

Projektowanie szczupłych systemów technicznych

1.1. Zasady projektowania systemów technicznych

Projektowanie

„Projektowanie w technice jest działaniem preparacyjnym w stosunku do wytwarzania, którego celem jest na ogół uzyskanie wzoru zamierzonego przedmiotu technicznego (projekt obiektu) lub też opisu zamierzonego procesu technologicznego (projekt procesu). Projektowanie jest więc świadomym działaniem twórczym człowieka lub grupy ludzi. U źródeł tego działania leży tak lub inaczej manifestująca się potrzeba. Efektem zaś tego działania powinno być zaspokojenie potrzeby”⁷.

Proces projektowy, czyli „projektowanie”, jest merytorycznym i twórczym rodzajem działalności człowieka, który stanowi preparację koncepcyjną i pragmatyczną (odniesioną do metodologii) dla funkcji wykonawczych⁸. W tym ogólnym sformułowaniu zawiera się kreatywna cecha projektowania, a zatem przydająca wytworowi znamiona większej lub mniejszej oryginalności. Sens preparacji jest oczywisty, bowiem projekt, będący wynikiem procesu projektowania, jest konstrukcją, która ma być poddana weryfikacji, a następnie wdrożeniu⁹ i komercjalizacji. Projektowanie, będąc terminem wieloznacznym, wykazuje konotacje techniczne. W przypadku braku precyzyjnego określenia rodzaju projektowania i podmiotu projektu, zwykle jest rozumiane jako projektowanie techniczne, zwane też inżynierskim¹⁰. Stąd też projekt w rozumieniu projektowania technicznego (inżynierskiego) jest określany najczęściej jako¹¹:

- wynik myślenia, robienia planów,

⁷ A. Sielicki, *Projektowanie jako przedmiot badań cybernetycznych*, [w:] *Projektowanie i systemy: zagadnienia metodologiczne*, W. Gasparski, D. Miller (red.), t. 2, Ossolineum, Wrocław 1980, s. 101–102.

⁸ A. Stabryła, *Generalne formuły postępowania badawczego w procesie projektowania*, „Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej”, nr 1, t. 20, Tarnów 2012, s. 168.

⁹ *Ibidem*, s. 168.

¹⁰ W. Gasparski (red.), *Projektoznawstwo. Elementy wiedzy o projektowaniu*, WNT, Warszawa 1988, s. 23.

¹¹ E. Gąsiorek, *Podstawy projektowania inżynierskiego*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2006, s. 12.

- szkic lub wzór służący do wykonania jakiegoś obiektu,
- zamierzone, złożone przedsięwzięcie.

Projektowanie techniczne oznacza obmyślanie zamierzonego przedmiotu technicznego i wykonanie jego wzorca oraz podanie wskazówek dotyczących jego realizacji¹². Projektowanie techniczne dotyczy zatem¹³:

- projektowania zorientowanego obiektowo, które ma na celu stworzenie lub zmianę obiektów materialnych,
- projektowania zorientowanego procesowo, które ma na celu stworzenie lub zmianę procesów.

W praktyce wyróżnia się dwa rodzaje projektowania technicznego¹⁴:

- projektowanie usprawniające,
- projektowanie bazowe.

Projektowanie usprawniające dotyczy systemów istniejących i jest ukierunkowane na eliminację stwierdzonych wad lub mankamentów w stosowanych rozwiązaniach albo ma na celu ich doskonalenie. Specyfika tej odmiany projektowania wyraża się m.in. w tym, że podstawowe znaczenie w usprawnieniu mają identyfikacja, diagnoza i programowanie zmian. Te trzy wyróżnione stadia składają się na prace analityczno-badawcze¹⁵.

Odmienny charakter ma projektowanie bazowe, które odnosi się do nowo tworzonych systemów. Jego cechami charakterystycznymi są¹⁶:

- własne, specyficzne kanony i koncepcje modelowe,
- reprezentacja przez podejście systemowe (holistyczne),
- metodologia budowy modeli – wzorców, które wytyczają obszar poszukiwań efektywnych rozwiązań projektowych.

Pojęcie projektowania technicznego przechodzi ewolucję od tradycyjnego wąskiego rozumienia oznaczającego działalność pewnego typu, głównie w technice, do coraz powszechniejszego rozumienia go jako postępowania zmierzającego do sformułowania konkretnych wzorców zmiany rzeczywistości. Dlatego projektowanie powinno być traktowane jako element szerszego procesu

¹² *Ibidem*, s. 12, na podstawie: T. Jeleniewski, A. Sielecki, *Metodologia i komputerowe wspomaganie projektowania technicznego*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975.

¹³ E. Gąsiorek, *Podstawy projektowania inżynierskiego*, *op. cit.*, s. 12.

¹⁴ A. Stabryła, *Zarządzanie projektami ekonomicznymi i organizacyjnymi*, PWN, Warszawa 2006, s. 265.

¹⁵ A. Stabryła, *Generalne formuły...*, *op. cit.*, s. 175.

¹⁶ A. Stabryła, *Identyfikacja procesów jako stadium przygotowawcze w projektowaniu usprawnień*, [w:] *Podjęcie procesowe w organizacjach*, S. Nowosielski (red.), „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu”, nr 52, Wrocław 2009, s. 207.

tworzenia zmian obejmującego przygotowanie zmiany, jej realizację i kontrolę. Oznacza to, że włączenie projektowania do ogólnego procesu tworzenia zmian pozwala na postrzeganie go na tle istniejącej dynamicznej struktury społecznej¹⁷.

