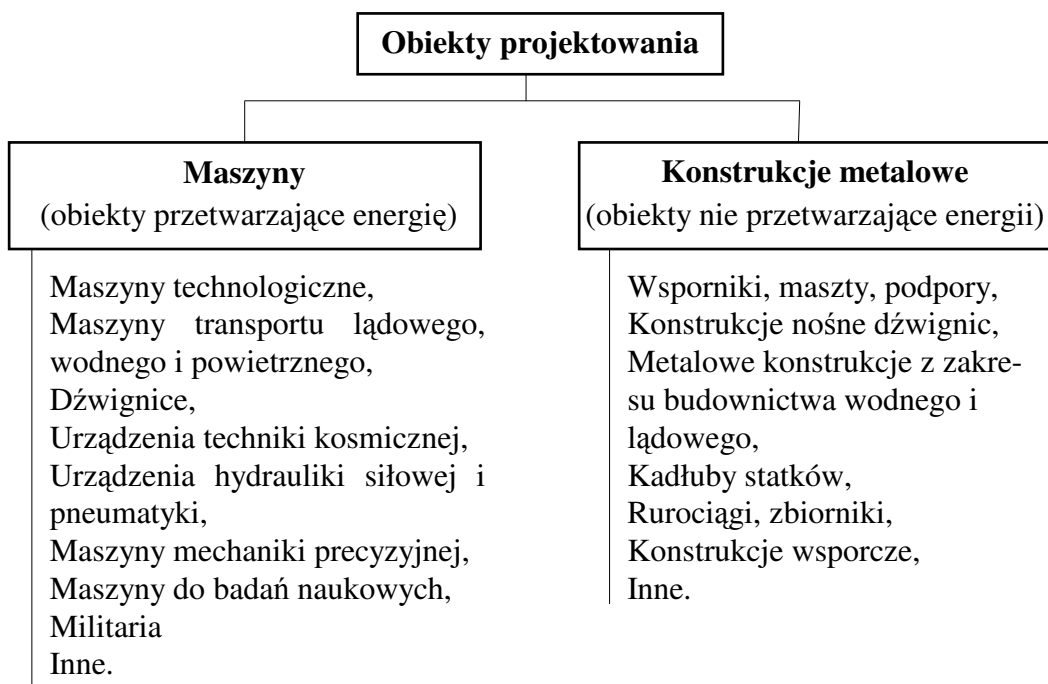


# 1.0. Teoria projektowania

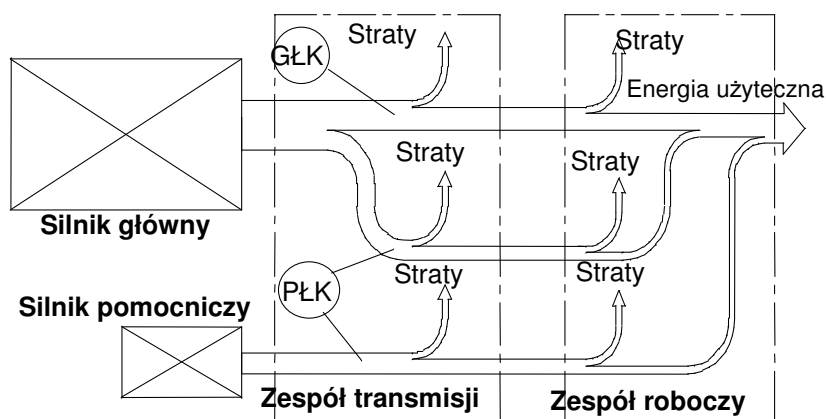
## 1.1. Projektowanie

Obiekty projektowania technicznego:



Rys. 1.1. Obiekty (operandy) projektowania

Funkcjonalny schemat maszyny:



Rys. 1.2. Schemat funkcjonalny maszyny, GŁK - główny łańcuch kinematyczny, PŁK - pomocnicze łańcuchy kinematyczne

