

## METODOLOGIA PROJEKTOWANIA I KONSTRUOWANIA SZKOŁY ŚLĄSKIEJ I JEJ WPŁYW NA UKSZTAŁTOWANIE SIĘ ZASAD KONSTRUOWANIA

### THE SCHOOL SILESIA METHODODOLOGY OF DESIGNING AND CONSTRUCTING AND ITS IMPACT ON THE RUDIMENTS OF CONSTRUCTIONS

Piotr Gendarz – Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

*Podstawą optymalizacji jest układ kryteriów. W publikacji podejmuję się próbę określenia źródła kryteriów w metodologii projektowania i konstruowania maszyn. Określa się wpływ kryteriów na dwa podstawowe utwory działań inżynierskich: system i konstrukcję. System określa sposób działania, natomiast konstrukcja opisuje struktury zewnętrzne, wewnętrzne i stany przyszłego środka technicznego. Jako projektanci i konstruktorzy nowych środków technicznych jesteśmy tyle warci, ile warte są nasze kryteria.*

*The basis of the optimization are the criteria. The paper presents an attempt to identify the source of the criteria in the methodology design and construction. Determines the impact of the criteria on two basic pieces of engineering activities: system and construction. The system determines the method of operation, constructions describes the external structure and internal states of future technical means. As designers and constructors of new technical measures we are worth as much as worth are our criteria.*

#### Wprowadzenie

Projektowanie odgrywa istotną rolę w procesie od potrzeby do zaspokojenia potrzeby, gdyż określa, w jaki sposób będzie zaspokajana potrzeba. Projektowanie może dotyczyć projektowania procesów, np. procesów uzdatniania węgla, procesów rafinerii ropy naftowej, jak również projektowania obiektów, w których opisane zostaną relacje, jakie realizują. Na tej podstawie w sferze abstrakcji można wyróżnić systemy, które opisują działanie oraz konstrukcje, które opisują struktury i stany przyszłych obiektów. Od projektantów wymaga się wrażliwości na informacje płynące ze sfery potrzeb oraz umiejętności jej selekcji. Kreatywność projektantów ma decydujący wpływ na postęp w zakresie nowo rozwijanych procesów i obiektów. Przedmiotem rozważań w niniejszej publikacji są głównie obiekty, wśród których szczególnie wyróżniono działające środki techniczne oraz ich struktury.

Działania inżynierskie dotyczą sfery abstraktów (projektowanie, konstruowanie, przygotowanie wytwarzania), których wynikiem są: system, konstrukcja i technologia (rys. 1) oraz sfery konkretów (wytwarzanie, użytkowanie i recykulacja). To przełomowe ujęcie zapoczątkował w swoich pracach naukowych profesor Janusz Dietrych [2, 3]. Cechowała go niezwykła bystrość umysłu i niespożyte siły w zwalczaniu zastałych stereotypów w dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn, głęboko tkwiących w tzw. częściach maszyn.

Konceptualizm Janusza Dietrycha charakteryzował się tym, że bez względu czy badamy całą maszynę czy też jej wydzielony podzespół lub łańcuch kinematyczny, podejście musi być systemowe, a celem badań – ocena konstrukcji, jako całości, a nie jakaś szczególna właściwość układu w świetle jednej jego części czy wyróżnionego elementu. Tak jak malarz, który tworzy dzieło malarskie w postaci obrazu o określonej wartości intelektualnej, tak kompozytor tworzy utwór muzyczny, na podstawie, którego orkiestra wykonuje dzieło muzyczne, tak inżynier tworzy utwory w postaci systemu,

konstrukcji i technologii, na podstawie, których podejmowane jest wytwarzanie i użytkowanie środków technicznych. Te twórcze akty inżynierskie nie zawsze są równo uznawane przez społeczeństwo, a wymagają wybitnych zdolności, umiejętności, kreatywności i otwartego myślenia. System, konstrukcja i technologia w Metodologii Szkoły Śląskiej Projektowania i Konstruowania otrzymały specjalny status znaczeniowy, stały się pojęciami kluczowymi, celami do osiągnięcia:

**system** – opisuje sposób działania przyszłego środka technicznego, aby zaspokoić potrzebę,

**konstrukcja** – opisuje struktury i stany przyszłego środka technicznego,

**technologia** – opisuje sposób wytwarzania przyszłego środka technicznego.

Przedmiotem działań inżynierskich są również działania na konkretach (rys. 1), czyli materialnych środkach technicznych, których głównym wynikiem są wytwory. Są to również badania doświadczalne inżynierów w laboratoriach, udział w utrzymaniu działania środków technicznych (np. konserwacja), udział w procesach recykulacji środków technicznych.

