakcie pracy, a nie dopiero po jej zakończeniu, gdyż często niewielkie korekty geometrii lub podziałów bryły na etapie koncepcyjnym, skutkują redukcją kosztów wdrożeniowych pracochłonności oraz kosztów produkcji. W Quadurze zawsze pomagamy w optymalizacji projektu.



## Różnice w projektowaniu detali z konglomeratów i laminatów

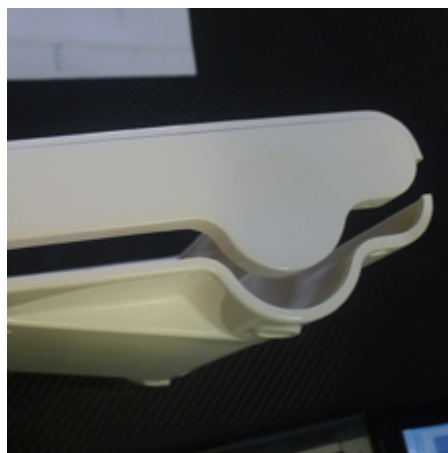
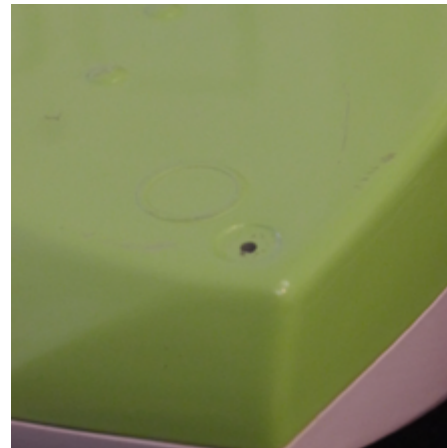
Zasada 5. Konglomeraty, jak to wynika z ich natury, nie są tak mocnym materiałem jak kompozyt zbrojony włóknami szklanymi czy węglowymi. Są to odlewy, do których możemy dodać krótko cięte włókna jako zbrojenie rozproszone. Są jednak o wiele bardziej kruche i mniej odporne na udary. W zależności od zastosowanej żywicy mogą mieć różną lepkość. Projektując detale z konglomeratów musimy pamiętać, że im większa lepkość surowca, tym większą powinniśmy zrobić grubość ścianek. W wąskie szczeliny gęsty konglomerat po prostu nie wpłynie. Takie parametry zawsze należy konsultować z technologiem. Do procesów odlewania projektujemy ścianki o grubości od 7mm do kilkunastu milimetrów. Zbyt duża masa wywoła efekt egzotermiczny podczas żelowania konglomeratu, który to efekt, w skrajnych przypadkach może doprowadzić nawet do przegrzania i destrukcji odlewu. Zbyt cienka ścianka spowoduje niedolania niektórych obszarów detalu. (żywica ma dużą lepkość i trudno migruje w ciasnych przestrzeniach. Przy produkcji laminatów zalecane jest takie kształtowanie zagłębień i narożników bryły, by można było łatwo ułożyć na nich warstwy zbrojenia. Włókna mają swoją naturalną sprężystość i źle leżą w ostrych pachwinach, czy na ostrych wierzchołkach przyzmy. Ostre krawędzie powodują defekty skurczowe (zwłaszcza widoczne przy detalach poliestrowych) objawiające się drobnym pofałdowaniem powierzchni przy krawędziach skorupy. Dzieje się tak, ponieważ narożnik odskakuje od powierzchni formy na skutek kurczenia się materiału i dalszy proces żelowania dzieje się już „w powietrzu”. Pofalowania psują efekt estetyczny, a by je usunąć, wymagają szlifowania i polerowania.

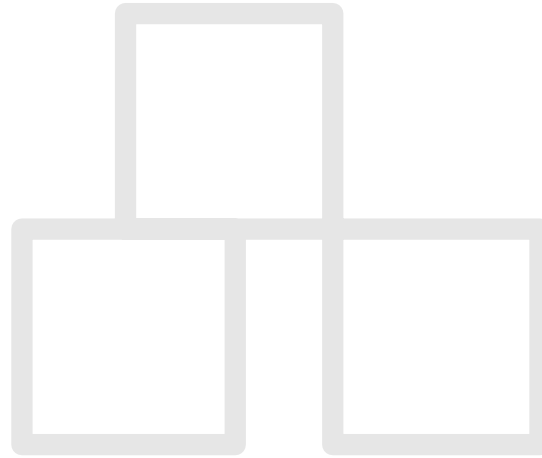
Zasada 6. Dobór metody wytwarzania do przewidywanej skali produkcji. Zasadą jest, że im więcej pieniędzy przeznaczymy na wykonanie narzędzi i linii technologicznej do produkcji seryjnej, tym mniej będzie potem kosztował wyprodukowany detal. Kompetencją projektanta i wdrożeniowca jest dostosowanie metody produkcji do oczekiwań wynikających z biznes planu inwestora. Zdarza się czasem, że nasz inwestor nie sprecyzował parametrów ekonomicznych w briefie do projektowania. Wtedy należy uzyskać konkretną deklarację jaka będzie ilość produkowanych detali w czasie. Bez tej informacji nie dostosujemy projektu do ekonomiki i skali produkcji.