Projektowanie techniczne jest zatem czynnością poznawczą, której celem jest tworzenie takiej teorii optymalizacyjnej, która będzie miała zastosowanie w rozwiązywaniu problemów praktycznych w obszarze zaspokajania potrzeb systemów. Projektowanie jest działaniem przygotowującym inne działania, które w stosunku do tegoż projektowania są działaniami wykonawczymi¹⁸.

Elementy procesu projektowania

W projektowaniu technicznym wyróżnia się zwykle osiem podstawowych elementów tworzących system projektowania, które określają podmiot, przedmiot i sposób projektowania¹⁹:

- zadanie projektowe, które określa zasadnicze wymagania stawiane przedmiotowi projektowanemu oraz istniejące ograniczenia, które powinno być tak sformułowane, aby stworzyć podmiotowi projektującemu warunki niezbędne do podjęcia procesu projektowania;
- podmiot projektujący, którym może być indywidualny projektant lub zespół projektowy;
- narzędzia projektowania, które obejmują procedury projektowania oraz narzędzia właściwe, zwane pomocami projektowymi;
- proces projektowania, który definiuje się jako uporządkowany (logicznie i organizacyjnie) ciąg czynności projektowych o charakterze twórczym, które wiążą podmiot projektujący z przedmiotem projektowym w ten sposób, że w wyniku działań podmiotu projektującego powstaje w procesie projektowania wytwór projektowania, według którego jest realizowany przedmiot projektowany;
- wytwór projektowania (projekt), który stanowi etap pośredni w procesie realizacyjnym, gdyż kończy proces projektowania i stanowi punkt wyjścia do działań w sferze materialnej (jest wzorem umożliwiającym i ułatwiającym wykonanie zamierzonego przedmiotu);
- podmiot realizujący projekt, to osoba, zakład lub przedsiębiorstwo (system) wraz z materiałami i energią, niezbędnymi do wykonania wytworu projektowania;

¹⁷ R. Wrona, E. Ziółkowski, *Zasady inżynierii projektowania systemów technicznych*, „Archives of Foundry” 2003, Vol. 3, No. 10, Katowice, s. 276.

¹⁸ R. Wrona, E. Ziółkowski, *Zasady inżynierii...*, *op. cit.*, s. 276.

¹⁹ W literaturze określane też mianem czynników projektowania: E. Gąsiorek, *Podstawy projektowania...*, *op. cit.*, s. 18–19.

- proces wytwarzania, który jest definiowany jako ciąg czynności podejmowanych w celu fizycznej (materialnej) realizacji wytworu projektowania;
- przedmiot projektowany, który powstaje po wykonaniu, czyli materialnym zrealizowaniu wytworu projektowania;

Elementy te tworzą fundament systemu projektowania, w którym przebiegają procesy projektowania i zachodzą interakcje pomiędzy elementami tego systemu. Dodatkowo określa się także:

- wymagania projektowe,
- ograniczenia projektowe,
- metody projektowania,
- kryteria optymalizacji i oceny rozwiązania projektowego.

Z pojęciem elementów i systemów projektowania związana jest efektywność procesu projektowania, która uzależniona jest od stopnia spójności systemu projektowania, wzajemnej synchronizacji poszczególnych czynności wchodzących w skład procesu oraz wykorzystania zasobów niezbędnych do jego realizacji. Na efektywność procesu projektowania mają wpływ²⁰:

- czynniki indywidualne, takie jak: wiedza, zdolności, pomysłowość, system wartości, emocje, motywacja,
- czynniki zewnętrzne, takie jak: zdefiniowane zadania, dostępność informacji, środki pracy, środowisko pracy, czas, struktura organizacyjna, decyzje zewnętrzne.

Uniwersalne zasady projektowania technicznego

Zasady projektowania to ogólne wytyczne, które kształtują zarówno myślenie systemowe (pewnego rodzaju filozofię projektowania i zarządzania), jak i praktyczne działanie w rzeczywistości gospodarczej. Sytuacje zewnętrzne oraz wewnętrzne uwarunkowania organizacji i funkcjonowania przedsiębiorstwa rodzą wiele problemów, których rozwiązanie musi być oparte na określonych zasadach²¹.

Punktem wyjścia do formułowania zasad projektowania są uniwersalne prawa projektowania^{22, 23}:

²⁰ M. Oswald, *Projektowanie systemów*, http://www.sms.am.put.poznan.pl/eskrypty_pliki/inzynieriasystemow/projektowaniesystemow.pdf

²¹ A. Stabryła, *Generalne formuły...*, *op. cit.*, s. 170.

²² J.N. Warfield, *Projektowanie ogólne dla inżynierów. Kursowy wykład uniwersytecki, Projektowanie i systemy: zagadnienia metodologiczne nauk praktycznych*, t. 11, Ossolineum, Wrocław 1990, s. 34–37.

²³ A. Stabryła, *Generalne formuły...*, *op. cit.*, s. 170.

- prawo niezbędnej różnorodności, stanowiące o tym, że każda sytuacja projektowa wymaga różnorodności opisu projektowego. Oznacza to, iż każda sytuacja projektowa reprezentuje swoją charakterystyczną przestrzeń, taką, że jeśli projektant definiuje całkowitą liczbę różnych parametrów opisów projektu (ilościowych, jakościowych bądź mieszanych), to mogą zachodzić różne zależności pomiędzy przestrzenią projektową a liczbą parametrów, wskazujące na poziom kontroli projektanta nad projektem;
- prawo niezbędnej oszczędności, zakładające, iż każdy myślący człowiek może operować równocześnie najwyżej siedmioma jednostkami informacji. Próby zmierzające do wykroczenia poza ten zakres możliwej aktywności umysłowej napotykać na fizjologiczne i psychologiczne bariery wykluczające poprawne rozumowanie (choć może zdarzyć się, że uzyska się prawidłowe rezultaty rozumowania). Można przyjąć, że jednostki informacji stanowią zmienne (tworzące określony układ współrzędnych projektowych), które percepcja człowieka jest w stanie współcześnie ogarnąć;
- prawo niezbędnej wyrazistości, według którego czynniki sytuacyjne, które trzeba uwzględnić w czasie projektowania, rzadko występują z jednakową wyrazistością. Zazwyczaj jeden z nich jest najwyraźniejszy i dominuje tak, że ogranicza i determinuje w pewien sposób projektowanie. Czynniki ograniczające projektowanie w danym kroku może później, wraz ze zmianą sytuacji projektowej, utracić swą wyrazistość, ale wtedy jego miejsce zajmie inny czynnik.

