ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: ENERGETYKA z. 65 Nr kol. 561

Wojciech GASPARSKI

Instytut Organizacji i Kierowania
PAN - Warszawa

O LOGICZNEJ TEORII PROJEKTOWANIA ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM PROJEKTOWANIA INŻYNIERSKIEGO

Streszczenie. Jednym z kierunków współczesnych badań nad projektowaniem jest logiczna teoria projektowania. Jej przedmiotem jest systematyczna rekonstrukcja procedury projektowania, metodą zaś idealizacja. Do głównych zadań logicznej teorii projektowania należy opracowanie środków kontroli metodologicznej rozwiązań projektowych. W artykule naszkicowano zagadnienia wiążące się z kontrolą adekwatności i trafności rozwiązania problemu projektowego w projektowaniu inżynierskim.

1. Wstęp

Coraz więcej obszarów aktywności człowieka staje się przedmiotem systematycznych badań naukowych. Dwie są tego przyczyny:

a) przyczyna obiektywna - niewystarczalność intuicji opartej na indywidualnym doświadczeniu do tego, by sprawnie wykonywać rozmaitego rodzaju działania;

b) przyczyna subiektywna - zainteresowanie coraz liczniejszej rzeszy badaczy nowymi, dotychczas nie podejmowanymi lub podejmowanymi tylko sporadycznie kierunkami badań.

Trudno tu o lepszy przykład niż przykład samej nauki, która stała się przedmiotem naukowej obserwacji na gruncie naukoznawstwa. Otóż na styku tej, kształtującej się od ponad czterdziestu lat, dyscypliny [1] oraz nieco starszej od niej, bo liczącej niespełna lat siedemdziesiąt, nauki o sprawności działań - prakseologii [2] rozwijają się od pewnego czasu dociekania mające za swój przedmiot projektowanie. Dociekania te nazwać by można łącznie projektoznawstwem; niektórzy nazywają je nauką o projektowaniu.

Na projektoznawstwo składa się wiele wątków [3] od refleksji samych projektantów nad własną działalnością oraz dydaktyków projektowania nad jego nauczaniem poczynając, poprzez studia prowadzone na gruncie różnych dyscyplin naukowych w tym m.in. filozofii, historii, ekonomii, aż po skrupulatnie zaprogramowane badania empiryczne, głównie psychologiczne i socjologiczne oraz badania teoretyczne prowadzone przede wszystkim na gruncie metodologii, a w szczególności jej części głównej - logiki projektowania.

Niektóre elementy logicznej teorii projektowania zostały naszkicowane w tym artykule (z konieczności pobieżnie).

2. Przedmiot i metoda logicznej teorii projektowania

Nie ma jak dotąd jednej, ogólnie przyjętej teorii projektowania. Nie ma się zresztą czemu dziwić, skoro projektowanie stało się przedmiotem badań metodologicznych od niedawna przecież. W tej sytuacji usprawiedliwione wydaje się sięganie po doświadczenia metodologii nauk zajmującej się budową teorii postępowania poznawczego (tj. badań naukowych) od znacznie dłuższego czasu niż czyni to metodologia projektowania w odniesieniu do postępowania projektotwórczego.

W metodologii nauk podstawowe miejsce zajmuje logiczna teoria nauki [4] której zadaniem jest określanie wiedzy o nauce, niezbędnej do poznania rzeczywistości, na drodze budowy teorii opisującej badany właśnie fragment tejże rzeczywistości.

Podobnie w metodologii projektowania miejsce takie przypada logicznej teorii projektowania. Teoria ta określać ma wiedzę konieczną i wystarczającą do świadomego, w sensie metodologicznym, projektowania, zmierzającego do zmiany rzeczywistości. Zmiana ta, a właściwie jej koncepcyjne przygotowanie, kształtowana jest na drodze budowy modelu obiektu mającego zastąpić niesatysfakcjonujący fragment rzeczywistości.

