



## Charakterystyka procesu projektowania inżynierskiego na przykładzie modelu zderzaka samochodowego

E. Ziaja<sup>a</sup>, T. Tański<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studentka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
email: ek.ziaja@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email: tomasz.tanski@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono proces projektowania inżynierskiego na podstawie projektu zderzaka samochodowego. Przeanalizowano każdy z etapów projektowania: projektowanie konstrukcyjne, materiałowe oraz technologiczne ze wskazaniem na najważniejsze parametry i dane wejściowe do projektowania. Na podstawie projektu zderzaka samochodowego można zauważyć jak ważny jest każdy z etapów projektowania dlatego powinny być ze sobą wzajemnie zależne i optymalizowane jako całość gdyż tylko w taki sposób można uzyskać wyrób o pożądanych własnościach i jakości.

**Abstract:** This article presents the engineering design process based on the design of the car bumper. We analyzed each of the stages of design: construction design, material design and technology design, with an indication of the most important parameters and input data for design. On the basis of automotive bumper design can be noted how important each of the stages of design, so these must be mutually dependent with each other and optimized as a whole, because only in such a way to obtain a product having the desired properties and quality.

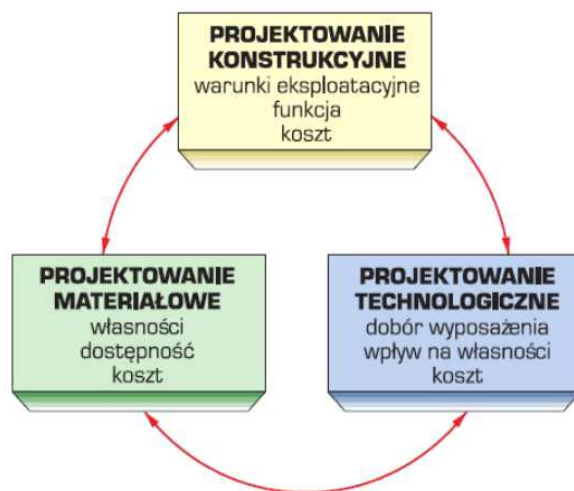
**Słowa kluczowe:** projektowanie inżynierskie, projektowanie materiałowe, polipropylen, EPDM, tworzywa sztuczne w branży automotive

### 1. WSTĘP

Istnieje powszechne przekonanie, że projektowanie obejmuje tylko tworzenie koncepcji i dokumentacji konstrukcyjnej gotowego wyrobu, a tak na prawdę jest to tylko jeden z kilku podstawowych członów składających się na proces projektowania inżynierskiego. Projektowanie inżynierskie można podzielić na trzy podstawowe odmiany:

- projektowanie konstrukcyjne,
- projektowanie materiałowe,
- projektowanie technologiczne.

Każdy z wyżej wymienionych etapów projektowania jest równie ważny, ponieważ źle zaprojektowana konstrukcja, niewłaściwa interpretacja technologii czy niepoprawny dobór materiału skutkuje w efekcie końcowym wyrobem niezgodnym.



Rysunek 1. Składowe projektowania inżynierskiego [1]

Figure 1. Components of engineering design [1]

