

Zapewnienie jakości na mapie procesów

Rozdział 3: Metody

Projektowanie dla procesów wytwarzania i montażowych (DFMA), model projektowania wspomaganego cyfrowo (DMU), projektowanie eksperymentów (DoE) – metodyka projektowania doświadczeń, analiza wykonalności, Poka-Yoke, dopasowanie funkcji jakości (QFD), teoria nowatorskiego rozwiązywania problemów (TRIZ), ekonomiczne projektowanie i kontrola procesu, metoda 8D, metoda 5x dlaczego (5-Why), wybór zapobiegawczych metod zarządzania jakością

Wydanie trzecie, sierpień 2020

Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA)

ISSN 0943-9412

Dodruk: kwiecień 2021

Polskie wydanie: 03/2026 (dodruk wydania 3. z 12/2024)

ISBN 978-83-960655-7-5

Copyright 2020 by

Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)

Qualitäts Management Center (QMC)

Behrenstraße 35, 10117 Berlin

Tłumaczenie i sprzedaż w Polsce

na licencji Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)

SQD Alliance Sp. z o.o.

PL 43-200 Pszczyna, Batorego 19

Tel./fax: +48 32 44 70 918

Wydrukowano na papierze białym bez użycia chloru.

Niewiążące zalecenie normatywne VDA

Verband der Automobilindustrie (VDA) zaleca swoim członkom stosowanie poniższych wytycznych przy wprowadzaniu i utrzymywaniu systemów zarządzania jakością.

Wykluczenie odpowiedzialności

Każdy może swobodnie korzystać z niniejszych wytycznych. Kto jednak je stosuje, powinien zadbać o ich właściwe użycie.

Niniejszy tom VDA uwzględnia stan wiedzy i techniki obowiązujący w momencie jego wydania. Stosowanie zaleceń VDA nie zwalnia nikogo z odpowiedzialności za własne czyny. Korzystanie z zamieszczonych tu wytycznych odbywa się na własną odpowiedzialność.

VDA oraz osoby, które brały udział w tworzeniu niniejszych zaleceń VDA, nie ponoszą jakiegokolwiek odpowiedzialności za ich stosowanie.

W przypadku wykrycia w niniejszym dokumencie nieprawidłowych informacji lub w sytuacji, gdy opisane wytyczne mogą zostać niewłaściwie zinterpretowane, uprasza się o niezwłoczne powiadomienie VDA, aby można było usunąć powstałe wady.

Ochrona praw autorskich

Niniejsze dzieło jest chronione prawem autorskim. Każde jego wykorzystanie poza ścisłymi granicami określonymi przepisami prawa autorskiego bez zgody VDA jest niedozwolone i karalne. Dotyczy to w szczególności powielania, tłumaczenia, zapisywania w formie mikrofilmów, a także przechowywania i przetwarzania w systemach elektronicznych.

Tłumaczenia

Niniejszy dokument zostanie przetłumaczony również na inne języki. Zapytania dotyczące dostępności należy kierować do VDA QMC.

Przedmowa do 3, poprawionego i rozszerzonego wydania

Postępujący rozwój zarządzania jakością w przemyśle motoryzacyjnym wymagał pełnej rewizji tomu VDA 4, zarówno pod względem treści, jak i kwestii redakcyjnych.

Zmiany treści dokonano głównie w następujących obszarach:

- integracja rozdziału dotyczącego metody 5x dlaczego (5-Why),
- integracja modelu wyboru metody z dawnego tomu VDA 14,
- streszczenie metody FMEA i 8D ze względu na ich przeniesienie do szczegółowych i niezależnych tomów VDA,
- integracja dalszego rozwoju i nowych spostrzeżeń w opisach różnych metod,
- likwidacja struktury kołonotatnika: to wydanie jest dostępne w formie monografii wydanej w czterech tomach, co pomaga poprawić przejrzystość i łatwość odniesienia.

W trakcie opracowania redakcyjnego:

- zaktualizowano odniesienia, źródła i odwołania do norm,
- sprawdzono pisownię, gramatykę, spójność pojęć,
- poprawiono ilustracje.

Berlin, lipiec 2020

Przegląd rozdziałów tomu VDA 4 – Zapewnienie jakości na mapie procesów

Rozdział 1: Ogólne

Przegląd metod, podstawowe narzędzia, procesy rozwoju.