Metodą logicznej teorii projektowania jest odtwarzanie toku postępowania projektanta. Tok ten, zwany procedurą projektowania, wyjaśnia racje, którymi kierował się projektant tworząc takie a nie inne rozwiązanie.

Odtwarzanie procedury projektowania nazywa się systematyczną racjonalizacją. Nietrudno zauważyć, że systematyczna racjonalizacja postępowania różnych projektantów projektujących nie tylko obiekty jednej klasy, ale także projektujących obiekty rozmaitych klas prowadzi do ujawnienia powtarzających się fragmentów procedury - fragmentów niezmienniczych.

Otóż logiczna teoria projektowania zainteresowana jest takimi właśnie uniwersaliami procedury projektowania. Niezmienniki te bowiem stanowią istotę postępowania projektotwórczego, w odróżnieniu od pozostałych, podlegających zmianom, części procedury odzwierciedlających postawę twórcy-projektanta. Dodajmy, że niezmienniki charakterystyczne dla poszczególnych rodzajów projektowania badają szczegółowe metodologie projektowania, np. projektowania inżynierskiego.

Badania niezmienników projektowania mogą być prowadzone dwoma sposobami:

a) na drodze obserwacji i opisu realizowanych w praktyce projektowania procedur rozwiązywania problemów projektowych przez poszczególnych projektantów;

b) na drodze analizy zachowań tzw. "idealnego projektanta".

Ta pierwsza metoda bliższa jest badaniom psychologicznym, w szczególności nurtowi znanemu pod nazwą psychologii rozwiązywania problemów. Logicznej teorii projektowania, podobnie jak logicznej teorii nauki, właściwa jest metoda idealizacyjna.

Pod pojęciem "projektanta idealnego" rozumie się tu pewien twór abstrakcyjny, którego opis zachowania - podobnie jak opis zachowania innych tworów idealnych, takich jak np. gazu doskonałego - umożliwia zdanie sprawy z istoty zjawiska, w tym przypadku projektowania. Metoda idealizacji pozwala na rozpatrywanie zagadnienia przy założeniu m.in., że przestrzeń czynników istotnych rozważanych w danym okresie w nauce i projektowaniu nie jest kwestionowana, a także przy założeniu, że projektant nie akceptuje zmian innych niż zmiany właściwe (relewantne). Koncepcji tej nie będziemy w tym miejscu rozwijać, odsyłając zainteresowanych do pracy źródłowej [5].

3. Trafność i adekwatność rozwiązania problemu projektowego

Rozwiązaniem problemu projektowego, w szczególności w projektowaniu inżynierskim, jest model praktyczny szczegółowy maszyny, urządzenia, procesu itp. Model ten wyrażony jest w postaci dokumentacji technicznej za pomocą opisu werbalnego i opisu graficznego. Jest więc ów model (projekt) mniej lub bardziej obszernym wyrażeniem (zespołem wyrażeń) języka projektowania inżynierskiego.

W ogólnym, idealizacyjnym ujęciu projekt rozwiązania technicznego jest opisem systemu[x)] (technicznego).

Funkcjonowanie dowolnego systemu technicznego może być rozpatrywane pod dwoma względami:

a) funkcjonalnym, polegającym na rozważaniu zależności między procesami wejściowymi, wyjściowymi i zachodzącymi wewnątrz systemu;

b) fizykalnym, polegającym na rozpatrywaniu przemiany materii i energii.

Ujęcie funkcjonalne dotyczy celu, misji, funkcji (różni autorzy używają różnych nazw) spełnianych przez system, zaś ujęcie fizykalne sposobów realizacji (spełniania) tego celu. Opis systemu technicznego sformułowany w wyniku projektowania zdaje sprawę z obu tych ujęć.