### Hierarchiczny schemat maszyny:

1. **Systemy (układy) maszynowe** np. systemy obronne, statki, samoloty, linie obróbkowe, linie montażowe, itp.
2. **Maszyny** - urządzenia do samodzielnego wykonywania pracy.
3. **Zespoły** - części składowe maszyny wykonujące część funkcji głównej maszyny lub funkcje pomocnicze, zazwyczaj będące modułami posiadającymi własny korpus.
4. **Podzespoły** - części funkcjonalne zespołów, zazwyczaj bez własnej obudowy.
5. **Elementy konstrukcyjne** - części składowe podzespołów zazwyczaj wykonane z jednej bryły materiału (wyjątek: łożyska toczne, ślizgowe, sprężyny zespolone, konstrukcje uzyskane z połączenia, w sposób nierozłączny, prefabrykatów).
6. **Prefabrykaty** - części składowe elementów o nie zakończonym procesie obróbkowym, przed połączeniem w element konstrukcyjny.
7. **Powierzchnie funkcjonalne** - powierzchnie elementów konstrukcyjnych współpracujące z powierzchniami funkcjonalnymi innych elementów konstrukcyjnych, podlegające procesowi projektowania (tolerancje wykonania wynikające z pasowania, dokładność położenia, gładkość powierzchni, twardość).
8. **Powierzchnie swobodne** - pozostałe powierzchnie elementów konstrukcyjnych, których cechy zazwyczaj nie podlegają procesowi projektowania.

### Proces projektowania:

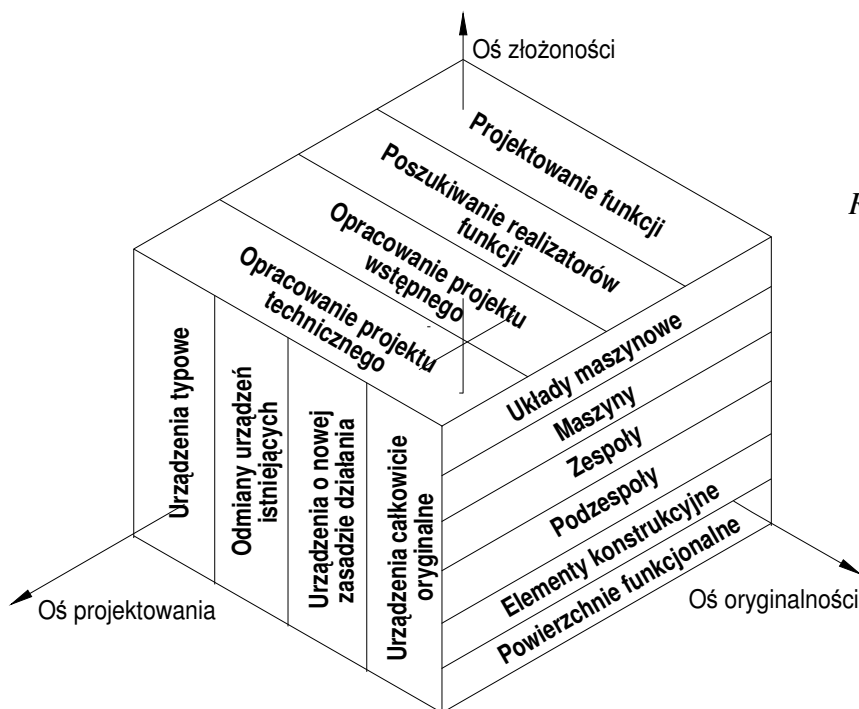
Tablica 1.1. Działania objęte procesem projektowania.

		Transformacje w procesie projektowania			
Zmiana:		Struktury	Postaci	Położenia	Magazynowania
Proces:		Przetwarzanie	Przekształcanie	Przemieszczanie	Przechowywanie
Operandy	<b>Materia</b>	<i>Zm. właściwości</i>	<i>Zm. postaci</i>	<i>Transport</i>	<i>Składowanie</i>
	<b>Energia</b>	<i>Zm. rodzaju</i>	<i>Zm. parametrów</i>	<i>Przesyłanie</i>	<i>Akumulacja</i>
	<b>Informacja</b>	<i>Przetwarzanie</i>	<i>Zm. nośnika</i>	<i>Przesyłanie</i>	<i>Gromadzenie</i>
	<b>Technologia</b>	<i>Tworzenie</i>	<i>Dostosowanie</i>	<i>Przekazywanie</i>	<i>Archiwizacja</i>

Dążeniem projektanta jest jak najwyższy stopień oryginalności. Oryginalność nie zawiera cechy jakości. Może przyczynić się do jej poprawy lub pogorszenia (oryginalność trywialna).