Rozdział 2: Analizy ryzyka

Analiza drzewa błędów (FTA), analiza rodzaju i skutków błędu (FMEA), analiza SWOT (mocne strony – słabe strony / szanse – zagrożenia).

Rozdział 3: Metody

Projektowanie dla procesów wytwarzania i montażowych DFMA (ang. *Design for Manufacturing and Assembly*), model projektowania wspomaganego cyfrowo DMU (ang. *Digital Mock-Up*), projektowanie eksperymentów DoE (ang. *Design of Experiments*) – metodyka projektowania doświadczeń, analiza wykonalności, Poka-Yoke, dopasowanie funkcji jakości QFD (ang. *Quality Function Deployment*), teoria nowatorskiego rozwiązywania problemów TRIZ, ekonomiczne projektowanie i kontrola procesu, metoda 8D, metoda 5x dlaczego (5-Why), wybór zapobiegawczych metod zarządzania jakością.

Rozdział 4: Modele postępowania

Six Sigma, projektowanie procesów dla Six Sigma–DFSS (ang. *Design for Six Sigma*), tolerowanie procesów w aspekcie ekonomicznym.

1	<i>Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)</i>	8
1.1	Wprowadzenie	8
1.2	Metoda	10
1.3	Zasada projektowania zorientowanego na montaż (DFA)	12
1.4	Cele, moment użycia, wymagania, metoda DFMA	13
1.5	Literatura	22
2	<i>Digital Mock-Up (DMU)</i>	23
3	<i>Design of Experiments (DoE) – metodyka projektowania doświadczeń</i>	26
3.1	Wprowadzenie	26
3.2	Opis i analiza problemu	27
3.3	Redukcja liczby wielkości wejściowych, wybór czynników doświadczeń	31
3.4	Wybór strategii eksperymentów	36
3.5	Ocena wyników eksperymentów	47
3.6	Wsparcie obliczeniowe	55
3.7	Literatura	56
4	<i>Analiza wykonalności</i>	57
4.1	Wprowadzenie	57
4.2	Definicja oceny wykonalności	58
4.3	Realizacja	60
4.4	Wynik	64
4.5	Załącznik – listy kontrolne wykonalności	64
5	<i>Poka-Yoke</i>	72
5.1	Wprowadzenie	72
5.2	Lista błędów	72
5.3	Matryca decyzyjna	74
5.4	Matryca systemowa, zestaw pomysłów	74
5.5	Prewencyjna Poka-Yoke	81
5.6	„Twarda” i „mięka” Poka-Yoke	82
5.7	Literatura	83
6	<i>Dopasowanie funkcji jakości (QFD, ang. Quality Function Deployment)</i>	84
6.1	Opis metody	84
6.2	Studium przypadku (do końca QT-I)	88

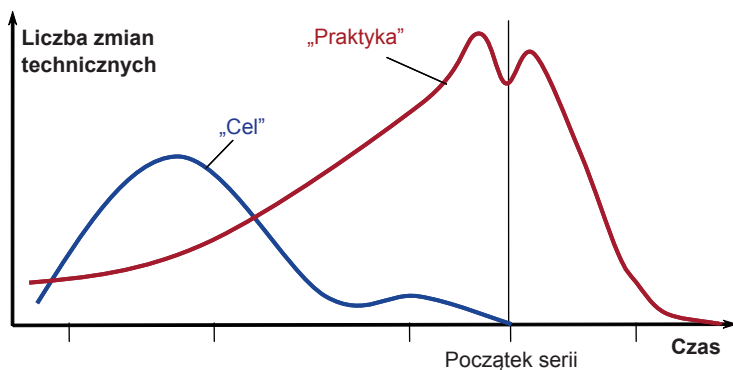
6.3	Tablica jakości II (QT II)	99
6.4	Tablica jakości III (QT III)	100
6.5	Tablica jakości IV (QT IV)	100
7	TRIZ	101
7.1	Wprowadzenie	101
7.2	Podstawy	102
7.3	Narzędzia TRIZ	116
7.4	Wdrożenie	137
7.5	Wdrożenie TRIZ i CAI w przedsiębiorstwie	139
7.6	Załącznik do TRIZ	142
7.7	Literatura	160
8	Ekonomiczne projektowanie i bezpieczeństwo procesu	161
8.1	Wprowadzenie	161
8.2	Procesy	162
8.3	Projektowanie procesu	165
8.4	Kwalifikacja procesu	171
8.5	Analiza procesu	173
8.6	Kontrola procesu	179
8.7	Ocena procesu.	186
8.8	Załącznik	190
8.9	Literatura	203
9	Metoda 8D	204
10	Metoda 5x dlaczego (5-Why)	212
10.1	Wprowadzenie	212
10.2	Podstawowe zasady 5-Why.	213
10.3	Techniczne i systemowe przyczyny źródłowe	215
10.4	Opis przebiegu analizy.	216
10.5	Mocne i słabe strony	220
10.6	Literatura	220
11	Wybór zapobiegawczych metod zarządzania jakością	221
11.1	Wprowadzenie	221
11.2	Proces wyboru metod i ocena korzyści	224
11.3	Wyjaśnienia i tabele wyboru metod i oceny korzyści.	231
11.4	Dalsze rozważania dotyczące ekonomiczności.	258
11.5	Przykłady 6-etapowego procesu	266
11.6	Skróty.	289
11.7	Literatura	290

