

Metody tworzenia innowacyjnych rozwiązań – wepola i TRIZ-owskie rozwiązania standardowe

W poprzednich artykułach z cyklu pt. „Metody tworzenia innowacyjnych rozwiązań” czytelnicy zostali wprowadzeni m.in. do TRIZ, czyli Teorii Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań oraz jej wybranych narzędzi, takich jak poszukiwanie ukierunkowane na funkcję oraz wykorzystanie zasobów informatycznych w procesie wynalazczym. Tym razem pokrótce omówione zostaną wepola oraz związane z nimi rozwiązania standardowe zwane też standardami wynalazczymi.

LESZEK CHYBOWSKI
Akademia Morska w Szczecinie

Wepola i rozwiązania standardowe stanowią jeden z kluczowych elementów algorytmu rozwiązywania innowacyjnych zadań ARIZ, który z kolei jest najważniejszym narzędziem TRIZ. W niniejszym materiale wykorzystam treści przedstawione we wprowadzeniu do artykułu mojego autorstwa pt. „Use of TRIZ Su-Field models in the process of improving the injector of an internal combustion engine” zaprezentowanego na konferencji Multidisciplinary Aspects of Production Engineering MAPE 2018 w Zawierciu w dn. 5-8 września 2018 roku [1].

W 1946 roku rosyjski wynalazca Henryk Altshuller rozpoczął swoje prace nad stworzeniem algorytmu wynalazku, później nazwanego ARIZ, co jest skrótem od rosyjskiej nazwy Алгоритм Решения Изобретательских Задач (Algo-

rytm Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań). W kolejnych latach Altshuller doskonalił algorytm, opracowując jego kolejne wersje. Równolegle wspólnie ze swoimi współpracownikami opracował szereg metod pomocniczych, które finalnie można było zamknąć w szerokim pojęciu określanym jako TRIZ od rosyjskiego Теория Решения Изобретательских Задач, czyli Teoria Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań.

TRIZ jest złożoną metodologią obejmującą wiele narzędzi służących do rozpoznania problemu, poszukiwania rozwiązań oraz finalnie selekcji i oceny tych rozwiązań. Pierwotne zagadnienia wynalazcze z czasem zostały poszerzone o problemy nieinżynierskie, w tym np. społeczne, biznesowe i marketingowe. TRIZ istotnie przyczyniła się do rozwoju wielu gospodarek dzięki wyso-

kiej skuteczności tworzenia nowatorskich rozwiązań. Jedną z rozwiniętych przez Altshullera metod modelowania i rozwiązywania sytuacji problemowych jest wykorzystanie modeli substancja-pole nazywanych też modelami Su-Field (skrót od angielskich słów Substance – substancja i Field – pole), oznaczanych również S-F, S-Field i SFM (od ang. Substance-Field Model). Profesor Andrzej Góralski tłumacząc na język polski prace Altshullera, przyjął dla nich spolonizowaną nazwę przejętą z języka rosyjskiego, określając te modele jako wepola (od rosyjskiego neologizmu weполь stającego zbitkę wyrazową słów вещество – substancja i поле – pole).

Wepola są istotnym elementem rozwiązań standardowych, które stanowią zbiór gotowych schematów postępowania przydatnych w pokonywaniu sy-

Rys. 1. TRIZ-owski model rozwiązywania problemów z przykładem wykorzystania modeli wepolowych

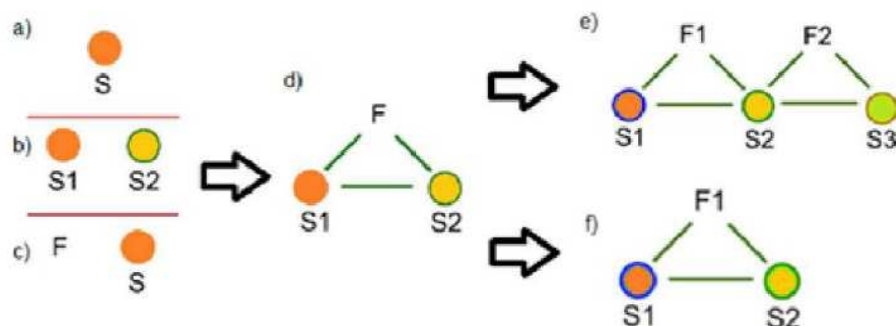


tuacji problemowych. Wykorzystanie rozwiązań standardowych bazuje na TRIZ-owskim modelu rozwiązywania problemów opartym na paradygmacie uogólnienia (abstrakcji) sytuacji i jej późniejszego ponownego uszczegółowienia (konkretyzacji), co przedstawiono na rysunku 1.