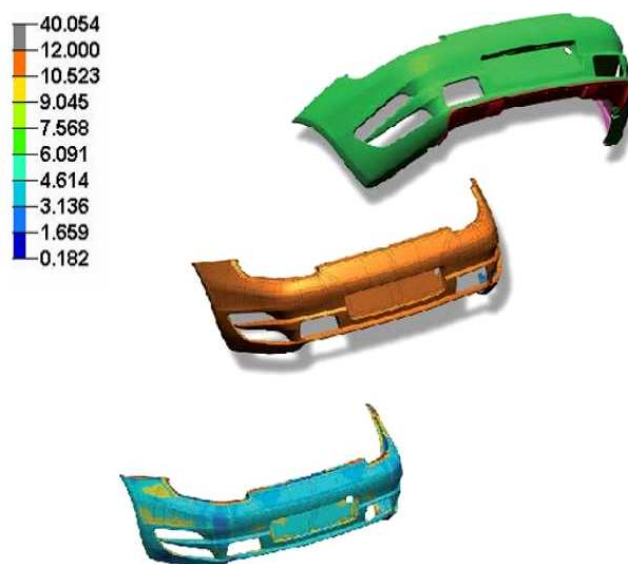
Z rysunku 1 wynika że proces projektowania inżynierskiego należy rozpatrywać w szerokiej perspektywie. Nie można skupić się tylko na jednym aspekcie projektowania. Można zauważyć że analizy i wnioski z każdego etapu projektowania są jednocześnie danymi wejściowymi (założeniami) do kolejnego etapu, dlatego tak ważne jest przygotowanie do procesu projektowania czy to materiałowego czy konstrukcyjnego czy technologicznego. Przed przystąpieniem do jakichkolwiek działań projektowych należy precyzyjnie określić wymogi i kryteria jakie musi spełnić gotowy wyrób. W tym celu analizuje się warunki pracy gotowego elementu, środowisko w jakim będzie się znajdował w trakcie eksploatacji, prognozuje się przybliżony cykl życia produktu i dopiero gdy wszystkie z tych parametrów są znane przystępuje się do formułowania głównych założeń projektowych. Części wykorzystywane do budowy nadwozia samochodu tj. progi, listwy, zderzaki, nadkola, elementy ozdobne, narażone są na działanie czynników atmosferycznych tj. silne działanie promieni słonecznych powodujących starzenie się tworzywa, jego kruchość i utratę koloru, opady, mróz, wysokie i niskie temperatury powodujące odkształcenia i osłabienie tworzywa, zanieczyszczeń znajdujących się na drogach, smarów i olejów.

Projektant podczas projektowania elementów z tworzywa sztucznego, podobnie jak w przypadku innych materiałów, bierze pod uwagę odpowiednie własności mechaniczne i technologiczne, jakie muszą spełniać dane części, w przypadku zderzaków samochodowych najważniejszą jest wytrzymałość i zapewnienie bezpieczeństwa podczas wypadku, dotyczy to głównie elementów, które dawniej wykonywane były z blachy stalowej, a teraz zastępowane są tworzywami. Przewagą elementów z tworzyw sztucznych nad elementami stalowymi bądź z innych materiałów stosowanych na elementy poszycia samochodów jest ich lekkość i podatność na obróbkę plastyczną. Jednak każde tworzywo lub mieszanina polimerowa, posiada inne, charakterystyczne własności, dlatego istotnym jest odpowiedni dobór materiałów do danego elementu by w pełni mógł spełniać swoją rolę.

## 2. PROJEKTOWANIE KONSTRUKCYJNE

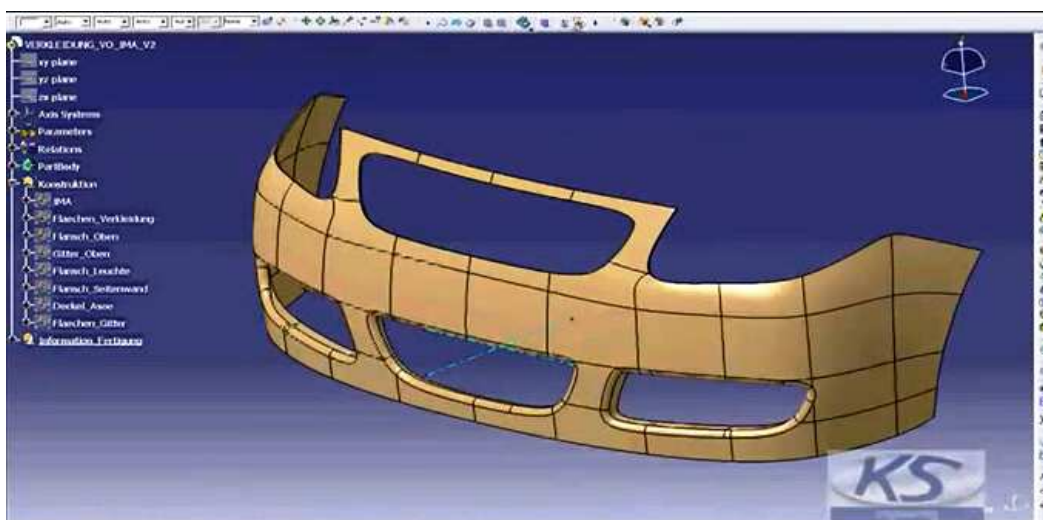
Głównym celem projektowania konstrukcyjnego jest opracowanie kształtu i cech geometrycznych wyrobu w taki sposób by spełniał on swoje zadanie. W przypadku zderzaków samochodowych szczególny nacisk kładzie się na ich wytrzymałość, zdolność do pochłaniania energii w czasie wypadku, aerodynamikę kształtu. W dzisiejszych czasach projektanci mogą wspierać się techniką komputerową w procesie projektowania znacząco ułatwiającą i przyspieszającą ich prace. Jeszcze nie tak dawno nie było możliwe by zobaczyć postać gotowego wyrobu bez stworzenia prototypu lub modelu rzeczywistego. Obecnie przy użyciu odpowiednich narzędzi CAD/CAM można stworzyć wirtualny model 3D, poddać go wstępnej analizie, zasymulować wiele czynników mających miejsce w trakcie eksploatacji gotowego produktu, przeprowadzić analizę wytrzymałościową i wiele innych (rys. 2 i 3). Jeszcze nie tak dawno wszystkie te działania nie były możliwe do wykonania w tak łatwo dostępny sposób. Proces projektowania odbywał się na tzw. desce, wszelkie analizy wytrzymałościowe były wykonywane przy pomocy skomplikowanych narzędzi obliczeniowych przez inżynierów muszących wykazać się olbrzymią wiedzą z dziedziny wytrzymałości materiałów.