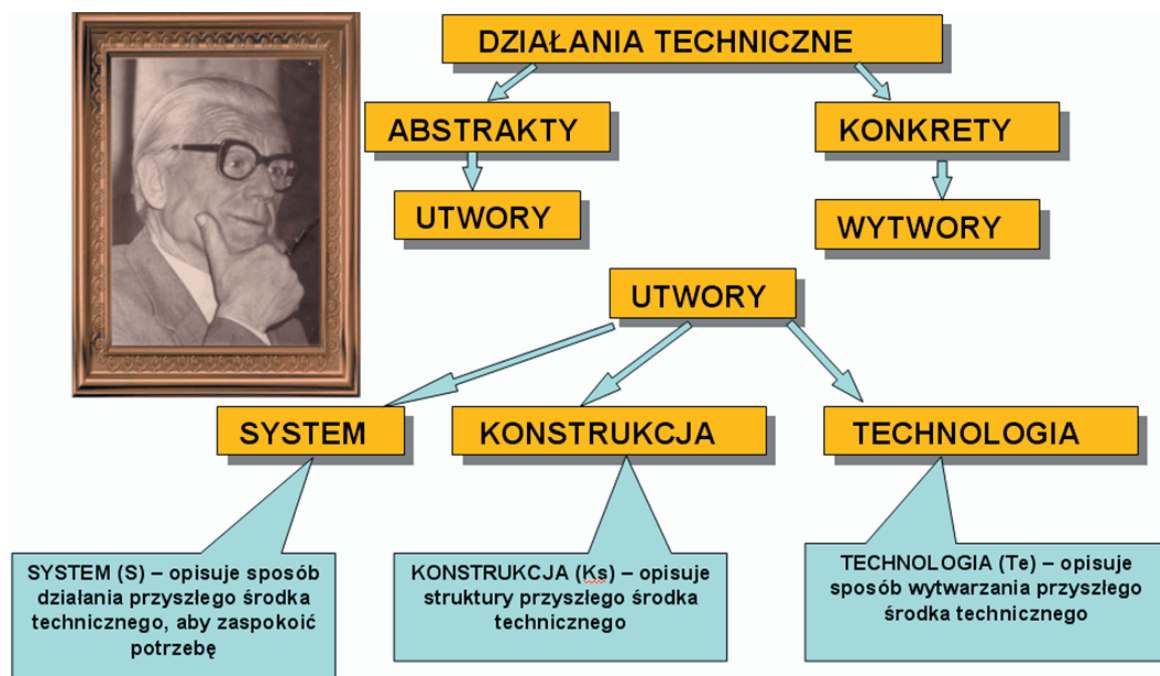
W tym artykule poruszane są głównie zagadnienia projektowania i konstruowania.

#### System i formy jego zapisu

*System jest to układ relacji sprzężeń i przekształceń, który opisuje działanie przyszłego środka technicznego w celu zaspokojenia określonej potrzeby [3]:*

$$S_i = \bigcup_{\substack{j=1,iz \\ l=1,jz}} (\text{Re}_j^p \cup \text{Re}_l^s) \quad (1)$$

Metodologicznie proces projektowo-konstrukcyjny rozpoczyna się od tworzenia systemu. Poszczególnym relacjom odpowiadają działania elementarne przyszłego środka technicznego. Najbardziej zwartą formą opisu działania przyszłego środka technicznego jest system ogólny.



Rys. 1. Działania inżynierskie na abstraktach i konkretach

**System ogólny**  $SO_n$  [4] to system sprowadzony do najogólniejszej postaci najczęściej jednej *relacji sprzężenia* lub jednej *relacji przekształcenia*. Przykładem zapisu systemu sprowadzonego do jednej *relacji sprzężenia* może być system ogólny sprzęgła kołnierowego – *łączenie dwóch wałków celem przeniesienia momentu obrotowego za pomocą kołnierzy połączonych śrubami*. Natomiast przykładem *relacji przekształcenia* może być system ogólny siłownika hydraulicznego – *przekształcanie energii hydraulicznej na mechaniczną realizując ruchy posuwisto-zwrotne*. Podstawą projektowania jest ustalenie *relacji przekształceń* i *relacji sprzężeń* przyszłego środka technicznego w możliwie największym stopniu uszczegółowienia.