Zgodnie z przyjętą w TRIZ definicją, wepole minimalnego systemu technicznego składa się z dwóch substancji oraz oddziałującego pomiędzy nimi pola, a wszystkie te elementy muszą być powiązane minimum dwoma relacjami. System niekompletny składa się tylko z niektórych spośród wymienionych elementów (rys. 2 a-c) i w celu jego rozwoju musi zostać rozbudowany do pełnego wepola (rys. 2d). Przedstawiona transformacja od niepełnego systemu do wepola minimalnego realizowana jest standardowym rozwiązaniem wynalazczym oznaczanym w literaturze jako 1-1-1. W wyniku rozwoju systemu technicznego odwzorowujące je wepola podlegają modyfikacji, dodaniu lub usunięciu składowych substancji lub pól, np. tworząc modele łańcuchowe (rys. 2e – IS 2-1-1) lub wepola dualne (rys. 2f – IS 2-1-2).

Jak wspomniano, minimalne (pełne) wepole składa się z dwóch substancji i jednego pola. W zależności od poziomu uszczegółowienia analizy i jej przedmiotu, wymienione substancje mogą być materialnymi lub abstrakcyjnymi elementami rozważanego systemu technicznego, w tym mogą to być podsystemy, elementy maszyny lub urządzenia, ale również obszary jednorodnego lub niejednorodnego materiału. W tabeli 1 zestawiono przykładowe substancje, które mogą być poddane analizie wepolowej. Podział niniejszy podyktowany jest względami pragmatycznymi i nie odzwierciedla naukowej taksonomii substancji, ponadto poszczególne substancje nie stanowią zbiorów wyłączających się. Zbiór możliwych do zamodelowania substancji nie jest też ograniczony wyłącznie do wymienionych w tabeli 1.

W rozumieniu TRIZ polem jest efekt oddziałujący na obiekt (substancję). Efekt ten zmienia lub utrzymuje określone właściwości obiektu. Według normy VDI 4521 [5] w TRIZ wyróżnia się pięć podstawowych pól: mechaniczne, akustyczne, termiczne, chemiczne i elektromagnetyczne. W literaturze tematu wielu specjalistów przyjmuje osiem bazowych pól oznaczanych skrótowo MATCHEMIB, którymi są [3]: mechaniczne, akustyczne, termiczne, chemiczne, elektryczne, magnetyczne, międzycząsteczkowe (ang. intermo-



Rys. 2. Przykłady modeli wepolowych [1]: a)-c) – modele niepełne, d) pełne wepole, e) wepole łańcuchowe, f) wepole dualne; S, S1, S2, S3 – substancje, F, F1, F2 – pola

lecular) i biologiczne. Należy zwrócić uwagę, iż definicja pól ujmuję oddziaływanie, które w fizyce takimi nie są, a inne definicje sprowadza do wspólnej grupy. W fizyce wyróżnia się tylko cztery podstawowe oddziaływania: silne, elektromagnetyczne, słabe i grawitacyjne. Grawitacja sprowadzona w TRIZ do jednej grupy oddziaływań – tzw. pól mechanicznych – ujmuję fizyczne oddziaływanie między elementami w szerokim znaczeniu, które z fizycznego punktu widzenia nie są polami, w tym dotyczy to takich zjawisk jak tarcie, erozja itd. Z kolei fala mechaniczna, jaką jest dźwięk (pole akustyczne), jest w TRIZ ujęta jako odrębna grupa ze względów pragmatycznych. To samo

dotyczy oddziaływania cieplnego, biologicznego i chemicznego, które mimo iż teoretycznie można sprowadzić do podstawowych oddziaływań fizycznych, to ze względu na dogodność ich wykorzystania w opisie wielu problemów zostały ujęte w TRIZ jako odrębne pola. Poszczególne rodzaje pól mogą zostać uszczegółowione w zależności od konkretnych potrzeb oraz przedmiotu i celu analizy. W tabeli 2 zestawiono przykładowe pola, które mogą zostać wykorzystane w budowie modeli wepolowych. Podobnie jak w przypadku substancji, niniejszy podział podyktowany jest względami pragmatycznymi, a poszczególne pola i ich postaci nie stanowią zbiorów wyłączających się.