Sposoby dochodzenia do rozwiązań problemu:

1. Sprowadzenie problemu do postaci matematycznej.
2. Poszukiwania systematyczne i losowe: przeszukiwanie katalogów, literatury, wywiad przemysłowy.
3. Metody intuicyjne (doświadczenie, tradycje, metoda pytań naprowadzających, metoda 635, „burza mózgów”, metoda delficka, synektyka itp.) [4,7].
4. Metody heurystyczne (np., metoda morfologiczna, badania systematyczne akcji fizycznej, metoda analogii) [4,7].
5. Nagłe odkrycia.



Rys. 1.3. Trójwymiarowa „przestrzeń” procesów projektowania maszyn; wzajemna zależność cech konstrukcyjnych

Ogólne zasady konstrukcji [4]:

- I. Konstrukcja powinna spełniać wszystkie podstawowe warunki konstrukcyjne wynikające ze szczególnych zasad w stopniu równym lub wyższym od założonego.
- II. Konstrukcja powinna być optymalna w danych warunkach ze względu na podstawowe kryteria optymalizacyjne.

Szczególne zasady konstrukcji (stanowią rozwinięcie zasad ogólnych):

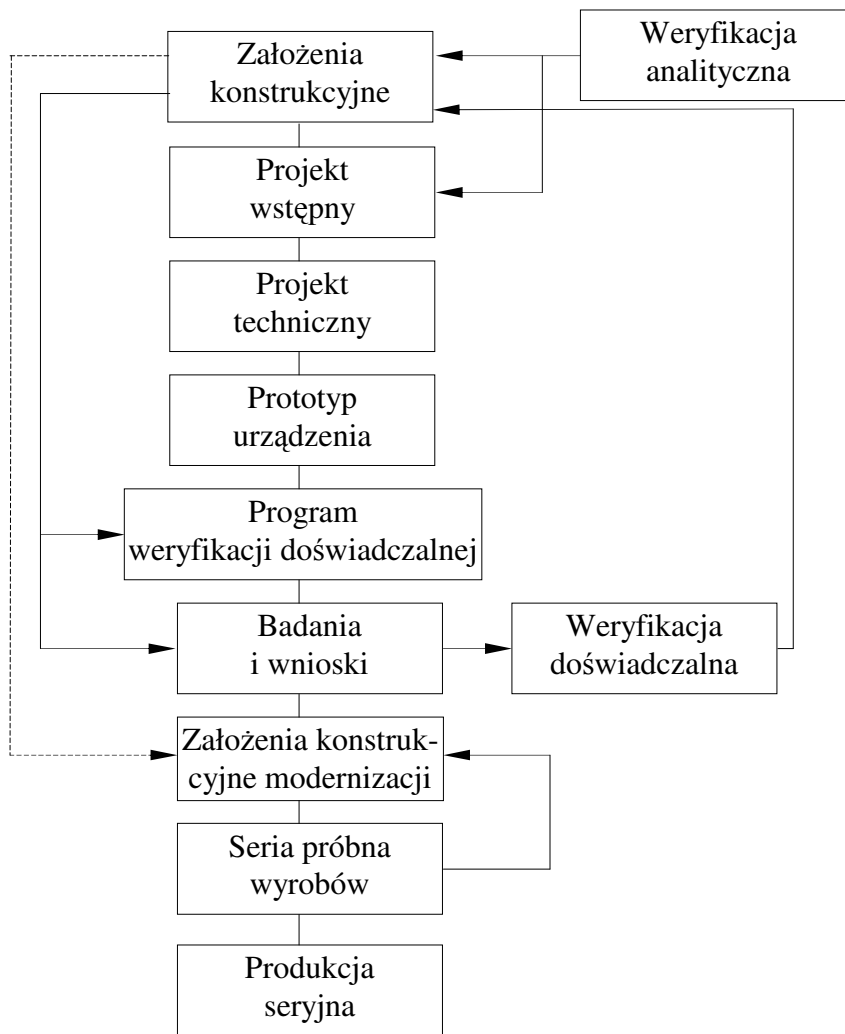
1. Funkcjonalność – poprawne spełnianie funkcji maszyny.
2. Niezawodność i trwałość – uzyskanie pożądanego prawdopodobieństwa niezawodności.
3. Sprawność – uzyskanie założonej (uwarunkowanej ekonomicznie) sprawności.
4. Lekkość – uzyskanie odpowiedniego ciężaru (masy).