Producenci aplikacji do projektowania prześcigają się w możliwościach jakie oferują ich produkty. Często program do modelowania 3D wyposażony w określony moduł dedykowany do projektowania elementów z danej gałęzi przemysłu staje się niezastąpionym narzędziem wspomagającym proces projektowania. Wiele firm obecnie opiera swój proces projektowania tylko na aplikacjach 3D. Niemniej jednak są również takie, które wciąż opierają się na aplikacjach do projektowania 2D, ponieważ nie wszędzie konieczne jest modelowanie 3D. Obecnie trudno wyobrazić sobie funkcjonowanie nowoczesnego biura projektowego, które nie korzysta z nowoczesnych aplikacji 3D. Powszechne stało się wykorzystywanie narzędzi CAD/CAM w procesie projektowania konstrukcyjnego, znacząco przyspieszyły i ułatwiły one działanie biur projektowych.



Rysunek 2. Analiza naprężeń wewnętrznych i optymalizacja kształtu zderzaka w programie do projektowania 3D [7]

*Figure 2. Stress analysis and optimization of internal shape of the bumper in the program for 3D design [7]*

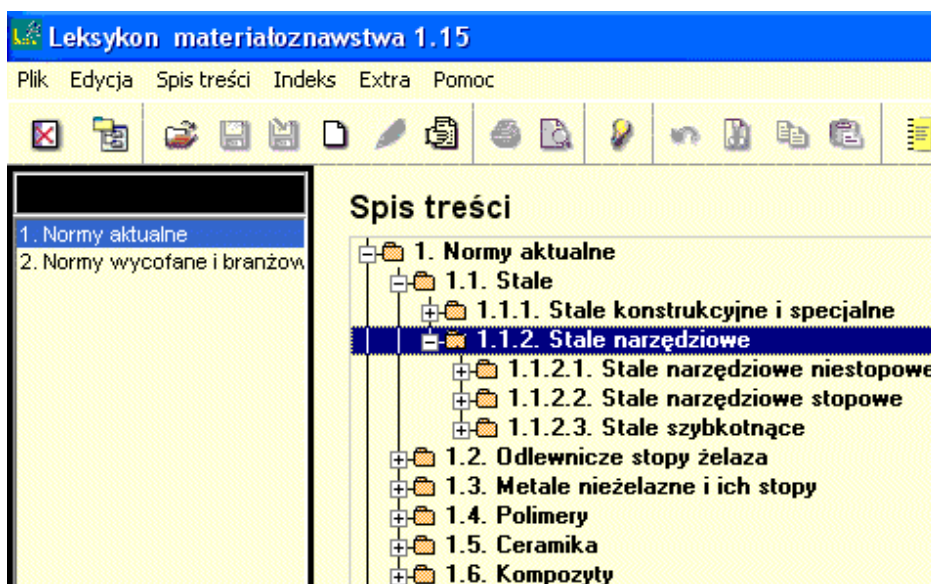


Rysunek 3. Modelowanie bryły zderzaka w programie Catia V5 [8]

Figure 3. Solid modeling of the bumper in the Catia V5 [8]

### 3. PROJEKTOWANIE MATERIAŁOWE

Odpowiedni dobór materiałów jest nieodłączną częścią projektowania inżynierskiego. Nawet najlepszy projekt konstrukcyjny nie będzie spełniał stawianych mu wymogów użytkowych gdy będzie wykonany z nieodpowiedniego materiału. W takim przypadku może nie spełniać określonych kryteriów wytrzymałościowych i technologicznych. Może również się okazać, że wykonanie danego elementu z wybranego materiału jest niemożliwe ze względu na skomplikowany proces wytwarzania lub ograniczenia materiałowe jak np. niska lejność, obniżona odporność na kruche pęknięcie, obniżona temperatura degradacji.