**Relacje przekształceń** wiązane są z przekształceniem wejścia  $I_j$  w wyjście  $O_j$  ( $I_j \rightarrow O_j$ ): informacji, energii i masy. Wyróżnia się dwa rodzaje tych relacji: *przetwarzanie* i *transformacja*. Relacje przetwarzania dotyczą zmiany postaci informacji, energii i masy w inną, np. energii elektrycznej w energię mechaniczną, energii płynu hydraulicznego w energię mechaniczną. Natomiast transformacja polega na zachowaniu tej samej postaci: informacji, energii i masy, lecz o innych parametrach, np. energii mechanicznej o określonym momencie obrotowym  $M_1$  i prędkości obrotowej  $n_1$  w energię mechaniczną o momencie obrotowym  $M_0$  i prędkości obrotowej  $n_0$ , energii elektrycznej o natężeniu  $I_1$  oraz napięciu  $U_1$  w energię elektryczną o natężeniu  $I_0$  oraz napięciu  $U_0$  (czemu odpowiada taki środek techniczny, jakim jest transformator). W środkach technicznych można wyróżnić następujące relacje przekształceń:

- przetwarzanie informacji, np. impulsu elektrycznego stanu środka technicznego na sygnał świetlny (system układu sterowania),
- transformację informacji, np. zwielokrotnienie impulsu elektrycznego (system wzmacniacza),
- przetwarzanie energii, np. energii medium hydraulicznego na energię mechaniczną (system siłownika hydraulicznego),
- transformację energii, np. energii mechanicznej siłownika na energię końcówek chwytanych (system przeniesienia napędu chwytaków hydraulicznych),

- przetwarzanie masy, np. w wyniku kucia nagrzanego wałeczka na odkuwkę,
- transformację masy, np. w wyniku jej przemieszczenia lub zmiany położenia.

**Relacje sprzężeń** to sprzężenia między współdziałającymi przyszłymi: środkami technicznymi, zespołami, podzespołami lub elementami. W tej relacji wejście  $I_j$  jest równe lub prawie równe wyjściu  $O_j$  ( $I_j \approx O_j$ ). Mogą dotyczyć wszystkich składników struktury hierarchicznej środka technicznego, np. na poziomie zespołu relacja sprzężenia między silnikiem a przekładnią zębatą realizowana jest przez sprzęgło kołnierowe. Na poziomie elementu relację sprzężenia między wałkiem przekładni zębatej a połówką czynną sprzęgła realizuje złącze wpustowe. Na poziomie elementów relacje sprzężenia między współdziałającymi elementami określane są w postaci więzów. W programach graficznych są stosowane takie więzy, jak: równoległość, prostopadłość, styczność, punkty wspólne lub współosiowe, zależność kątowa, zależność liniowa itp. Narzucone relacje sprzężeń na poziomie elementów są podstawą symulacji działania zespołu lub środka technicznego w programach graficznych. Symulacja działania w programach graficznych jest jedną z form zapisu systemu. Wyróżnia się zapisy systemu w formie [3, 4]:

- werbalnej,
- blokowej,
- opisu relacji,
- grafów,
- symulacji działania w programie graficznym,
- wirtualnej rzeczywistości.

**Werbalna forma zapisu systemu** to opis słowny działania przyszłego środka technicznego, mający często miejsce w instrukcjach obsługi środka technicznego. Mogą opisywać werbalnie działanie przyszłego środka technicznego z różnym stopniem uszczegółowienia. Przykładem werbalnego zapisu systemu ogólnego przekładni zębatej może być:

*transformacja mocy mechanicznej z momentu  $M_1$  na moment  $M_0$  realizując ruch obrotowy z prędkością kątową  $\omega_1$  na prę-*

kość  $\omega_0$  z zastosowaniem kół zębatach, przy zachowaniu stałego stosunku  $\omega_1/\omega_0$  nazywanego przełożeniem  $u$ .

**Zapis systemu w postaci blokowej** określany jest przez opis wejść oraz wyjść, natomiast relacje między nimi zapisywane są w postaci bloku z opisem werbalnym lub graficznym.