Przedstawione prawa pozostają w korelacji z ogólnymi, uniwersalnymi zasadami projektowania technicznego, do których należą²⁴:

1) Zasada celowości:

- opis zamierzenia tego, co chce się osiągnąć,
- określenie celu ogólnego (wizji) przedsięwzięcia,
- opracowanie klasyfikatora celów,
- wskazanie aspektów przewidywanych rezultatów (aspekty: techniczny, produkcyjny, ekonomiczny, społeczny),
- generalne formuły postępowania badawczego w procesie projektowania.

2) Zasada myślenia strategicznego:

- przeprowadzenie kompleksowej analizy sytuacji zewnętrznych i uwarunkowań wewnętrznych,
- przedkładanie celów perspektywicznych nad cele bieżące (odpowiednio: korzyści),
- koncentracja na zadaniach projektowych o pierwszorzędnej randze,
- stosowanie strategii projektowych.

²⁴ *Ibidem*, s. 170–171.

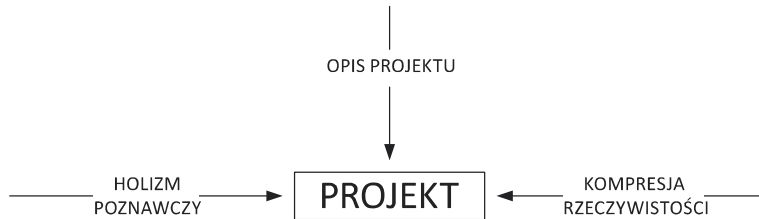
- 3) Zasada klasyfikacji:
 - podział projektu na części składowe,
 - klasyfikacja funkcji projektu,
 - respektowanie – w odniesieniu do wyżej wymienionych klasyfikacji – wymogu istnienia, rozłączności i zupełności.
- 4) Zasada komplementarności:
 - efektywne i uzasadnione wzbogacanie funkcji projektu, a jednocześnie respektowanie dezyderatów zlecniodawcy,
 - dążenie do nadania podobnej funkcjonalności projektu, np. w zakresie trwałości działania, niezawodności, wytrzymałości, jakości,
 - dbałość o prakseologiczną czystość wytworu projektowania, polegającą na „niewłączaniu do całości lub usuwaniu z całości wszystkiego, co nie jest niezbędne”.
- 5) Zasada podejścia systemowego:
 - zastosowanie metodologii ogólnej teorii systemów: realizacja idei podejścia całościowego do projektowania,
 - traktowanie projektu jako wytworu wielowymiarowego (określonego przez determinanty konstrukcyjne, ergonomiczne, technologiczne, ekonomiczne, marketingowe, ekologiczne),
 - dążenie do osiągnięcia i utrzymania spójności wszystkich części składowych projektu ze względu na złożone cele,
 - kształtowanie struktury i funkcji projektu w taki sposób, aby uzyskać maksymalny efekt synergiczny.
- 6) Zasada systematyczności:
 - planowe i regularne dokonywanie zmian,
 - programowanie rozwoju,
 - konsekwentne respektowanie wizji projektowej (zob. zasada celowości).
- 7) Zasada podejścia sytuacyjnego:
 - takie kształtowanie relacji między wytworem projektowania a otoczeniem, aby wyrażała wzajemne dopasowanie tych stron,
 - respektowanie formuły adaptacyjnej względem sytuacyjnych wymogów działania zarówno w odniesieniu do uwarunkowań technicznych, eksploatacyjnych, ekologicznych, jak i rynkowych oraz ogólnokulturowych (osiągnięcie „kompromisu projektowego” jako kontekstu wytworu projektowania),
 - strategię projektowe to określone podejścia, jakie wykorzystuje się w rozwiązywaniu zadań projektowych, zwłaszcza przy wariantowaniu.

- 8) Zasada wykorzystania inwencji projektantów:
 - dążenie do pełnego, praktycznego zastosowania umiejętności projektantów,
 - organizowanie interdyscyplinarnych zespołów projektowych, stałych lub doraźnych,
 - stosowanie systemu zarządzania wiedzą.
- 9) Zasada wykonalności:
 - praktyczna możliwość realizacji projektu zarówno pod względem parametrów technicznych, jak i organizacyjnych,
 - zabezpieczenie finansowe przedsięwzięcia,
 - dopuszczalny poziom ryzyka projektu.
- 10) Zasada kontroli:
 - system monitorowania i nadzorowania realizacji projektów,
 - controlling projektów,
 - instrumenty kompensacji niezgodności realizacji projektu z założeniami,
 - kontrolne działania zapobiegawcze.