Tablica 1.2. Struktura typowego procesu projektowania.

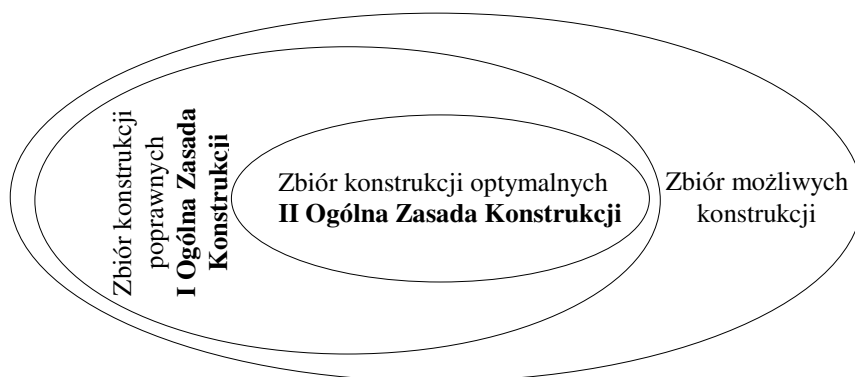
Fazy	Podstawowe kroki	Reguły, metody	Operacje myślowe
I. Rozpoznanie problemu	Wyodrębnienie: celu, ograniczeń i potrzeby rozwiązania problemu.	Heurystyki	Analiza, synteza. Przetwarzanie informacji zawartych w sytuacji problemowej. Kryteria ekonomiczne, pewności działania, dokładności itp.
	Sformułowanie założeń projektowych - dane ilościowe i warunki zewnętrzne.		
	Przyjęcie kryteriów oceny rozwiązań.		
II. Zarys pomysłu	Wytwarzanie pomysłów w formie abstrakcyjnej.	Heurystyki Metody intuicyjne	Analiza, synteza. Przetwarzanie informacji dotyczących cech funkcjonalnych. Metody optymalizacji.
	Zapis pomysłu w formie komunikatywnego wyrażenia.		
	Wybór pomysłu najlepszego ze względu na przyjęte kryteria oceny (optymalizacja)		
III Pomysł	Wybór elementów maszyn realizujących zarys pomysłu	Heurystyki	Analiza, synteza. Przetwarzanie informacji dotyczących elementów jako nośników cech ogólnych i szczególnych (uwzględniających typ elementu i funkcje dodatkowe) Przetwarzanie informacji z teorii maszyn i mechanizmów, z mechaniki teoretycznej i itp.
	Rozmieszczenie elementów i podzespołów w strukturze.		
	Wyrażenie idei w postaci schematu strukturalno-funkcjonalnego.		
	Sprawdzenie prawidłowości działania układu wyrażonego w schemacie.		
IV Warunki wejściowe do konstruowania elementów	Ustalenie obciążeń.	Algorytmy obliczeniowe	Analiza, synteza. Przetwarzanie informacji z mechaniki teoretycznej i wytrzymałości materiałów. Przetwarzanie informacji obejmujące kryteria obliczeniowe.
	Schemat działających sił.		
	Ustalenie kryteriów doboru materiałów i kształtów.		
V Projektowanie szczegółowe czyli konstruowanie	Wybór najwłaściwszych materiałów na poszczególne elementy konstrukcyjne.	Algorytmy obliczeniowe Normy, katalogi	Analiza, synteza. Przetwarzanie informacji o cechach konstrukcyjnych (materiałowych, geometrycznych i dynamicznych). Metody optymalizacji. Informacje z metrologii oraz rysunku technicznego.
	Ustalenie wymiarów i kształtów powierzchni funkcjonalnych i swobodnych (optymalizacja)		
	Ustalenie tolerancji wymiarów i jakości wykonania.		
	Wykonanie zapisu konstrukcji (rysunek konstrukcyjny, zestawieniowy).		