**Zapis systemu z opisem relacji** to zapis graficzny (uproszczony, fenomenologiczny) postaci konstrukcyjnych środka technicznego wraz z opisem werbalnym relacji wykonywanych przez wyróżnione składniki środka technicznego [4].

**Zapis systemu z zastosowaniem grafu** to zapis, w którym węzłom grafu odpowiadają relacje przekształceń lub sprzężeń, natomiast ich powiązania przedstawiają krawędzie grafu [3].

**Zapis systemu w postaci symulacji działania** jest obecnie szeroko rozwijany w programach graficznych, szczególnie w zaawansowanych programach graficznych. Na podstawie modeli 3D elementów składowych tworzone jest złożenie środka technicznego. Poszczególnym modelom 3D narzucane są relacje sprzężeń między współdziałającymi elementami, a elementy napędzające wprawia się w ruch, realizując symulację działania przyszłego środka technicznego.

**Zapis systemu z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości** umożliwia twórcy systemu, przez zamodelowanie środka technicznego, symulowanie jego działania. Działanie jest realizowane w trójwymiarowej przestrzeni z tzw. impresją, czyli odczuciem zagłębienia się w środowisko generowane komputerowo. Na rysunku 2 przedstawiono zastosowanie hełmu, rękawicy sensorycznej, myszki 6D, które w wirtualnej przestrzeni umożliwiają realizowanie ruchów robota (działanie w świecie abstraktów). Utworzony zapis systemu działania robota za pomocą kodów numerycznych przetwarzany jest na kody sterujące robotem za pomocą programu zainstalowanego w stacji roboczej. Na ich podstawie realizowane jest działanie robota, ale już w świecie konkretów. Ta forma zapisu systemu jest jednocześnie podstawą realizacji działania robota bez umiejętności żmudnego programowania robota.

## Konstrukcja i formy jej zapisu

Konstrukcja to **układ rozkładu struktur zewnętrznych, wewnętrznych i stanów wytworu, opisany przez cechy konstrukcyjne** [2]. Jest modelem przyszłego wytworu, opisuje jego właściwości. Te specyficzne cechy będące orzeczeniem o podmiocie poznania można podzielić na trzy podstawowe grupy cech konstrukcyjnych [2, 4]:

- geometryczne,
- tworzywowe,
- montażowe.

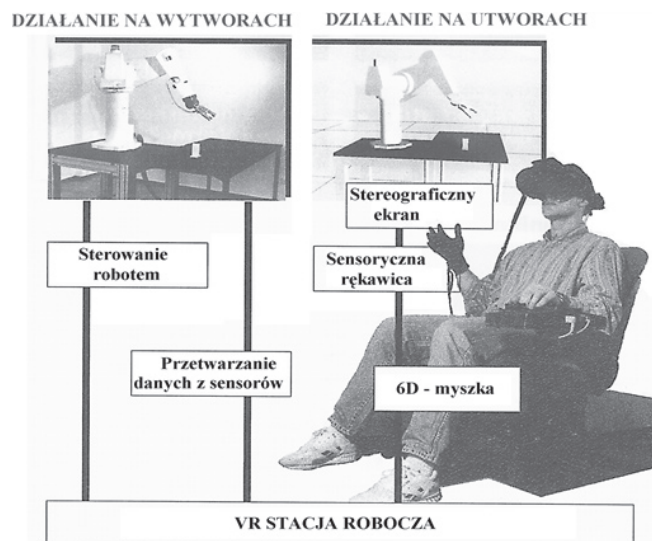
Cechy konstrukcyjne CK opisują [4], zgodnie z definicją konstrukcji **układ rozkładu struktur zewnętrznych** – cechy geometryczne  $C_g$ , **układ rozkładu struktur wewnętrznych** – cechy tworzywowe  $C_t$  oraz **stany wytworu** – cechy montażowe  $C_m$

$$CK = C_g \cup C_t \cup C_m \quad (2)$$

Rozkłady cech w zakresie wartości granicznych określają: tolerancje wymiarowe, tolerancje kształtu i położenia oraz chropowatości powierzchni.

Wyróżnia się następujące formy zapisu konstrukcji:

- w postaci rysunku technicznego,
- w postaci rysunku katalogowego,
- z zastosowaniem programów graficznych,
- parametryczny zapis konstrukcji.



Rys. 2. Zapis systemu z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości

Podstawową formą zapisu konstrukcji jest zapis w postaci **rysunku technicznego**.