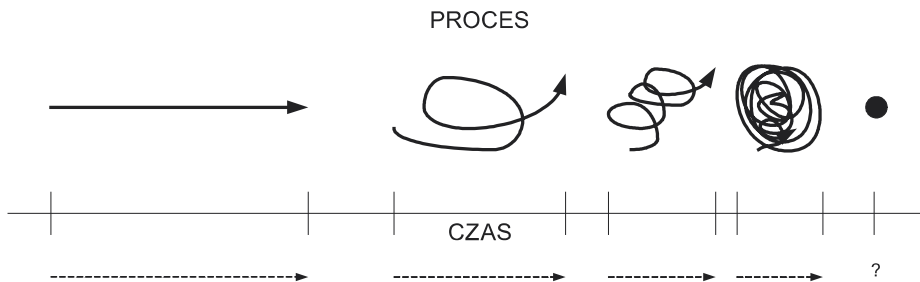
We współczesnym opisie zjawisk zaobserwować można dwie tendencje. Z jednej strony chęć do jak najdokładniejszego odwzorowania rzeczywistości, a z drugiej wszechobecna redukcja tejże rzeczywistości, wyrażona poprzez skracanie czasu na dokładne jej poznanie. Redukcja czasu poznawczego określana jest mianem tzw. kompresji rzeczywistości (rysunek nr 1).

Lokalizacja punktu opisu/oceny/pomiaru w skali czasu wynika z chęci jak najpełniejszej oceny zachodzących zjawisk (im więcej kryteriów [mierników] tym pełniejszy opis), jak i konieczności redukcji kryteriów oceny (brak pełnego opisu zjawisk celem skrócenia czasu opisu całego systemu). Zatem w projektowaniu wykorzystywana jest dodatkowo:

- 11) Zasada kompresji czasowej, przejawiająca się w postaci skracania czasu projektowania – im szybciej powstanie projekt, tym większa wartość dla klienta (rysunek nr 2),
- 12) Zasada szczupłości projektowej, która oznacza wyeliminowanie lub zredukowanie już na etapie projektowania, wszystkich czynności, które w oczach klienta nie będą generować wartości w fazie eksploatacji projektu, tym samym redukując czas realizacji projektu.
- 13) Zasada modułowości, która oznacza tworzenie wymiennych modułów projektu (modułów alternatywnych), mogących się wzajemnie zastępować, w zależności od zaistniałej sytuacji, zwiększając w ten sposób elastyczność rozwiązania.

Rysunek 1. Ruchomy punkt opisu procesu/projektu

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2. Redukcja czasu trwania procesów

Źródło: opracowanie własne.

Etapy projektowania technicznego

Projektowanie jest procesem złożonym z następujących po sobie czynności projektowych, podzielonych na etapy realizacji. Na podstawie kroków roboczych procesu konstruowania, podanych przez G. Pahla i W. Beitz²⁵ można wyróżnić podstawowe etapy projektowania technicznego²⁶:

- 1) Etap formułowania zadania:
 - analiza danych, w tym danych o systemach podobnych,
 - sformułowanie celu istnienia projektowanego systemu,
 - sprecyzowanie zadania,
 - sporządzenie listy wymagań,
 - sporządzenie listy wymagań i oczekiwań użytkowników,
 - precyzyjne sformułowanie celu istnienia systemu.
- 2) Etap projektu koncepcyjnego:
 - identyfikacja problemów istotnych,

²⁵ L. Hempel, *Procedura projektowania systemów „człowiek – obiekt techniczny”*, http://nop.ciop.pl/m7-4/m7-4_1; na podstawie: G. Pahl, W. Beitz, *Nauka konstruowania*, WNT, Warszawa 1984.

²⁶ Uzupełnione czynnościami wynikającymi z uwzględnienia czynnika ludzkiego: L. Hempel, *Procedura projektowania systemów...*, *op. cit.*

- określenie struktur funkcji składowych,
 - wstępny rozdział funkcji,
 - ustalenie kryteriów do oceny stopnia wypełnienia poszczególnych funkcji,
 - stworzenie dla zadań specjalnych schematów funkcjonalnych uwzględniających następstwa działań i charakterystyki nadchodzących informacji,
 - uściślenie danych o zasobach i ich lokalizacji,
 - dokładne kształtowanie postaci konstrukcyjnej obiektu technicznego i określenie postaci środowiska pracy dla wybranych wariantów projektu,
 - wartościowanie według kryteriów: technicznych, technologicznych, ekonomicznych i społecznych.
- 3) Etap przygotowania projektu:
- przygotowanie danych do projektowania systemu, w tym: systematyzacja informacji o czynniku ludzkim, synteza zadań w celu stworzenia struktury działań operatora, określenie przeciążeń operatora, określenie stopnia pewności realizacji zadań przez człowieka, specyfikacja działań człowieka (szczegółowy rozdział funkcji),
 - końcowe kształtowanie postaci konstrukcyjnej projektu ostatecznego,
 - sformułowanie niezbędnych instrukcji.
- 4) Przygotowanie projektu realizacyjnego:
- przygotowanie elementów (obiektów technicznych), z którymi będzie współpracował człowiek,
 - wybór i szkolenie pracowników – opracowanie środków wspomagających,
 - opracowanie dokumentacji technicznej,
 - uzupełnienie dokumentacji technicznej o przepisy produkcyjne, montażowe, transportowe i zakładowe,
 - sporządzenie dokumentacji.

Inne zestawienie kolejnych faz projektowania przedstawił A. Stabryła²⁷, przypisując procesowi projektowania znamiona projektu.

- 1) Faza prac analityczno-badawczych (w projektowaniu usprawniającym):
- identyfikacja stanu faktycznego systemu,
 - diagnoza,
 - programowanie zmian,
- lub (w projektowaniu bazowym):
- analiza sytuacyjna,
 - projektowanie systemu celów,
 - opracowanie koncepcji modelowej.
- 2) Faza planowania przebiegu i zasobów projektu:
- planowanie cyklu projektowo-realizacyjnego,

²⁷ A. Stabryła, *Generalne formuły...*, *op. cit.*, s. 178.