5. Taniść i dostępność materiałów.
6. Właściwy układ przenoszenia obciążeń – odpowiedni dobór schematu (struktury) maszyny.
7. Technologiczność – umożliwienie najkorzystniejszych warunków wykonania.

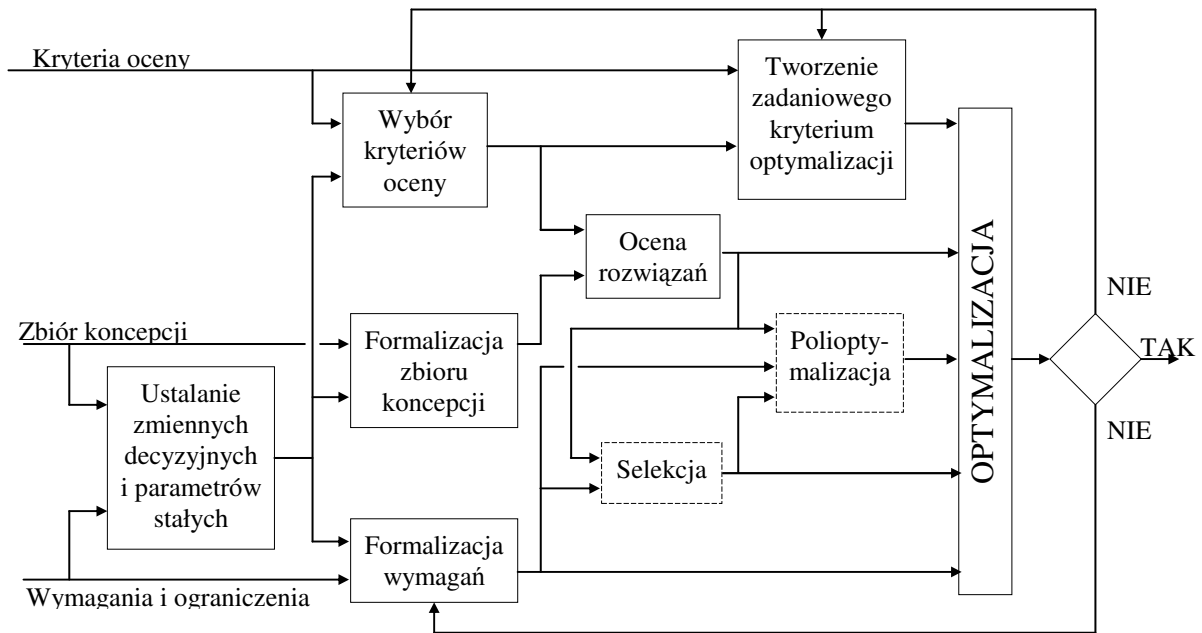
8. Łatwość eksploatacji – zapewnienie prostoty obsługi i remontów.
9. Ergonomiczność – dostosowanie konstrukcji do wymogów obsługi.
10. Zgodność z normami i przepisami – wykorzystanie norm i spełnienie obowiązujących przepisów np. Urzędu Dozoru Technicznego.
11. Inne np.: oddziaływanie na środowisko, estetyka, odporność na warunki zewnętrzne itp.