Za niewątpliwie jedno z najważniejszych zagadnień metodologicznych projektowania należy uznać kontrolę poprawności rozwiązania problemu projektowego. Kontrola ta, by mogła rzetelnie zdawać sprawę z rzeczywiście osiągniętego wyniku projektowania, musi być kontrolą intersubiektywną i dającą się przeprowadzać z analogicznym skutkiem wielokrotnie. Kontrola ta obejmuje:

---

x) Przez system rozumie się tu parę uporządkowaną $\langle R(P), (m)P \rangle$, przy czym: R - relacja, P - własności, m - przedmioty.

a) kontrolę poprawności rozwiązania technicznego ze względu na spełniane przezeń funkcje. Jest to sprawdzanie adekwatności rozwiązania w celu przekonania się, czy zaprojektowane rozwiązanie jest rozwiązaniem tego właśnie problemu, a problem opisem tej właśnie sytuacji praktycznej.

b) kontrolę poprawności rozwiązania ze względu na jego stronę fizykalną. Jest to sprawdzenie trafności rozwiązania w celu przekonania się, czy zaprojektowane rozwiązanie najlepiej spełnia swą funkcję przy danych problemem projektowych ograniczeniach, w sensie danych tym problamem kryteriów oceny.

Zastanówmy się tedy, jak przebiega postępowanie "idealnego projektanta" ze względu na kontrolę wyników tego postępowania.

M. Tribus, jeden z pierwszych, który proponował logiczną teorię projektowania [6], całokształt decyzji podejmowanych przez projektanta przedstawił za pomocą następującego wyrażenia:

$$\langle U/X\rangle = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m U_{ip}(U_i O_j A_k I_l H_m/X)$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m U_{ip}(U_i/O_j A_k I_l H_m X) \qquad \text{użyteczności}$$

$$p(O_j/A_k I_l H_m X) \qquad \text{wyniki}$$

$$p(A_k/I_l H_m X) \qquad \text{decyzje}$$

$$p(I_l/H_m X) \qquad \text{dane}$$

$$p(H_m/X) \qquad \text{teoria}$$

przy czym X jest stanem wiedzy, zaś $\{O_j\}$, $\{A_k\}$, $\{I_l\}$, $\{H_m\}$, $\{U_i\}$ zbiorami złożonymi z elementów wzajemnie rozłącznych i wyczerpujących. Natomiast U jest wartością oczekiwaną użyteczności w warunkach wiedzy X.

Tribus powiada, że "...dowolny rzeczywisty projekt, gdyby go rozpatrywać do najdrobniejszego szczegółu, wymagałby podjęcia tak wielu decyzji, że sumy w powyższym wyrażeniu składałyby się z tak olbrzymiej liczby członów, iż byłoby ich zbyt wiele nawet jak na największy komputer i najbardziej upartego programistę" [6].

Idealizacja projektowania, w odróżnieniu od powyższego, polega na ograniczeniu obszaru rozważań projektanta do przestrzeni czynników istotnych dla danego zagadnienia. Przestrzeń tych czynników tworzy strukturę istotnościową (esencjalną), stanowiącą uporządkowanie czynników według tego, które z nich są główne oraz według poziomów istotności [7]:

$$S_F^Z:\ (k)\quad H$$
$$(k-1)\quad H,\ p_k$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$(1)\quad H,\ p_k,\ \ldots,\ p_2$$
$$(0)\quad H,\ p_k,\ \ldots,\ p_2,\ p_1$$

przy czym:

S_F^Z struktura istotnościowa czynnika wyróżnionego F w zakresie Z,

(k), (k-1), ..., (0) poziomy istotności; (k) poziom wewnętrzny, (0) poziom zewnętrzny,

H czynnik główny,

p_i czynniki uboczne.

Nietrudno zauważyć, że wyrażenie podane przez Tribusa jest opisem poziomu zewnętrznego struktury esencjalnej przy $i \longrightarrow \infty$

Kontrola adekwatności rozwiązania problemu projektowego polega na sprawdzeniu, czy wszystkie czynniki istotne dla danej sytuacji praktycznej zostały uwzględnione w toku projektowania. Opis tych czynników w postaci struktury esencjalnej zawarty jest w sformułowaniu problemu projektowego.