- przygotowanie studium wykonalności,
 - organizacja systemu zarządzania projektami,
 - opracowanie harmonogramów,
 - kosztorysowanie,
 - budżetowanie,
 - kontrola,
 - implementacja informatycznych narzędzi zarządzania projektami.
- 3) Faza projektowania zasadniczego.
- Etap przygotowawczy:
- definiowanie projektu,
 - sformułowanie założeń i zadań projektowych,
 - zestawienie parametrów przedmiotu projektowania,
 - dobór kryteriów wyboru rozwiązań projektowych,
 - obiektywizacja kryteriów wyboru rozwiązań projektowych.
- Etap podstawowy:
- opracowanie projektu wstępnego i wariantowanie rozwiązań,
 - wybór wariantu racjonalnego,
 - weryfikacja projektu wstępnego,
 - podjęcie decyzji o realizacji przedsięwzięcia,
 - projektowanie szczegółowe i koordynacja projektów cząstkowych.
- Etap końcowy:
- ustalenie dopuszczalnych zmian w projekcie podczas wdrożenia,
 - weryfikacja projektu szczegółowego,
 - odbiór projektu szczegółowego.
- 4) Faza projektowania procesu realizacji przedsięwzięcia:
- projektowanie systemu logistycznego dla procesu wdrożeniowego,
 - projektowanie rozruchu i wstępnej eksploatacji,
 - projektowanie systemu kontroli procesu wdrożeniowego,
 - opracowanie mapy procesów operacyjnych,
 - ustalenie normatywów procesów operacyjnych,
 - planowanie operacyjne,
 - projektowanie systemu monitorowania procesów operacyjnych.

Tradycyjne podejście do projektowania

Projektowanie systemów technicznych bazuje na koncepcjach ogólnych, w wyniku stosowania których następuje łączenie elementów w system w procesie scalania. To scalanie powinno respektować dwa generalne postulaty²⁸:

²⁸ T. Kotarbiński, *Traktat o dobrej robocie*, Ossolineum, Wrocław–Warszawa–Kraków 1975, s. 202.

- jeden to włączanie do całości wszystkiego, co niezbędne,
- drugi zaś, to niewłączanie do całości lub usuwanie z całości wszystkiego, co zbędne.

Projektowanie tradycyjne swoje źródła czerpie z:

- teorii uczenia się, zyskiwania doświadczeń i reakcyjności, polegającej na poszukiwaniu rozwiązań, które okazywały się skuteczne w przeszłości,
- imitacji i porównania, polegającego na porównaniu i naśladowaniu najlepszych wzorców występujących w otoczeniu,
- przewidywania, polegającego na przewidywaniu przyszłości i dostosowaniu projektów do przyszłych warunków ich funkcjonowania,
- beczynności, polegającej na wierze, że problemy imitujące nowe rozwiązanie projektowe znikną.

Wybór źródła, jak i sposobu projektowania systemu zależy od projektanta i to od jego preferencji uzależniony jest wybór podejścia do projektowania. Podejście do projektowania systemu uzależnione jest także od tego, czy:

- jest jasno sprecyzowany cel działania systemu,
- ten cel wyłoni się w trakcie projektowania.

Rozpoczynając projektowanie w podejściu tradycyjnym, z reguły cel funkcjonowania przedmiotu projektowania jest z góry ustalony i pod jego realizację system jest optymalizowany. Coraz częściej jednak w praktyce projektowania cel projektowy jest niejednoznaczny. Postulaty tworzenia systemów „bez z góry określonego celu” wynikają z ogólnych tendencji do budowy organizacji opartych na okazjach i teorii chaosu, w odpowiedzi na tzw. turbulencje w otoczeniu. Wynikają one w pewnym sensie z koncepcji budowy systemu zakładającej usuwanie z jego pierwotnej struktury elementów niepotrzebnych (analogia do procesów odwróconych opartych na postulacie, iż skuteczniej realizować proces poprzez unikanie niezrealizowania go). Z kolei systemy projektowane do osiągnięcia założonego i wcześniej zdefiniowanego celu cechują się sztywnością organizacyjną (ograniczoną elastycznością), której wyeliminowanie w fazie eksploatacji systemu jest bardzo kosztowne.

Podejścia do tradycyjnego projektowania systemów technicznych wynikają z przyjętych na wstępie założeń. Dotychczas wykorzystywane podejścia do projektowania można podzielić na dwie grupy:

- projektowane od ogółu do szczegółu (ang. *top-bottom approach*), charakterystyczne dla ogólnej teorii systemów i podejścia holistycznego w naukach technicznych i społecznych,
- projektowane od szczegółu do ogółu (ang. *bottom-up approach*), charakterystyczne dla podejścia redukcjonistycznego.

Istotnym czynnikiem determinującym wybór podejścia do projektowania jest poziom docelowej elastyczności i kosztocłonności systemu. W związku z tym tradycyjne podejście do projektowania wykorzystywane jest tylko do konstruowania tradycyjnych form struktur systemów wytwarzania. Do budowy nowoczesnych form struktur, w tym systemów sieciowych, dedykowanym podejściem jest podejście holoniczne.