Rys. 1.4. Proces wytwarzania z uwzględnieniem projektowania



Rys. 1.5. Rola zasad konstrukcji w procesie wyboru koncepcji



Rys. 1.6. Proces wyboru koncepcji wg [7]

Rodzaje polioptymalizacji:

- **Pseudopoliptymalizacja** – polega na sprowadzeniu wielu kryteriów oceny rozwiązań do jednego zbiorczego. Gdy znane są o priori współczynniki wagowe:

$$Q = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot q_i \quad (1.1)$$

$$Q^* = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot q_i^2$$

gdzie:  $Q$  – funkcja celu (wskaźnik jakości),  $Q^*$  - funkcja użyteczności,  $\rho_i$  – współczynnik wagi,  $q_i$  – składowe kryterium jakości.

- **Poliptymalizacja docelowa** – gdy założone jest znane rozwiązanie idealne (może być utopijne). Za optymalne uważa się takie rozwiązanie, które najmniej różni się od idealnego (znajduje się najbliżej punktu docelowego w przestrzeni jakości).
- **Poliptymalizacja względna** – gdy znane jest określone rozwiązanie konstrukcyjne oraz wartości wskaźników jakości dla tego rozwiązania. Poszukuje się rozwiązania lepszego.
- **Poliptymalizacja hierarchiczna leksykograficzna** – stosowana jest wówczas gdy znana jest „kolejność ważności” poszczególnych kryteriów oceny rozwiązań. Polega na kolejnym ograniczaniu zbioru rozwiązań dopuszczalnych ze względu na kolejne „najważniejsze” kryterium, aż do uzyskania zbioru rozwiązań uwzględniającego kryterium najmniej „ważne”.

- **Poliptymalizacja zupełna** – polega na poszukiwaniu całego zbioru rozwiązań tzw. Pareto-optimalnych metodami deterministycznymi lub losowymi dla których wskaźnik jakości przyjmie postać:

$$(\hat{x} \in \Phi) : \{_{x \in \Phi} Q(x) \geq Q(\hat{x})\} \quad (1.2)$$

gdzie:  $\hat{x}$  - rozwiązanie optymalne,  $\Phi$  - zbiór rozwiązań (koncepcji),  $x$  – element tego zbioru.

## 1.2. Zasady konstruowania

Zasady konstruowania są heurystykami, które obligatoryjnie powinny być stosowane w procesie projektowania. Wraz z optymalną koncepcją rozwiązania problemu projektowego decydują o jego jakości i konkurencyjności. Pozwalają na systemowe podejście do uszczegółowienia operandu. Pewnym ograniczeniem w ich stosowaniu jest konieczność spełnienia wymogów normalizacji jako konsekwencji stosowania podczas konstruowania – prawa ograniczonego zróżnicowania oraz technologiczności wyrobu. Wymaga to przestrzegania:

- podstawowych parametrów operacyjnych i postaci narzędzi obróbczych;
- podstawowych cech i postaci konstrukcyjnych elementów maszyn;
- znormalizowanego systemu pasowań; oznaczeń;
- szeregów liczbowych.

### 1.2.1. Zasada optymalnego stanu obciążenia

Polega na konieczności poszukiwania korzystnych (ze względu na założone kryteria optymalizacyjne, najczęściej są to minima: masy, kosztów materiałów, kosztów produkcji itp.) stanów obciążenia. Stosowane najczęściej sposoby optymalizacji to:

- dobieranie postaci konstrukcji ze względu na wykorzystanie działania obciążeń roboczych, np. samodociskające się pokrywy zbiorników ciśnieniowych, uszczelnienia wargowe itp.,
- zmniejszenie nierównomierności działania obciążeń, np. rozdzielone podparcie obudowy łożyska, rowki odciążające na tłoczku strzykawki lekarskiej itp.,
- powiększenie ilości dróg przenoszenia obciążeń, np. przekładnia wielodrożne zębate, pasowe z rowkami pasami klinowymi itp.,
- zastępowanie układu o złożonym stanie naprężeń, układem w którego elementach występują elementarne stany naprężeń, np. zamiast wspornika w postaci belki – wysięgnik dwuprętowy, zamiast łożyska skośnego – węzeł składający się z łożyska poprzecznego i wzdłużnego itp.,

- zmniejszenie niejednostajności obciążenia, np. odpowiedni stopień pokrycia w przekładni zębatej, podwójne sprzęgło kątowe itp.,
- zmniejszenie oporów ruchu i strat energii, np. zastąpienie węzłów przesuwnych – przegubami, zamiast łożysk ślizgowych – łożyskowanie toczne itp.