Rysunek 4. Przykładowy program wspierający proces projektowania materiałowego [9]

Figure 4. An example of a program to support the material design process [9]

Zagadnienia mechaniki, wytrzymałości materiałów czy innych nauk pokrewnych są już dobrze poznane, jednak nowe materiały pojawiają się cały czas, co otwiera wiele nowych możliwości w dziedzinie projektowania innowacyjnych wyrobów jak i modyfikowania i ulepszenia istniejących. Projektanci mają do dyspozycji bardzo szeroki zakres materiałów: począwszy od metali i ich stopów, poprzez ceramikę i polimery, a skończywszy na kompozytach. Ponadto każda z wymienionych grup materiałów stanowi osobny zbiór materiałów, z których największy zbiór stanowią polimery. Każda z wymienionych grup posiada bardzo szerokie spektrum własności, które w danym zastosowaniu mogą być pożądane lub nie, ważne jest by projektanci zdawali sobie z nich sprawę, by móc uniknąć błędu przy doborze materiału do konkretnego zastosowania. Z uwagi na szybki rozwój dziedziny materiałoznawstwa projektowanie materiałowe staje się łatwiejsze przez dostęp do coraz bardziej rozbudowanych leksykonów i kart materiałowych. Przyjmuje się, że obecnie poznanych jest dwa razy więcej materiałów inżynierskich niż 20 lat temu, dlatego osoby zajmujące się projektowaniem materiałowym często wspierają się programami komputerowymi opartymi na obszernych bazach danych zawierających możliwe zastosowania i własności materiałów (rys. 4). Programy te pomagają na podstawie odpowiednio sformułowanego zapytania wskazać kilka materiałów spełniających określone kryteria.

#### 4. DOBÓR MATERIAŁU NA ZDERZAK SAMOCHODOWY

W branży motoryzacyjnej z roku na rok wzrasta udział zastosowania elementów wykonanych z tworzyw sztucznych. Dotychczas najczęściej spotykanymi częściami z tworzyw sztucznych były listwy ozdobne, deski rozdzielcze i inne drobne elementy, dziś polimery bardzo często stosowane są w elementach, które dawniej były zarezerwowane tylko dla blach stalowych lub aluminiowych, bądź innych materiałów tj. maski samochodów, drzwi, elementy silnika i podwozia. Obecnie obowiązujące trendy w motoryzacji zmuszają producentów do łączenia materiałów np. stal, aluminium, polimery. Dotychczas stosowane konstrukcje stalowe zastępowane są bardzo często wysoko wytrzymałościowymi, lżejszymi ich odpowiednikami, tj. stopy aluminium, stopy magnezu, polimery celem obniżenia masy wytwarzanych z nich pojazdów, a co za tym idzie poprawy osiągnięć takich konstrukcji jezdnych.

Tworzywa na elementy wyposażenia samochodu muszą spełniać określone kryteria wytrzymałościowe i technologiczne. Najważniejszym kryterium jest zapewnienie bezpieczeństwa podczas zderzenia, materiał musi być odpowiednio wzmocniony i sprężysty, by podczas wypadku pochłonąć część energii i nie narazić na dodatkowe niebezpieczeństwo użytkowników pojazdu. Ze względu na różne role jakie spełniają elementy z tworzyw sztucznych w pojazdach, stosowanych jest kilkanaście rodzajów polimerów i kopolimerów (tab. 1), do produkcji zderzaków i elementów ozdobnych na zewnątrz samochodu stosowane najczęściej jest PP/EPDM. Jest to mieszanina polipropylenu i gumy EPDM posiadająca zbiór pożądanych własności stawianych materiałom do produkcji zderzaków. W celu przybliżenia opisanych materiałów wchodzących w skład PP/EPDM poniżej znajduje się ich krótka charakterystyka.