Zapis konstrukcji w postaci **rysunku katalogowego** stosowany jest w normach i katalogach. W górnej części zapisu ma miejsce zapis geometrycznej postaci konstrukcyjnej wraz z zapisem układu wymiarów, gdzie każdy wymiar zmienny posiada kod identyfikacyjny. Natomiast wartości wymiarów podawane są w formie tabelarycznej, zależnie od wartości parametrów środka technicznego.

**Programy graficzne w zapisie konstrukcji** odgrywają coraz większą rolę. Programy graficzne mogą bazować na modelach graficznych 2D i 3D. Przykład zapisu konstrukcji 2D w programie graficznym AutoCAD przedstawiono na rysunku 3, a przykład zapisu konstrukcji 3D w zaawansowanym programie graficznym I-DEAS NX na rysunku 4.

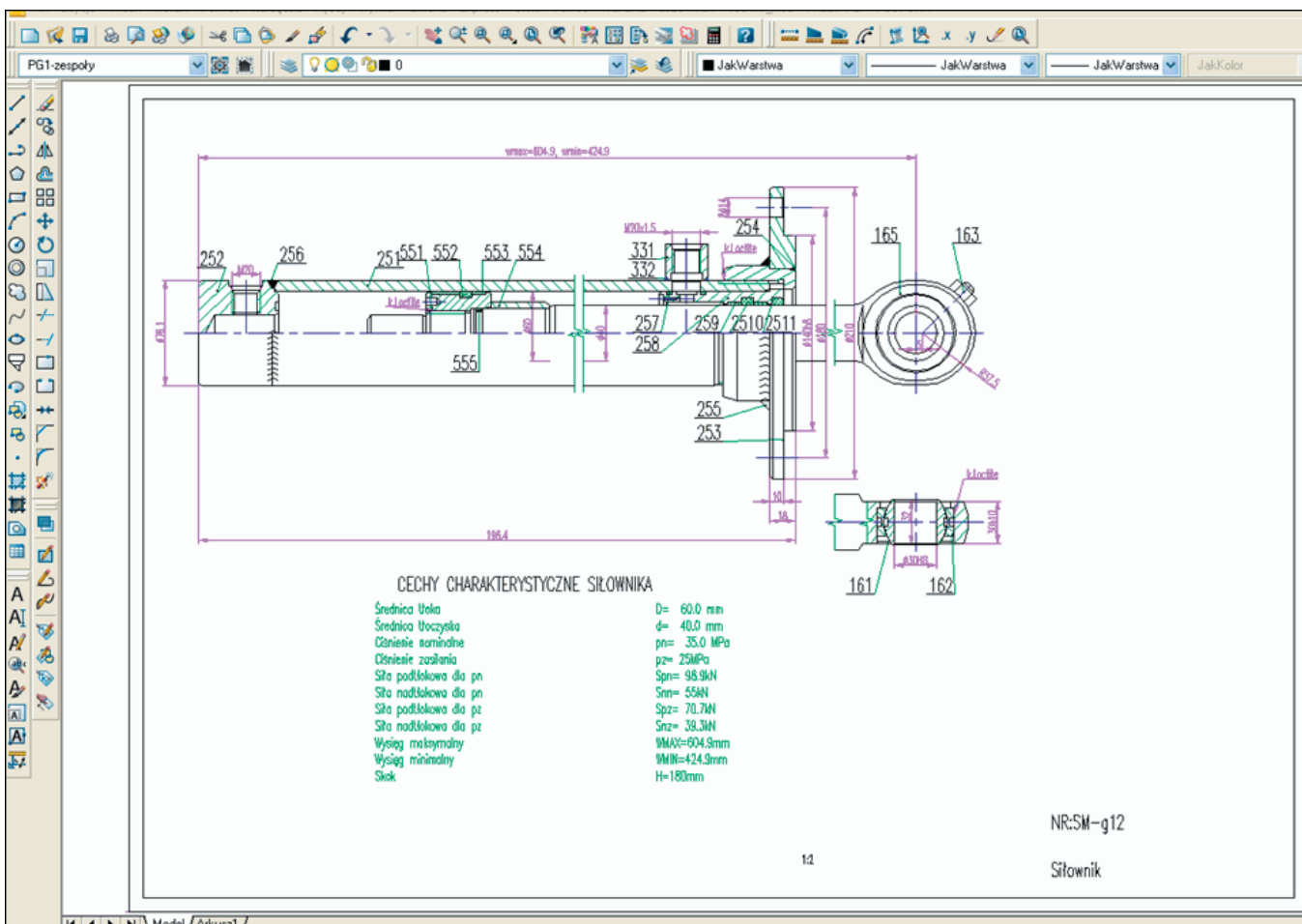
**Parametryzacja** rozumiana jest, jako forma zapisu konstrukcji, w której postać konstrukcyjna oraz układ wymiarów odwzorowane są w pamięci operacyjnej komputera (program komputerowy, modele 2D, modele 3D), natomiast zmienne wartości wymiarów czytane są ze zbiorów zewnętrznych. W ten sposób ma miejsce połączenie zapisu jakościowych cech konstrukcyjnych (geometrycznej postaci konstrukcyjnej) z ilościowymi cechami konstrukcyjnymi (wartościami wymiarów). Zmiana wartości wymiaru w zapisie parametrycznym konstrukcji wiąże się ze zmianą modelu tworzonego zapisu elementu. Jej wynikiem jest zapis konstrukcji przedstawiony z dużą dokładnością w odpowiedniej podziale. Parametryzacja jest głównym narzędziem zapisu uporządkowanych rodzin konstrukcji, w których występuje stała postać konstrukcyjna ( $\Pi_i \sim \text{const}$ ) oraz zmienne wartości wymiarów ( $W_j = \text{var}$ ). W zależności od sposobu wprowadzania ilościowych cech konstrukcyjnych wyróżnia się parametryzację [5]:

- dynamiczną,
- relacyjną,
- programową,
- graficzną.

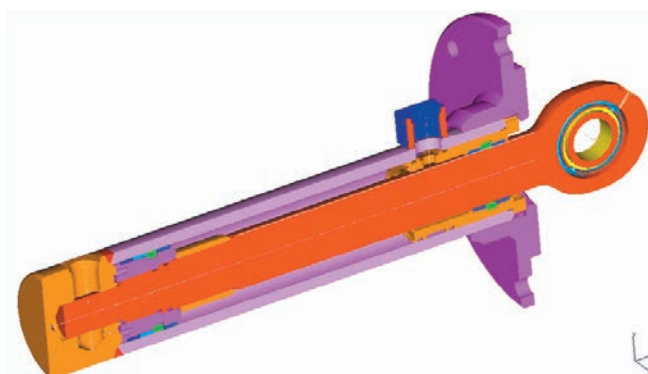
## Zasady nauki konstrukcji

Optymalizacja, to kryterialny wybór z pola możliwych rozwiązań. Z jednej strony mamy pole możliwych rozwiązań,





Rys. 3. Zapis konstrukcji 2D siłownika hydraulicznego w programie graficznym AutoCAD



Rys. 4. Zapis konstrukcji 3D siłownika hydraulicznego w zaawansowanym programie graficznym I-DEAS

które powinny być jak najszerzej i przedstawić najdokładniej uzyskane na podstawie konceptowania. Z drugiej strony pełny układ kryteriów będący podstawą oceny. Wynikiem optymalizacji jest optymalne rozwiązanie konstrukcyjne lub optymalne wartości wymiarów. Na tej podstawie system i konstrukcja są funkcją układu kryteriów:

$$(S, K_s) = f(\Omega) \tag{3}$$

Źródłem tworzenia układu kryteriów są:

1. założenia pr-ks,
2. racje istnienia wytworu [3], gdzie wyróżnia się:

- 2.1. rację celowości technicznej (RCT),
- 2.2. rację możliwości wytwórczych (RMW),
- 2.3. rację ekonomiczną (RE),
3. zasady nauki konstrukcji [3], gdzie wyróżnia się:
  - 3.1. zasadę optymalnego obciążenia,
  - 3.2. zasadę optymalnego tworzywa,
  - 3.3. zasadę optymalnej stateczności,
  - 3.4. zasadę optymalnych stosunków wielkości związanych.

Jest rzeczą oczywistą, że jeżeli konstruujemy wysięgnik promieniowy o udźwigu 100 kN, to jest to kryterium, które musimy spełnić. Podobnie z innymi danymi ilościowymi i sytuacyjnymi w założeniach projektowo – konstrukcyjnych.