Holoniczne podejście do projektowania

Opisane dwa tradycyjne podejścia do projektowania są w przypadku nowoczesnych systemów wytwarzania, funkcjonujących w warunkach rozproszenia zasobów, nieadekwatne, ponieważ organizowana w nich struktura oparta jest na stałej hierarchii poszczególnych elementów systemu, która precyzyjnie określa miejsce i ich rolę w systemie²⁹. Tak zorganizowana struktura, określana mianem hierarchicznej, jest strukturą sztywną, o ograniczonej możliwości do adaptacji do warunków otoczenia ze względu na elastyczność strukturalną. Z drugiej strony udzielenie pełnej autonomii poszczególnym elementom systemu, prowadzące do organizacji struktury określanej mianem heterarchicznej, sprawia, że powstająca struktura nie jest stabilna w czasie³⁰. Struktura systemu wytwarzania powinna być zorganizowana w taki sposób, aby była luźna i elastyczna, a głównie z uwagi na cechy tego systemu, tymczasowa³¹. Hierarchia, jako narzędzie zorganizowania struktury zapewnia możliwość globalnej optymalizacji i stabilność, natomiast autonomia poszczególnych elementów systemu zapewnia możliwość szybszej reakcji na zakłócenia funkcjonowania systemu, zarówno te o charakterze zewnętrznym, jak i wewnętrznym³². Rozwiązanie tego istotnego z punktu widzenia organizacji systemu problemu, odnaleźć można w teoriach adaptacyjnych systemów złożonych, a w szczególności w teorii holonu. Teoria holonu³³, jest jedną z wielu, które miały na celu stworzenie abstrakcyjnego systemu wyjaśniania zjawisk społecznych i przyrodniczych, podobnie jak wiele

²⁹ K. Czajka, *Założenia procesu organizacji sieciowego systemu wytwarzania w warunkach rozproszenia zasobów*, [w:] *Metodyczno-instrumentalne aspekty inżynierii produkcji*, M. Dudek, A. Madyda, D. Sala, W. Waszkielewicz (red.), Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2014, s. 51.

³⁰ H. Van Brussel, L. Bongaerts, J. Wyns, P. Valckenaers, T. Van Ginderachter, *A conceptual framework for Holonic manufacturing: identification of manufacturing holons*, „Journal of Manufacturing Systems” 1999, Vol. 18, No. 1, s. 35–52.

³¹ K. Czajka, *Założenia procesu organizacji...*, *op. cit.*, s. 51.

³² P. Valckenaers, F. Bonneville, H. Van Brussel, L. Bongaerts, J. Wyns, *Result of Holonic Control System Benchmark at the KULeuven*, Proceedings of Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology, New York 1994, s. 128–133.

³³ Słowo holon jest kombinacją greckiego słowa *holos* – oznaczającego całość i przedrostka *on*, który jest protonem lub neutronem sugerując część lub cząstkę. Jednocześnie słowo

ówczesnych jej światopoglądów i koncepcji jak holizm, monadyzm czy redukcjonizm³⁴. Koncepcja holonu, integrując redukcjonistyczny i mechanistyczny światopogląd z całościowym i humanistycznym światopoglądem w naukach psychologicznych, przyczyniła się do powstania modelu mającego zastosowanie zarówno w analizie mikro-poziomu indywidualności i makro-poziomu zbiorowości³⁵. Teoria holonu wydaje się być odpowiednią podstawą do budowania organizacji systemu wytwarzania w warunkach rozproszonych zasobów, gdyż holon, jako systematyczny sposób odnoszenia się do relacji pomiędzy elementami fizycznymi systemu³⁶, pozwala na zastosowanie jej do organizacji systemu w formie przedmiotowej jako struktury sieci relacji między elementami.

Interaktywne podejście do projektowania

Podejście interaktywne jest takim myśleniem o zadaniu projektowym, które można przedstawić w sposób zładnie prosty: „w rozwiązywaniu problemów, praktycznie dowolnego rodzaju, można uzyskać najlepsze wyniki dzięki wyobrażeniu sobie idealnego rozwiązania, a następnie cofnięciu się aż do miejsca, w którym znajduje się obecnie. Dzięki temu unika się urojonych przez siebie przeszkód, zanim zdefiniuje się ideał rozwiązania projektowego”³⁷. Projektowanie „wstecz” to projektowanie od wyobrażenia rozwiązania idealnego do rozwiązania obecnego, w którym znajduje się system.

Proces projektowania interaktywnego składa się z dwóch części³⁸:

- idealizacji, na którą składa się: określenie zamętu i planowanie celów,
- realizacji, na którą składa się: planowanie środków i planowanie zasobów, projektowanie wdrożenia i projektowanie instrumentów kontrolnych.

Zamęt to zbiór wzajemnie oddziaływujących na siebie zagrożeń i okazji, a celem jego sformułowania jest ustalenie, w jaki sposób system z czasem doprowadziłby się do samozniszczenia, gdyby nadal działał tak samo³⁹. Zdefiniowanie zamętu sprowadza się do określenie działań, których system musi unikać. Określenie zamętu systemu obejmuje cztery kroki⁴⁰:

holos sugeruje holizm i związaną z nim hierarchię, natomiast *przedrostek on* sugeruje atomizm. (M.G. Edwards, *A brief history of holons*, <http://www.integralworld.net/edwards13.html>)

³⁴ M.G. Edwards, *The integral holon. A holonomic approach to organisational change and transformation*, „Journal of Organizational Change Management” 2005, Vol. 18, No. 3, s. 271.

³⁵ *Ibidem*, s. 271.

³⁶ A. Koestler, *The Ghost in the Machine*, Arkana Books, London 1989.

³⁷ R.L. Ackoff, J. Magidson, H. Addison, *Projektowanie ideału. Kształtowanie przyszłości organizacji*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2007, s. 3.

³⁸ *Ibidem*, s. 4.

³⁹ *Ibidem*.

⁴⁰ *Ibidem*.