Polipropylen charakteryzuje się najmniejszą gęstością spośród stosowanych polimerów, wysoką odpornością chemiczną, niską absorpcją wody. Jest bezwonny, bezbarwny i palnym materiałem. Przetwórstwo PP wykonuje się metodami wtryskiwana, wytłaczana, wytłaczania z rozdmuchem, termoformowania i formowania próżniowego, można go również spawać, zgrzewać i metalizować [2,3].

Tablica 1. Wykaz najczęściej stosowanych tworzyw sztucznych w przemyśle motoryzacyjnym [12]

Table 1. List of the most widely used plastic in the automotive industry [12]

Skrót	Nazwa chemiczna	Elementy pojazdu
EPDM	terpolimer z etylenu, propylenu i dienu	zderzaki, spojłery
PP	polipropylen	zderzaki, spojłery, klosz reflektorów przednich, listwy zderzaków, obudowa kierunkowskazów bocznych
ABS	kopolimer styren-akrylonitryl-butadien	osłony kół, obudowy lusterek, spojłery przednie i tylne, kierunkowskaz przedni, nakładki drzwi tylnych, atrapa przednia
PA	poliamid	osłony kół, kłapki wlewu paliwa
PC	poliwęglan	okładziny amortyzatorów, kratki chłodnicy, obudowa reflektora
PPO	politlenek fenylu	elementy karoserii, np. błotniki, tylna kłapa
SAN	kopolimer styren-akrylonitryl	kratki chłodnicy, spojłery przednie i tylne
PU	poliuretan	elementy amortyzatorów, spojłery tylne, zderzaki
PBT	politereftalan butylenu	elementy karoserii, np. błotniki, tylne kłapy, klamki drzwi
UP	poliester nienasycony	tylne kłapy, naczepy samochodów ciężarowych, elementy samochodów sportowych
EP	żywica epoksydowa	elementy samochodów wyścigowych
PVC	polichlorek winylu	listwy zderzaków, plandeki, osłony szyb, rynna dachu
PS	polistyren	korpusy, spojłery
PE	polietylen	chłapacze, osłona boczna
PMMA	polimetakrylan metylu	obudowa kierunkowskazów

PP – własności mechaniczne [6]:

- udarność: 11 mJ/mm<sup>2</sup>,
- twardość wg Shore'a: 70,
- naprężenie przy granicy plastyczności: 30 N/mm<sup>2</sup>,
- rozciąganie przy granicy plastyczności: ≥8%,
- wydłużanie przy zerwaniu: >50%,
- moduł E przy próbie rozciągania: ≥950 N/mm<sup>2</sup>.

EPDM jest polimerem etylenu, propylenu i niewielkiej ilości dienu. Cechuje się wysoką sprężystością i większą odpornością na starzenie atmosferyczne niż SRB czy kauczuk naturalny, a także wysoką odpornością na ozon i czynniki atmosferyczne.

Charakteryzuje się kolorem czarnym, gęstością 1,4÷1,5 g/cm<sup>3</sup> zakresem temperatur dla pracy ciągłej kopolimeru -50°C do + 150°C [5,6].

Własności EPDM-u [6]:

Charakteryzuje się odpornością na:

- gorącą wodę i parę wodną,
- płyny hamulcowe,
- trudnopalne płyny hydrauliczne (HSC, HSD),
- glikol,
- aceton,

- estry i etery małowcząsteczkowe,
- ketony,
- roztwory mydła i środki piorące,
- środki chłodnicze,
- roztwory kwasów i zasad.  
Cechuje go brak odporności na:
- węglowodory alifatyczne, aromatyczne (toluen, ksylen) i chlorowane,
- kwasy nieorganiczne,
- oleje i smary mineralne,
- benzynę.

#### 4. PROJEKTOWANIE TECHNOLOGICZNE

Dobór odpowiedniego materiału inżynierskiego to dopiero połowa sukcesu w projektowaniu. Nawet najlepszy materiał bez odpowiedniej technologii może nie spełnić stawianych mu wymagań, dlatego tak ważne jest aby odpowiednio dobrać parametry technologiczne każdego z rodzajów odróbki. Bez względu na rodzaj zastosowanej technologii wytwarzania lub obróbki materiałów, należy pamiętać o prawidłowym doborze parametrów procesu technologicznego dostosowanych do wybranego materiału. Tą dziedziną projektowania zajmuje się projektowanie technologiczne. Na tym etapie dobierane są parametry technologiczne na podstawie wiedzy technologów, ogólnych parametrów obróbki danego materiału a często metodami prób i błędów. Proces projektowania technologicznego można uznać za zakończony gdy produktem końcowym jest element spełniający wszystkie wymagania sformułowane w danych wejściowych do projektu. Oczywiście nie możliwe jest uzyskanie takiego efektu samym projektowaniem technologicznym. Istotną rolę odgrywają tu też wcześniej opisane odmiany projektowania, które dopiero łącznie stanowią odpowiedni cykl projektowania gotowych wyrobów.