Inną sprawą, tu nie podejmowaną, jest adekwatność problemu projektowego, tj. uwzględnienie w sformułowaniu problemu projektowego czynników istotnych dla danej sytuacji praktycznej. Zagadnienie adekwatności problemu praktycznego wchodzi w zakres diagnostyki projektowej.

Kontrola trafności rozwiązania problemu projektowego jest kontrolą wykorzystania wiedzy, jaką dysponuje się podczas projektowania. Nie chodzi przy tym o wiedzę, jaką dysponował ten a ten konkretny projektant, ale o wiedzę, na gruncie której rozstrzygana jest w danym okresie kompetencja projektotwórcza. Wiedza ta obejmuje wiedzę faktualną, czyli wiedzę o zjawiskach zachodzących w obiektach projektowanych w projektowaniu inżynierskim a dokładniej - w danym rodzaju projektowania inżynierskiego jak i wiedzę metodyczną, tj. wiedzę o sposobach pozyskiwania wiedzy faktualnej i sposobach operowania nią.

Te części rozwiązań problemów projektowych, które wykorzystują wiedzę podstawową należącą do rudymentów, w jakie wyposażony jest projektant danego okresu, nie budzą z reguły wątpliwości. Kontrola wyników projektowania skupia się przede wszystkim na dwu zagadnieniach:

a) poszukiwaniu nowej wiedzy faktualnej na użytek tego właśnie procesu projektowania, badań projektowych - jak się niekiedy powiada;

b) podejmowaniu przez projektanta decyzji w warunkach niepewności.

Pozyskiwanie nowej wiedzy na użytek projektowania wchodzi w zakres badań praktycznych, których wyniki składają się na nauki (dyscypliny) praktyczne. Przykładem tych dyscyplin są dyscypliny inżynierskie, takie np.

jak nauka budowy maszyn, nauka budowy silników, nauka o budowie siłowni, urbanistyka itp. Zadaniem tych dyscyplin jest formułowanie teorii optymalizacyjnych.

Jedną z metod szczegółowych budowy teorii optymalizacyjnych jest tzw. badanie systemowe. Kontrola wiedzy uzyskanej w toku takiego badania wymaga prześledzenie procedury. Dobrym przykładem procedury badań systemowych jest procedura opisana przez G.J. Klira [8].

Budowa teorii optymalizacyjnych wymaga dość często redukcji dużej liczby danych podstawowych (obserwacyjnych) do liczby dogodnej do manipulacji decyzyjnych. Procedura takiej redukcji może zostać skontrolowana na podstawie tzw. analizy czynnikowej. Opis związanego z tym postępowania znajdzie zainteresowany Czytelnik w książce W.C. Dorosińskiego [9].

Podejmowanie decyzji w projektowaniu dopóty, dopóki dokonywane jest w skrajnie wyidealizowanych warunkach zdeterminowania (pewności) nie nastręcza trudności przy kontroli metodologicznej. Podobnie rzecz ma się z sytuacją opisywaną za pomocą prawdopodobieństwa obiektywnego, rozumianego jako granica ciągu częstości występowania pewnego zdarzenia w stosunku do ogólnej liczby zdarzeń.

Decyzje podejmowane w warunkach niepewności, a takich decyzji - choć w większości zawartych w projekcie implicite - jest wiele, są najtrudniejsze do kontroli. Są to decyzje dwojakiego rodzaju: jedne podejmowane są na podstawie oceny szansy zajścia jakiegoś zjawiska na gruncie prawdopodobieństwa subiektywnego, inne natomiast - ze względu na brak dostatecznej wiedzy - nie dają się sformułować probabilistycznie. Te ostatnie decyzje podejmowane są na podstawie kryteriów, z których na użytek badań praktycznych i projektowania wskazywane jest przede wszystkim kryterium Hurwicza [10].