- analizę systemu, czyli szczegółowy opis tego, w jaki sposób system obecnie funkcjonuje (np. za pomocą mapowania),
- analizę przeszkód, czyli rozpoznanie cech i właściwości systemu, które utrudniają osiągnięcie postępu lub przeciwstawiają się zmianom,
- prognozę przyszłości systemu, czyli określenie przyszłości systemu przy założeniu nie wprowadzania żadnych zmian,
- prezentację zamętu, realizowaną poprzez połączenie obecnego stanu systemu i jego projekcji referencyjnej w scenariusz możliwej przeszłości.

Planowanie celów wiąże się z określeniem stanu systemu zgodnie z życzeniami co do jego stanu idealnego oraz określeniem luki pomiędzy projektem idealnym a stanem obecnym.

Planowanie kierunków (środków) polega na określeniu możliwych działań zmierzających do osiągnięcia ideału i unikających samozniszczenia (np. adekwatne strategie, działania, kierunki itp.).

Planowanie zasobów polega na określeniu: jakie zasoby są niezbędne do wprowadzenia zmian zmierzających do ideału zorganizowania oraz na ich kwantyfikacji, a w szczególności⁴¹:

- na określeniu, ile potrzeba zasobów każdego rodzaju,
- na określeniu, ile zasobów każdego rodzaju będzie do dyspozycji w pożądanym miejscu i czasie oraz ustaleniu różnicy pomiędzy tym, co będzie potrzebne i będzie dostępne,
- na ustaleniu strategii w przypadku wystąpienia nadmiaru lub niedoboru zasobów.

Projektowanie wdrożenia polega na opracowaniu harmonogramu działania i przydziale zasobów niezbędnych do zrealizowania zadań.

Projektowanie instrumentów kontrolnych polega między innymi na:

- ustaleniu sposobów monitorowania harmonogramów (czasów, zużycia zasobów itp.),
- wprowadzaniu korekt w przypadku niepowodzeń realizacji planów,
- ustaleniu sposobów monitorowania skutków podejmowanych decyzji.

Wynikiem zastosowania podejścia interaktywnego do projektowania systemu technicznego jest między innymi⁴²:

- lepsze zrozumienie obiektu projektowania,
- przekształcenie świadomości projektantów dotyczących tego, co jest realnie możliwe,
- uproszczenie procesu projektowania,
- zwiększenie kreatywności,
- ułatwienie wdrożeń.

⁴¹ *Ibidem*, s. 5.

⁴² *Ibidem*, s. 8.

Projektowanie współbieżne

Projektowanie współbieżne powstało na bazie definicji inżynierii współbieżnej CE (*Concurrent Engineering*), którą definiuje się jako systematyczne podejście do zintegrowanego, współbieżnego rozwoju produktu i związanych z nim procesów, który kładzie nacisk na zaspokojenie oczekiwań klientów, obejmuje zespołowe wartości współpracy i udziału w długich okresach czasu pracy równoległej przez wszystkie fazy cyklu życia produktu⁴³. Ideą inżynierii współbieżnej jest redukcja cyklu realizacji zadania, poprzez lepszą integrację działań i procesów. Zaleca ona integrację i równoległe podejście w procesie projektowania. W efekcie prowadzi to do równoległego, zamiast szeregowego, wykonywania etapów (faz) projektu, co powoduje skrócenie czasu realizacji danego zadania projektowego. Inżynieria współbieżna (inżynieria symultaniczna – jednoczesna) polega na nowej strategii zarządzania pracą zespołową w organizacjach ze sobą współpracujących⁴⁴.

Projektowanie współbieżne można zdefiniować jako proces, który umożliwia zastąpienie tradycyjnego, sekwencyjnego cyklu wykonywania kolejnych zadań cyklem współbieżnym, równoległym. Projektowanie takie pewne fazy etapów projektowania sprowadza do wspólnego wymiaru i umożliwia wspólne i równoległe jego opracowanie⁴⁵. Projektowanie współbieżne polega na równoległym, zintegrowanym działaniu, przy odpowiednim uwzględnieniu czynników technicznych, ekonomicznych i eksploatacyjnych (niezawodności, trwałości, ochrony środowiska itp.), a także subiektywnych życzeń i upodobań klientów⁴⁶.

Projektowanie współbieżne jest także pewnym systemem, który łączy ze sobą trzy podstawowe czynniki oparte na projektowaniu i produkcji, a są to: czas, koszty i jakość⁴⁷. Dzięki temu system jest w lepszy sposób przygotowany do spełniania wymagań klienta, które są uwzględniane już w fazie projektowania. Projektowanie współbieżne jest więc nastawione na rozwój procesów, produktów, systemów z równoczesnym spełnieniem wymagań klienta oraz znacząco różni się w podejściu do przebiegu procesu i miejsca klienta, niż dzieje się to w tradycyjnym podejściu do projektowania⁴⁸, co przedstawia tabela nr 1.

⁴³ Z. Mazur, M. Dudek, G. Mazur, K. Kovalchuk, D. Kozenkov, *Procesy logistyczne w systemie wytwarzania*, Scriptorium Textura, Kraków 2005, s. 33.

⁴⁴ *Ibidem*, s. 33.

⁴⁵ Por.: S. Borkowski, R. Ulewicz, *Zarządzanie produkcją. Systemy produkcyjne*, Oficyna Wydawnicza Humanitas, Sosnowiec 2008.

⁴⁶ K. Grudziński, J. Ratajczak, W. Jaroszewicz, *Wpływ sposobu montażu maszyn i urządzeń na jakość i konkurencyjność produktu finalnego. Projektowanie i zarządzanie realizacją produkcji – wybrane zagadnienia*, Materiały konferencyjne: *Metody i środki realizacji konkurencyjnych wyrobów przemysłu maszynowego*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2005.