— Projektowanie sposobów łączenia części z laminatów i konglomeratów

Już na etapie konceptu obudowy czy osłony musimy pamiętać, że ktoś kiedyś będzie musiał złożyć ze sobą wszystkie elementy i poskręcać je w jedną całość. Projekt systemu montażowego musi być nadrzędny w stosunku do projektu wzorniczego. Odwrócenie tej kolejności zawsze spowoduje pojawienie się punktów montażowych w miejscach których się dizajner nie spodziewał. System montażu powinien być projektowany w ścisłej współpracy z technologiem, który podpowie jak, czym i którym miejscu należy detale łączyć ze sobą w sposób efektywny ekonomicznie.





#### — Odlewy poliuretanowe – zasady i możliwości —

##### — Pianki miękkie

Szeroka gama gąbek o różnej wielkości pęcherzyka. Zamawiamy odpowiednio zaprojektowane zestawy o z góry zadanej twardości. Lekkie pianki możemy produkować w lekkich formach o konstrukcji zbliżonej do gofrownicy. Pianki o większej gramaturze i twardości, wymagają solidnej, szczelnej formy z odpowiednimi odpowietrzaczami i pozycjonerami. Pianki tapicerskie spieniane są w dużych blokach, a potem cięte na płyty o różnej grubości.

##### — Pianki strukturalne

Produkowane są różnej gramaturze, od superlekkich stosowanych w opakowaniach do gęstych, stosowanych w przemyśle i budownictwie. W takich pianek można wykonać ocieplenie budynku, ale też i obudowę tomodografu czy innych gabarytowych maszyn i urządzeń.

#### — Odlewy

Są to tworzywa odlewane w masie. Produkujemy z nich duży asortyment obudów, kształtek konstrukcyjnych, detali technicznych. Po wzmocnieniu ich ciętym włóknem szklanym lub węglowym można wykorzystać je do produkcji zderzaków i detali osłonowych w przemyśle samochodowym. Są też stosowane do produkcji błotników i pokryć dachów. Mają wielką przewagę nad technologią wtrysku wysokociśnieniowego, ponieważ zalewanie form odbywa się przy bardzo niskim ciśnieniu rzędu 1 – 1,5 atmosfery, więc formy mają bardzo prostą budowę.

#### — Elastomery

Są to różnej twardości elastyczne, poliuretanowe „gumy”. Produkujemy z nich np. obijacze, uszczelki.

#### — Silikony

Mają bardzo zbliżone do elastycznych poliuretanów właściwości mechaniczne, pomimo innego składu chemicznego. Silikony występują na rynku w postaci dwuskładnikowych żywic o różnej twardości w skali Shore A.

Powyższy zbiór zasad i podane przykłady, zostały opracowane specjalnie dla projektantów i konstruktorów, którzy chcą zastosować materiały kompozytowe w projektowanych przez siebie produktach. Należy jednak pamiętać, że Technologia Quadur ogarnia tylko fragment możliwości formowania tych materiałów. Jednak zawsze, gdy zabierasz się za projektowanie w tym obszarze, najlepiej już pierwsze koncepty konsultuj z zespołem wdrożeniowym. W Polsce jest ponad półtora tysiąca firm, które produkują detale z kompozytów. Każda z nich dysponuje własnym know-how, które przekłada się na „kryteria wejścia” dokumentacji projektu do realizacji. Jedni rzeźbią modele ręcznie a formy laminują, inni pracują w systemach CAD/CAM/CNC, a formy budują z betonów polimerowych. Jako projektant zawsze znajdziesz odpowiednią firmę do realizacji swoich założeń. Jednak w firmie Quadur znajdziesz pełne wsparcie i edukację w zakresie potrzebnym do efektywnej realizacji Twojego projektu.

[www.quadur.pl](http://www.quadur.pl) [www.sobierajski.pl](http://www.sobierajski.pl)

QUADUR Design Manual opracował Zdzisław Sobierajski.  
[www.Sobierajski.pl](http://www.Sobierajski.pl)

Zdzisław Sobierajski - jest przedsiębiorcą z 25 letnim stażem. Pracuje z projektantami i przemysłem, tworząc zespoły projektowo wdrożeniowe [www.sobierajski.pl](http://www.sobierajski.pl). Prowadzi program stypendialny dla młodych projektantów [www.polyesterdesign.com](http://www.polyesterdesign.com). Produkty opracowane pod jego kierunkiem trzykrotnie zdobyły tytuł Rad Dot winner oraz zyskały nominacje do German Design Award. Kapituła Design Alive Awards przyznała mu wyróżnienie w kategorii Strateg 2012 roku, za traktowanie wiedzy o designie jako integralnego elementu rozwoju produktu. W marcu 2013, z rekomendacji Urzędu Patentowego RP, został wyróżniony przez World Intellectual Property Organization nagrodą WIPO Award for Innovative Enterprises. W grudniu 2013 odebrał wyróżnienie w konkursie Design Management Europe Award. Od kwietnia 2015 jest ekspertem PARP i NCBiR w zakresie materiałów kompozytowych i tworzyw sztucznych, oraz wdrażania wzornictwa przemysłowego i usług w firmach sektora MŚP. Jest propagatorem dizajnu produktowego. Prowadzi warsztaty z budowania relacji projektantów i przedsiębiorców.