Elementy z tworzyw sztucznych w przemyśle motoryzacyjnym, w tym zderzaki samochodowe, najczęściej wytwarzane są metodą formowania wtryskowego. Proces technologiczny wraz z lakierowaniem trwa około 3÷3,5 godziny w zależności od gabarytów produkowanych części. Na każdym z etapów procesu przeprowadzana jest kontrola jakości potwierdzająca zgodność wypraski ze standardem. Najważniejsza jest kontrola finalna produktu, która ma zapewnić najwyższą jakość i pełną zgodność ze standardem określonym przez klienta.

Procesem wtryskiwania wytwarza się wyroby o masie od 0,1 kg do 70 kg i jest to proces cykliczny. Polega ono na nagrzeniu tworzywa w postaci granulatu bądź drobnej krajanki do stanu płynnego i wtrysnięciu go przez dyszę i tuleję wtryskową pod wysokim ciśnieniem do zimnej formy o kształcie wyrobu końcowego. Tworzywo po zestaleniu zostaje usunięte z wnętrza gniazda formującego [4,7].

Wtryskiwanie tworzyw sztucznych jest technologią złożoną ze względu na specyficzne własności polimerów. W porównaniu do odlewania ciśnieniowego, które jest procesem mechanicznym, wtryskiwanie to proces mechaniczno-fizyczny, w którym uzyskuje się wypraskę o określonym kształcie oraz strukturze zależnej od sposobu płynięcia tworzywa i jego zestalania. Powyższe procesy zachodzą w gnieździe formującym dlatego osoba odpowiedzialna za projekt technologiczny, poza własnościami mechanicznymi musi wziąć pod uwagę również fizyczne zmiany tworzywa takie jak skurcz czy anizotropia.

Do najważniejszych parametrów wtryskiwania należą [4,11]:

- temperatura wtryskiwanego materiału,
- ciśnienie wtryskiwania materiału,

- czas trwania docisku materiału w formie,
- temperatura formy wtryskowej.

#### 4. WNIOSKI

Przez projektowanie inżynierskie należy zrozumieć połączenie projektowania konstrukcyjnego, materiałowego i technologicznego. Bardzo często powielanym przez konstruktorów błędem jest oddzielne traktowanie poszczególnych etapów projektowania inżynierskiego, nie można każdej z tych dziedzin traktować osobno gdyż tylko przez wzajemną ich korelację można zaprojektować element w pełni spełniający stawiane mu wymagania. Możemy stworzyć doskonały projekt konstrukcyjny niestety niemożliwy do wykonania ze względów technologicznych czy materiałowych. Może również dojść do takiej sytuacji gdy dobierzemy doskonały materiał dla wytwarzania danego elementu jednak niemożliwy do obróbki w naszych warunkach technologicznych. Dlatego właśnie tak ważną dziedziną przy tworzeniu nowych wyrobów jest szeroko pojęty proces projektowania.

#### LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe, WNT, Gliwice – Warszawa, 2006.
2. I. Hyla, Tworzywa sztuczne, Własności – przetwórstwo – zastosowanie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000.
3. J. Koszkul, Materiały polimerowe, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 1990.
4. Program rozwojowy Politechniki Warszawskiej: Podstawy technik wytwarzania PTW – laboratorium, Warszawa, 2012
5. strona internetowa: [www.tworzywa.pl](http://www.tworzywa.pl)
6. strona internetowa: [www.kedarix.com](http://www.kedarix.com)
7. strona internetowa: [www.instrumenty-pomiarowe.pl](http://www.instrumenty-pomiarowe.pl)
8. strona internetowa: [www.shelf3d.com](http://www.shelf3d.com)
9. strona internetowa: [www.labmat.pw.plock.pl](http://www.labmat.pw.plock.pl)
10. strona internetowa: [www.zasada.ps.pl](http://www.zasada.ps.pl)
11. strona internetowa: [www.passerotti.com.pl](http://www.passerotti.com.pl)
12. strona internetowa: [www.stadox.pl](http://www.stadox.pl)