⁴⁷ S. Borkowski, *Systemy produkcyjne...*, ORGMASZ, Warszawa 2009, s. 80.

⁴⁸ S. Borkowski, R. Ulewicz, *Zarządzanie produkcją. Systemy produkcyjne*, op. cit., s. 119.

Tabela 1. Porównanie cech projektowania w ujęciu tradycyjnym i współbieżnym (CE)

Ujęcie tradycyjne	Projektowanie współbieżne
Funkcjonalny podział zadań	Wielofunkcyjne wypełnianie zadań
Rozwój wyrobu i procesów jest procesem ciągłym	Procesy i wyroby rozwijają się równolegle
Dostawca jest przeciwnikiem w grze na rynku	Dostawca jest partnerem we współpracy
Wyrób jest modyfikowalny	Wyrób jest współtworzony przez klienta
Koszt jest najczęściej instrumentem kontroli	Czas jest najważniejszym instrumentem kontroli
Do osiągnięcia celu podawane są wytyczne	Zysk jest celem nadrzędnym
Niezdecydowane reakcje na ruch na rynku	Scenariusze trendów rynkowych
Ukrywanie słabości organizacji	Odślanianie słabości organizacji
Równoległa praca nad różnymi projektami	Koncentracja na jednym projekcie

Źródło: S. Borkowski, R. Ulewicz, *Zarządzanie produkcją...*, *op. cit.*

Projektowanie sekwencyjne charakteryzuje się podziałem na zadania funkcjonalne, gdzie koniec lub korekta jednego zadania warunkuje rozpoczęcie kolejnego. Projektowanie współbieżne zaś cechuje się ideą interaktywnego działania (w procesie projektowania uwzględnione są wymagania i sugestie klientów)⁴⁹.

Projektowanie współbieżne opiera się na trzech filarach⁵⁰:

- równoległego wykonywania niektórych procesów,
- standaryzacji polegającej na ujednoczeniu różnych aspektów w procesie rozwoju produktów – jeżeli zadania rutynowe będą zredukowane, to więcej czasu pozostanie na innowację i prace koncepcyjne,
- integracji, według założeń której na ogólny proces rozwoju mają wpływ zadania znajdujące się w różnych procesach, a podstawą skutecznego projektowania współbieżnego jest ich integracja.

Do pełnego wykorzystania założeń projektowania współbieżnego niezbędne są dwa współpracujące ze sobą elementy⁵¹:

- zespoły projektowe, które tworzy się oddzielnie dla każdego projektowanego obiektu,
- system komputerowy, który odpowiada za właściwy przebieg procesów projektowania oraz planowania wytwarzania i który dzięki odpowiedniej konfiguracji zapewnia dostęp do usystematyzowanych danych i ich integrację.

⁴⁹ D. Burchart-Korol, J. Furman, *Zarządzanie produkcją i usługami*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007, s. 112.

⁵⁰ E. Pająk, *Zarządzanie produkcją, produkt, technologia, organizacja*, PWN, Warszawa 2006, s. 48.

⁵¹ [http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/w18_\(CAD\).pdf](http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/w18_(CAD).pdf) (22.07.2015).

Istotą projektowania współbieżnego jest praca zespołowa nad wygenerowanym i zatwierdzonym tzw. zamrożonym modelem przeszłego rozwiązania⁵². Każdy z członków grupy projektowej powinien mieć wgląd w tworzony projekt, mając tym samym możliwość wpływu na jego bieżący rozwój. Instrumentem kierowania projektowaniem jest CAPP (*Computer Aided Process Planning*), którego narzędziami są⁵³:

- systemy wspomaganie projektowania CAD (*Computer Aided Design*),
- systemy wspomaganie analiz inżynierskich CAE (*Computer Aided Engineering*),
- systemy wspomaganie wytwarzania CAM (*Computer Aided Manufacturing*),
- systemy wspomaganie projektowania technologii CAP (*Computer Aided Planning*),
- systemy wspomaganie projektowania produkcji PPC (*Production Planning and Control*),
- bazy danych o wyrobach czy
- systemy zarządzania projektem.

Wykorzystanie podejścia projektowania współbieżnego do konstruowania szczupłych systemów wytwarzania przynosi między innymi takie korzyści, jak⁵⁴:

- skrócenie czasu projektowania w porównaniu z sekwencyjnym cyklem projektowania,
- zmniejszenie kosztów funkcjonowania systemu i projektu wyrobu, które w pierwszym okresie są nieco większe w porównaniu z sekwencyjnym projektowaniem, ale w efekcie eliminacji nawrotów i poprawek są one dużo mniejsze,
- wyeliminowanie powtarzających, dublujących się czynności i procesów, czyli strat z tytułu przeprocesowania.

W procesach projektowania szczupłych systemów technicznych można wykorzystać wszystkie z osobna, jak i wszystkie razem podejścia do projektowania, pod warunkiem określenia podstawowego celu projektowego. Tym podstawowym celem powinna być eliminacja i redukcja wszelkiego rodzaju strat w fazie projektowej, jak i w eksploatacyjnej. Pomocne w tym zakresie może być tzw. szczupłe projektowanie.

⁵² K. Szatkowski (red.), *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*, PWN, Warszawa 2014, s. 107.

⁵³ K. Szatkowski, *Przygotowanie produkcji*, PWN, Warszawa 2008, s. 156–171.

⁵⁴ S. Borkowski, R. Ulewicz, *Zarządzanie produkcją...*, *op. cit.*, s. 120.