Tabela 1. Zestawienie przykładowych substancji wykorzystywanych w analizie wepolowej [2, 4]

Typy substancji		
Stan substancji	Substancje transformowalne	Inne substancje
- Aerozol - Substancja elastyczna - Emulsja - Piana - Gaz - Żel - Substancja granulowana - Ciecz - Pasta - Substancja perforowana - Plazma - Substancja porowata - Proszek - Zawiesina	- Substancja wrząca - Skropliny - Substancja rozpuszczona/wykryształizowana - Substancja odparowana - Substancja wybuchowa - Substancja palna - Substancja tworząca/absorbująca gaz - Substancja utwardzona - Substancja wytwarzająca/absorbująca/akumulująca ciepło - Substancja tworząca/absorbująca ciecz - Substancja zmięczona - Substancja zmieszana/złożona/rozłożona - Piezoelektryk - Substancja spolimeryzowana/zdepolimeryzowana - Produkty dysocjacji/rekombinacji - Substancja po sublimacji - Substancja posiadająca punkt Curie - Substancja z pamięcią kształtu	- Klej - Bimetal - Substancja zmieniająca kolor - Substancja zmieniająca rezystancję - Chemicznie aktywny przewodnik - Dielektryk - Substancja łatwo łamalna - Substancja łatwo usuwalna - Ciecz elektroteologiczna - Ferromagnetyk - Substancja luminescencyjna - Substancja/proszek magnetyczny - Substancja fotochromatyczna - Substancja światłoczuła - Półprzewodnik - Substancja przeźroczysta - Substancja o niskim lub wysokim współczynniku tarcia - Substancja wrażliwa na promieniowanie X

Tabela 4. Charakterystyka 76 wynalazczych rozwiązań standardowych [1]

Klasa	Podklasy		Opis ogólny	Uwagi
1			Synteza i dekompozycja wepola (13 standardów)	
	1-1		Synteza wepola	
		1-1-1		Tworzenie nowej interakcji
		1-1-2 – 1-1-5		Poprawa zjawiska przy niewystarczającej interakcji lub poprawa kontrolowalności – dla systemów, w których warunki umożliwiają wprowadzenie nowych elementów do systemu
		1-1-6		Użycie maksymalnej akcji i usunięcie nadmiarów
		1-1-7		Przekierowanie działania na nową substancję
		1-1-8		Wprowadzenie do tej samej relacji efektów o przeciwnym działaniu. Podklasa 1-1-8 ma dwie podgrupy: 1-1-8-1 i 1-1-8-2
	1-2		Eliminacja szkodliwych powiązań	
		1-2-1 – 1-2-2		Eliminacja szkodliwej interakcji pomiędzy dwoma substancjami w sytuacji, gdy ich bezpośredni kontakt nie jest wymagany
		1-2-3		Eliminacja szkodliwej interakcji pomiędzy substancją i polem poprzez usunięcie szkodliwego efektu
		1-2-4		Eliminacja szkodliwej lub nadmiernej interakcji pomiędzy dwoma substancjami w sytuacji, gdy bezpośredni kontakt pomiędzy substancjami musi być zachowany
		1-2-5		Eliminacja szkodliwej interakcji pomiędzy substancją i polem poprzez użycie efektów fizycznych
2			Rozwijanie wepola (23 standardy)	
	2-1	2-1-1 – 2-1-2	Wepole złożone	Udoskonalenie efektu niewystarczającej interakcji lub poprawa kontrolowalności – dla systemów, w których warunki uniemożliwiają wprowadzenie nowych elementów do systemu
	2-2	2-2-1 – 2-2-6	Rozwój wepola	Udoskonalenie efektu niewystarczającej interakcji lub poprawa kontrolowalności – dla systemów, w których efekt nie może być uzyskany poprzez wprowadzenie nowych elementów
	2-3	2-3-1 – 2-3-3	Rozwój wepola poprzez poprawę koordynacji	Koordinacja rytmów w celu poprawy efektu niewystarczającej interakcji lub poprawa kontrolowalności – dla systemów, w których efekt nie może być uzyskany poprzez wprowadzenie nowych elementów
	2-4	2-4-1 – 2-4-12	Rozwój wepola poprzez zmianę pola na elektromagnetyczne lub elektryczne	Rozwój produktu/systemu z wykorzystaniem właściwości substancji ferromagnetycznych
3			Przejścia do makropoziumu (nadsystemu) oraz przejścia do mikropoziumu (6 standardów)	
	3-1	3-1-1 – 3-1-5	Przejście do makropoziumu	Rozwój produktu/systemu poprzez przejście do nadsystemu
	3-2	3-2-1	Przejście do mikropoziumu	Rozwój produktu/systemu poprzez przejście do mikropoziumu
4			Pomiary i detekcja (17 standardów)	Zapewnienie realizacji pomiaru/detekcji
	4-1	4-1-1 – 4-1-3	Zmiana zamiast pomiaru/detekcji	
	4-2	4-2-1 – 4-2-4	Budowanie wepola realizującego pomiar	
	4-3	4-3-1 – 4-3-3	Udoskonalenie systemów pomiarowych	
	4-4	4-4-1 – 4-4-5	Zamiana pól wepola na umożliwiające pomiary i detekcję	
	4-5	4-5-1 – 4-5-2	Rozwój systemów pomiarowych	
5			Rozwiązania pomocnicze (17 standardów)	Strategie upraszczania i udoskonalania przebiegu analizy wepolowej
	5-1		Wprowadzenie substancji	
		5-1-2 – 5-1-4		Podklasa 5-1-1 ma dziewięć podgrup: 5-1-1-1 – 5-1-1-9
	5-2	5-2-1 – 5-2-3	Wprowadzenie pól	
	5-3	5-3-1 – 5-3-5	Wykorzystanie przemian fazowych	
	5-4	5-4-1 – 5-4-2	Wykorzystanie zjawisk fizycznych	
	5-5	5-5-1 – 5-5-3	Uzyskanie substancji rozdrobnionej	