W procesie projektowo – konstrukcyjnym w drugiej fazie podejmowania decyzji zastanawiamy się: po co nam ten nowy wytwór? Dysponujemy środkami wytwórczymi do jego wytworzenia? Mamy zgromadzone środki finansowe do podjęcia produkcji? Pozytywne odpowiedzi na te pytania, mogą być uznane za elementarne podstawy oceny systemu i konstrukcji. W ten sposób racja celowości technicznej (RCT) jest źródłem głównie kryterium niezawodności działania, czyli skuteczność działania w określonych okolicznościach z określoną pewnością i trwałością działania. Z kolei racja możliwości wytwórczych (RMW) określa kryteria dotyczące wyboru technologii wytwarzania, ze względu na jej zalety i wady oraz możliwości potencjalnego wytwórcy. Racja ekonomiczna, często stawiana na pierwszym miejscu, tutaj ujęta jest jako ostatnia, z której wynikają kryteria oszczędności energii oraz oszczędności tworzyw.

Głównym przedmiotem rozważań publikacji są zasady nauki konstrukcji. Powstały one z tego, że żadna wielkość nie może być optymalna sama przez się, tylko zawsze ze względu na coś. Tym coś będą kryteria jako podstawy ocen użytecznych. Przyjmując dwie zmienne: **W** – opisujące własność wytworu i **K** – definiujące układ kryteriów, dochodzi do następującego wartościowania:

*W tym mniej różni się od optymalnej wartości im bardziej konstrukcja wytworu jest odpowiednia ze względu na układ kryteriów K.*

#### Zasada optymalnego obciążenia

**Stan obciążenia jest tym mniej różny od optymalnego im bardziej konstruowany wytwór jest odpowiedni ze względu na obrane kryterium [3].**

Obciążenie jest istotną właściwością przyszłego środka technicznego, która warunkuje o jego postaci konstrukcyjnej. Z zasady wynikają kryteria, które ciągle są rozszerzane i ten proces dla całego spektrum środków technicznych nie jest skończony. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń można wskazać następujące kryteria, które wynikają z niniejszej zasady:

- 1.1. kryterium zwiększenia równomierności rozkładu obciążeń lub naprężeń, przykładem może być złącze śrubowe (rys. 5). Zmniejszając średnicę śruby dla tej samej średnicy otworu, istnieje możliwość stosowania większych promieni przejścia między łbem a sworzniem walcowym śruby oraz między częścią sworzniową a częścią gwintową śruby. To umożliwi w krytycznych przekrojach śruby uzyskać mniejsze spiętrzenia rozkładu naprężeń co zaznaczono na rysunku 5.
- 1.2. kryterium powiększenia liczby dróg przenoszenia obciążeń przez podział lub rozdział, przykładem może być walcarka Sędzimira stosowana do walcowania cienkich taśm i blach na zimno (rys. 6). Wywołanie dużego zgniotu możliwe jest z zastosowaniem małych średnic walców i dużych sił nacisku (rys. 6a). Stosując układ walców, gdzie następuje powiększenie liczby dróg przenoszenia

obciążeń jak wskazuje walcarka Sędzimira (rys. 6b), spełnia się możliwość walcowania blach.

Przykłady kryteriów wynikających z zasady optymalnego obciążenia podano w publikacjach [2, 4, 5, 6, 7].

#### Zasada optymalnego tworzywa

**Tworzywo jest tym mniej różne od optymalnego im bardziej konstruowany wytwór jest odpowiedni ze względu na obrane kryterium [3].**

Na podstawie wykresów Ashby (rys. 7), życzeniem konstruktorów byłyby nowe tworzywa, które charakteryzowałyby się wysoką wytrzymałością oraz niską gęstością, czyli tworzyw, które znajdowałyby się w górnej lewej części wykresów. Ale spośród 150 000 tworzyw stosowanych w budowie maszyn nie ma takiego tworzywa.