### **1.2.2. Zasada optymalnego tworzywa**

Polega na poszukiwaniu takich materiałów na elementy konstrukcyjne, aby zostały w optymalny sposób spełnione cechy konstrukcji. Kryteriami podstawowymi przy wyborze materiałów są na ogół: ciężar, objętość i koszt.

Wiele właściwości materiałów staje się równocześnie kryteriami doboru są to np.:

- dostępność, ograniczenia i uprzywilejowania zakładowe,
- wewnętrzna i zewnętrzna struktura materiału, przejrzystość,
- wrażliwość na oddziaływanie czynników zewnętrznych: korozja, trwałość chemiczna, rozpuszczalność, pęcznienie itp.,
- właściwości fizyczne: gęstość właściwa, rozszerzalność cieplna, ciepło właściwe, temperatury: topnienia, wrzenia, mięknięcia, zapłonu itp., przewodność cieplna i elektryczna, właściwości magnetyczne i radiacyjne,
- właściwości uzyskiwanych powierzchni: tarcie, kohezja, adhezja, przepuszczalność,
- właściwości wytrzymałościowe: granice wytrzymałościowe, udarność, wydłużenie, itp.
- właściwości technologiczne: obrabialność skrawaniem, tłoczność, obrabialność cieplna, spawalność, itp.

### **1.2.3. Zasada optymalnej stateczności**

Polega na zapewnieniu konstrukcji jako całości i jej elementom, stanów równowagi stałej niezależnej od odkształceń jakie powodują w niej obciążenia (trudna do przewidzenia jest maksymalna wartość obciążenia) np. odpowiednie położenie metacentrum konstrukcji pływających, odpowiedni stosunek długości do średnicy łożysk ślizgowych itp.

Należy przeciwdziałać lub minimalizować konstrukcyjnie skutki ewentualnej awarii.

Najczęściej stosuje się: ograniczenie maksymalnej wartości wyężenia materiału (poprzez wprowadzenie współczynnika bezpieczeństwa) lub normatywne ograniczenie odkształceń elementów konstrukcji.



### 1.2.4. Zasada optymalnych stosunków parametrów współzależnych

Polega na dobraniu takich stosunków między wartościami parametrów konstrukcyjnych, aby uzyskać konstrukcję optymalną. Wśród wielkości parametrów związanych na szczególną uwagę zasługują:

- konstrukcyjne cechy geometryczne, np. takie stosunki wymiarów prostopadłościennego zbiornika aby powierzchnia wymiany ciepła, przy odpowiedniej pojemności, była jak najmniejsza, itp.,
- stereomechaniczne właściwości materiałów np. stosunek wytrzymałości do gęstości, itp.,
- dynamiczne cechy konstrukcyjne, np. logarytmiczny dekrement tłumienia, itp.,
- cechy kinematyczne, np. dobór przełożeń kinematycznych w wielostopniowym reduktorze w celu uzyskania jak najmniejszej jego objętości itp.
- masy i właściwości sprężyste, np. sztywność sprężyny, podatność giętna wału, itp.

### Piśmiennictwo

- [1] Dietrich M. i inni: *Podstawy konstrukcji maszyn t. I*, PWN Warszawa 1986.
- [2] Dziama A.: *Metodyka konstruowania maszyn*, PWN, Warszawa, 1985.
- [3] Kowalski J.: *Modelowanie obiektów konstrukcyjnych w projektowaniu optymalnym*, WNT Warszawa 1983.
- [4] Osiński Z., Wróbel J.: *Teoria konstrukcji maszyn*, PWN Warszawa 1982.
- [5] Pahl G., Beitz W.: *Nauka konstruowania*, WNT Warszawa 1984.
- [6] Skarbiński M., Skarbiński J.: *Technologiczność konstrukcji maszyn*, WNT Warszawa 1982.
- [7] Tarnowski W.: *Podstawy projektowania technicznego*, WNT, Warszawa, 1997.