Tabela 2. Zestawienie przykładowych pól wykorzystywanych w analizie wepolowej [2, 4]

Typy pól i sił			
Pola mechaniczne	Pola elektromagnetyczne	Inne pola	Dynamika pola
• Wibracje akustyczne (oscylacje) • Pływalność • Siła Coriolisa • Siły odśrodkowe • Dyfuzja • Elastyczność • Siły tarcia • Siły grawitacji • Bezwładność • Infradźwięki • Naprężenia wewnętrzne • Siły unoszenia (unoszenie) • Wibracje mechaniczne (oscylacje) • Osmoza • Ciśnienie cieczy i gazów • Dźwięk • Naprężenia cieplne • Ultradźwięki	• Światło spójne (laser) • Prąd elektryczny • Wyładowania elektryczne • Pole elektromagnetyczne • Strumień elektronów • Pole elektrostatyczne • Prądy wirowe • Fale podczerwone • Pole magnetyczne • Mikrofale • Fale radiowe • Efekt naskórkowy • Promieniowanie nadfioletowe • Światło widzialne • Promieniowanie X	• Biologiczne • Reakcje chemiczne • Chłodzenie • Podgrzewanie • Transfer informacji • Siły atomowe • Zapach • Smak • Szok termiczny	• Wzmacnianie • Tłumienie • Rozszerzanie • Gradient pola • Filtrowanie • Skupianie • Nakładanie • Oscylacja • Pulsacja • Odbijanie • Załamanie • Rezonans • Skanowanie • Rozproszenie • Ekranowanie • Fala pojedyncza • Fala stojąca • Zmiana struktury • Fala bieżąca

Pomiędzy polem a substancjami w modelach wepolowych wyszczególnia się relacje, które mogą być jedno- lub dwu-

kierunkowe. Pomiędzy określonymi elementami może wystąpić też brak relacji. Ponadto między danymi elementami we-

Finalne rozwiązanie problemu uzyskuje się poprzez ponowne uszczegółowienie ogólnego rozwiązania i powiązanie z analizowanym problemem

pola może występować więcej niż jedna interakcja – dla przykładu dwa lub więcej oddziaływań pozytywnych i/lub negatywnych w tej samej chwili i/lub miejscu. Zestawienie głównych oznaczeń relacji w modelach wepolowych wraz z przykładami przedstawiono w tabeli 3.

Poszczególne wymienione w tabeli rodzaje relacji mogą odwzorowywać działania:

- użyteczne (pozytywne) – wynik oddziaływania satysfakcjonuje użytkowników;

Tabela 3. Zestawienie głównych relacji w modelach wepolowych z przykładami [1]

Typy pól i sił	Symbol			Przykład
	Ogólne	Akcja	Interakcja	
Użyteczne (pozytywne)				wspiera Rama → silnik
Szkodliwe (negatywne)				emituje Silnik → gazy cieplarniane
Niewystarczające				chłodzi (za słabo) Chłodnica → powietrze doładowujące
Nadmierne				osadza się na Olej smarny → bloku silnika
Słabo kontrolowalne				niedokładnie łączy Spawarka → aluminium
Niewystępujące (brakujące)	Brak powiązania między elementami w danej chwili lub miejscu			Inżynier nie ma dostępu do instrukcji

- szkodliwe (negatywne) – wynik oddziaływania jest niepożądany i musi zostać wyeliminowany;
- niewystarczające – wynik oddziaływania jest pozytywny, ale musi zostać wzmocniony (zintensyfikowany);
- nadmierne – wynik oddziaływania jest użyteczny, lecz wykorzystuje więcej zasobów niż jest to konieczne;
- słabo kontrolowalne – wynik oddziaływania jest niedokładny i/lub nie zapewnia dokładnej realizacji procesu.