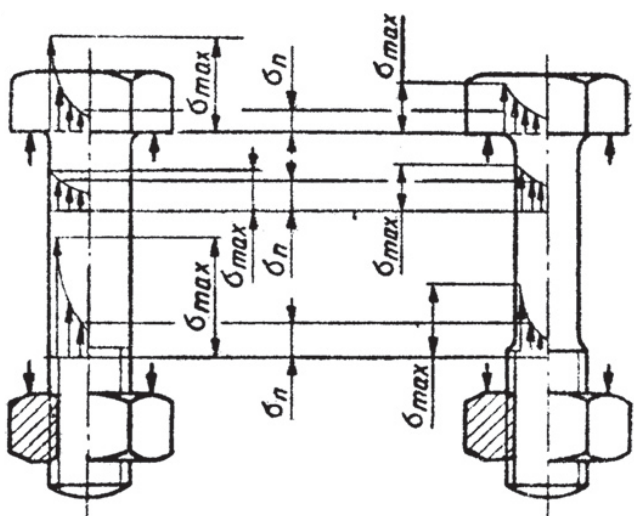
Dlatego kryteria wynikające z zasady optymalnego tworzywa to przede wszystkim kryteria:

- dostępność tworzywa (minimalne koszty),
- wysokie właściwości stereomechaniczne umożliwiające przenoszenie dużych obciążeń,
- mała wrażliwość na działanie czynników zewnętrznych,
- minimalny ciężar właściwy,
- umożliwienie recykulacji tworzywa.

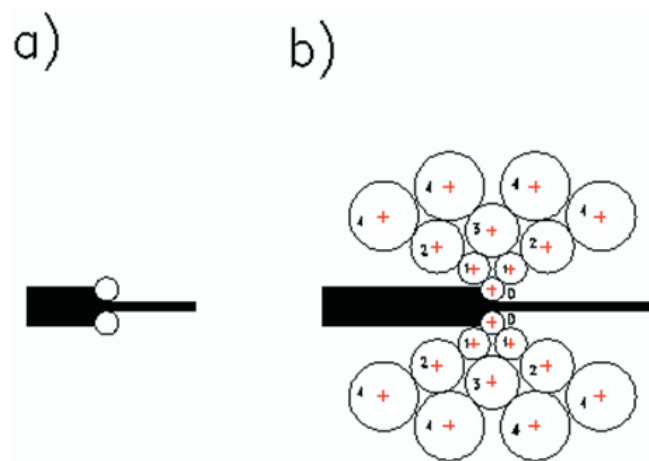
We współczesności coraz większe znaczenie odgrywa ostatnie wymienione kryterium, które jest źródłem kolejnych, a mianowicie:

- zwiększenie niezawodności działania,
- prostota demontażu,
- stosowanie tworzyw odtwarzalnych,
- dostosowanie konstrukcji do regeneracji,
- dostosowanie konstrukcji do utylizacji.

Z zasady tej wynika szereg nowych kryteriów wynikających z dynamicznego rozwoju stosowania nowych tworzyw kompozytowych.



Rys. 5. Spełnienie kryterium równomiernego rozkładu naprężeń w złącze śrubowym



Rys. 6. Walcarka Sędzimira: 0 – walce robocze, 1 – walce podporowe, 2 – walce napędowe, 3 – walce podporowe, 4 – krążki podporowe



cach profesora Janusz Dietrycha nie sposób tutaj przedstawić. Lektura ich ugruntowuje czytelnika w przekonaniu, iż Autor pioniersko torował drogę do procesów twórczych w technice, poprzez holistyczne sformułowanie zasad metodologicznych

procesów projektowania i konstruowania, ustalając zakres pojęć aktywno-konkret, wykraczających poza granice doświadczenia, czyniąc je dostępnymi dla praktyki inżynierskiej w kształcie realnego konceptualizmu.

#### Literatura

- [1] Cielniak M., Gendarz P.: *Wytrzymałość zmęczeniowa w tworzeniu konstrukcji maszyn*. Journal of Transdisciplinary Systems Science. Volume 16, ISSUE NUMBER I, 2012 (ISSN 1427-275X), s. 131-140
- [2] Dietrych J.: *Projektowanie i konstruowanie*. WNT, Warszawa 1974
- [3] Dietrych J.: *System i konstrukcja*. WNT, Warszawa 1985
- [4] Gendarz P.: *Metodologia tworzenia uporządkowanych zbiorów konstrukcji maszyn*. WPS, Gliwice 2002
- [5] Gendarz P.: *Hauptzuordnungen bei Modulbildungsprozessen von Konstruktionen*. FORSCHUNG IM INGENIEURWESEN – ENGINEERING RESEARCH. Springer 2009, Volume 73, Nr 4, s. 245-255
- [6] Osiński Z., Wróbel J.: *Teoria konstrukcji*. PWN, W-wa. 1995
- [7] Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H.: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Springer-Verlag GmbH, 2006