4. Zakończenie

Celem nadrzędnym badań metodologicznych projektowania, w tym logicznej teorii projektowania, jest szeroko rozumiane usprawnienie postępowania projektotwórczego. Usprawnia w sensie coraz lepszego spełniania postulatu, by rozwiązania projektowe służyły koncepcyjnemu przygotowywaniu zmian relewantnych. Usprawnienie to dokonywane jest na drodze gromadzenia wiedzy o projektowaniu w wyniku systematycznego badania istoty tego postępowania.

Głównym kanałem przekazu wiedzy metodologicznej o projektowaniu inżynierskim są studia politechniczne przygotowujące zawodowych projektantów. W im większym stopniu więc studia te dostarczać będą owej wiedzy, w tym większym stopniu rosnąć będzie świadomość metodologiczna praktyki projektotwórczej, tym też sprawniejsze będzie projektowania i jego rezultaty.

Politechnika Śląska, a w szczególności Wydział Mechaniczny Energetyczny ma na tym polu niewątpliwe osiągnięcia, by wspomnieć choćby rozwijanie badań systemowych w zastosowaniach energetycznych przez J. Szarguta (por. np. J. Szargut, A. Ziębik, Model matematyczny liniowy gospodarki materiałowo-energetycznej zakładu przemysłowego i branży [w:] Badania systemowe w gospodarce paliwowo-energetycznej, Wrocław 1977, Ossolineum), czy wytrwałe dążenie do modernizacji i nauczania konstruowania maszyn przez J. Dietrycha, autora licznych prac z tego zakresu (por. np. J. Dietrych, Didactics in Designing. A Mechanical Engineering Case, "Design Methods and Theories", vol. 10, n. 2, 1976).

LITERATURA

[1] M. i S. Ossowscy: Nauka o nauce. "Nauka Polska". 1936.

[2] T. Kotarbiński: Szkice praktyczne, Warszawa 1913.

[3] Metodologia projektowania i badania pokrewne nad projektowaniem. Sesja naukowa zorganizowana staraniem Komitetu Naukoznawstwa PAN oraz Pracowni Metodologii Projektowania Zakładu Prakseologii IFiS PAN, Radziejowice, wrzesień 1977.

[4] J. Kmita: Wykłady z logiki i metodologii nauk, PWN, Warszawa 1973.

[5] W. Gasparski: Projektowanie: koncepcyjne przygotowywanie działań. Wstęp do metodologii, PWN, Warszawa 1978, (w druku).

[6] M. Tribus: Rational Descriptions, Decisions and Designs, Pergamon Press, New York 1969, ss. 389-390.

[7] L. Nowak: Wstęp do idealizacyjnej teorii nauki, PWN Warszawa, 1977.

[8] G.J. Klir: Identyfikacja struktur generatywnych w danych empirycznych [w:] "Projektowanie i systemy" pod red. W. Gasparskiego i D.Miller, t. I, Ossolineum, Wrocław 1978, (w druku).

[9] W.C. Dorosiński: Wybór w projektowaniu wstępnym, PWN Warszawa 1977.

[10] J. Gaussens: Problemy decyzji w badaniach i pracach rozwojowych, WNT Warszawa 1975, ss. 201-210.

О ЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
С ОСОБЕННЫМ УЧЕТОМ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Р е з ю м е

Одним из направлений современных исследований проектирования является логика проектирования. Предметом логической теории проектирования является систематическая реконструкция процедуры проектирования, а методом метод идеализации. Важнейшим заданием этой дисциплины является логико-методический контроль решений проектных проблем. В статьи охарактеризованы некоторые вопросы касающиеся контроля адекватности и меткости проектных решений.

ON THE LOGIC OF DESIGN
WITH SPECIAL REGARD TO ENGINEERING DESIGN

S u m m a r y

The logic of design is a branch of a contemporary design science. It is concentrated no the systematic reconstruction of a design procedure by means of an idealization method. The methodological verification of design solutions is one of the main tasks of the discipline. The case of design problem solution adequacy and accuracy verification is outlinend in the paper.