Altszuller i jego współpracownicy opracowali 76 rozwiązań standardowych. W rozbudowanych wersjach standardów innych autorów ich liczba

sięga 111, 500 i więcej, jednak praktyka pokazuje, iż liczba 76 standardowych rozwiązań jest wystarczająca do pokonania większości problemów. Syntetyczne zestawienie tych rozwiązań zawarto w tabeli 4.

Standardowe rozwiązania wynalazcze dzielą się na pięć głównych klas, które dzielą się na podklasy pierwszego i drugiego rzędu. Poza tym w niektórych przypadkach podklasy dzielą się na kilka podgrup. Wymienione standardy umożliwiają rozwiązanie różnego rodzaju problemów poprzez przekształcenia modeli wepolowych.

Wepola i standardowe rozwiązania wynalazcze mogą być stosowane jako samodzielne narzędzia, jak również stanowią one elementy bardziej rozbudowanych metodyk, takich jak powszechnie przyjęta przez większość środowiska spadkobierców Altszullera wersja algorytmu wynalazku z 1985 roku oznaczana jako ARIZ 85C, gdzie wepola są wykorzystywane w czwartej części algorytmu.

Wykorzystanie abstrakcyjnych operatorów wepolowych zamiast pracy „na realnym problemie” umożliwia szybkie zamodelowanie sytuacji problemowej (w TRIZ opisywanej jako konfliktowa, w związku z tym, iż TRIZ sprowadza problemy do postaci kontradycji fizycznej/technicznej). Model taki umożliwia minimalizację tzw. inercji psychologicznej ograniczającej analityka w związku z jego przyzwyczajeniami i fiksacją na ustalony stan rzeczy. Dzieje się tak dzięki przedstawieniu szczegółowej sytuacji problemowej z wykorzystaniem

ogólnych elementów modelu w postaci pola (pól) oraz substancji (przedmiotów, elementów, materiałów). Zgodnie z przytoczonym wcześniej paradygmatem dla uogólnionego modelu Su-Field poszukiwane jest uogólnione rozwiązanie wepolowe. Finalne rozwiązanie problemu uzyskiwane jest poprzez ponowne uszczegółowienie ogólnego rozwiązania do postaci rozwiązania szczegółowego powiązanego z analizowanym i rozwiązywanym problemem.

Przykładowe aplikacje rozwiązań standardowych w pokonywaniu rzeczywistych problemów technicznych można znaleźć w bogatej literaturze tematu, w tym w przytoczonych w wykazie źródeł pozycjach [1] i [4]. Mam nadzieję, że przedstawiony w niniejszym artykule opis tego, czym są standardowe rozwiązania wynalazcze, skłoni czytelników do dalszego zgłębiania przedstawionych zagadnień i aplikacji zaprezentowanych narzędzi w rozwiązywaniu własnych problemów, do czego gorąco zachęcam.

Literatura

1. Chybowski L., (2018) *Use of TRIZ Su-Field models in the process of improving the injector of an internal combustion engine*. Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, 1(1), 257-268, doi: 10.2478/mape-2018-0033.
2. Invention Machine Corporation (1988) *Invention Machine Software, version 3.0*.
3. Mayer, O., (2017) *Flexible lighting distribution on „party ships”*. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 49(121), 9-16, doi: 10.17402/195.
4. Souchkov, V., V. (2016) *TRIZ & Systematic Innovation. TRIZ and xTRIZ Techniques For Technology and Engineering Applications*. Training Course Techniques: Advanced Part. ICG Training & Consulting, Enschede.
5. Verein Deutscher Ingenieure (2015) *Inventive problem solving with TRIZ. Fundamentals and definitions*. Standard VDI 4521, part 1.



**dr hab. inż.
Leszek Chybowski**

jest zatrudniony na stanowisku profesora w Akademii Morskiej w Szczecinie, gdzie pełni także funkcję redaktora naczelnego kwartalnika Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie. Posiada stopień zawodowy II oficera mechanika okrętowego, jest certyfikowanym specjalistą TRIZ, wynalazcą i certyfikowanym inżynierem niezawodności. Specjalizuje się w budowie i eksploatacji maszyn, inżynierii produkcji, inżynierii środowiska oraz inżynierii transportu. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się na doskonaleniu systemów technicznych i minimalizacji ich oddziaływania na środowisko. Jest autorem/współautorem ponad 160 publikacji naukowych i popularno-naukowych, w tym trzech monografii.