1 *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*

1.1 Wprowadzenie

W procesie powstawania wyrobu koszty ustalane są na bardzo wczesnym etapie, faktyczne koszty powstają jednak dopiero dużo później. W rezultacie uzgodnienie wyrobu jest często zaniedbywane we wczesnej fazie, zwłaszcza że szczegółowe projektowanie odpowiednie do produkcji i montażu jest na tym etapie nadal bardzo trudne. Im bardziej konkretnie w dalszym procesie powstawania definiowany jest wyrób, tym trudniej jest uwzględnić interesy produkcji i montażu, a dokonywane zmiany wyrobu pociągają za sobą coraz większe nakłady.

Doświadczenie pokazuje, że podczas wczesnej fazy procesu powstawania wyrobu niedostępne są wystarczające zasoby do intensywnego prowadzenia prac projektowych odpowiednich do produkcji i montażu, ponieważ poprzednie projekty wciąż muszą być opracowywane na krótko przed rozpoczęciem produkcji seryjnej. To „błędne koło” przedstawione jest symbolicznie na rysunku 1.



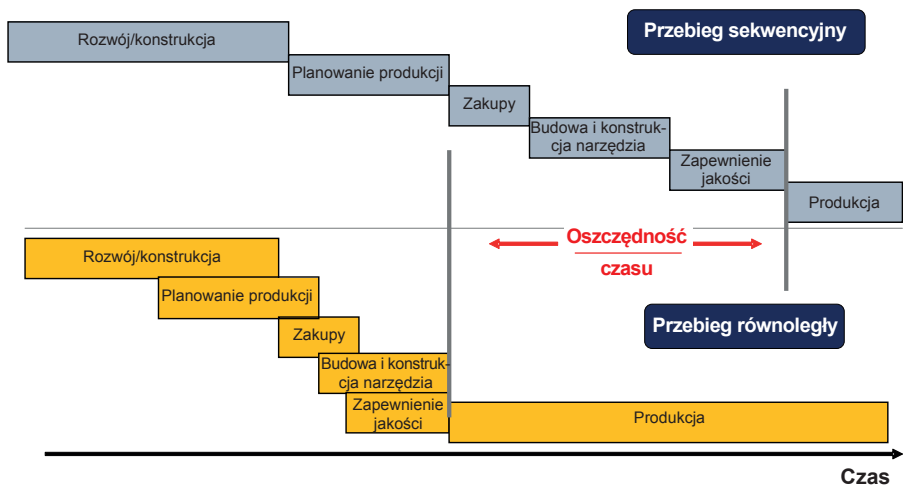
Rysunek 1. Liczba zmian technicznych podczas powstawania wyrobu: przebieg pożądany i przebieg często spotykany w praktyce

Celem jest więc, już we wczesnej fazie procesu powstawania wyrobu, uzgodnienie ze wszystkimi uczestniczącymi obszarami, aby krótko przed uruchomieniem produkcji seryjnej lub krótko po jej uruchomieniu nie były konieczne żadne dodatkowe zmiany. Oznacza to, że do tego momentu wymagania wszystkich zainteresowanych stron powinny być uwzględnione w wyrobie.

Często we wczesnych fazach rzeczywistych projektów niedostępne są w wystarczającym wymiarze wymagane wydajności i zasoby do wczesnego uzgodnienia wyrobu, ponieważ we wcześniejszych projektach konieczne są jeszcze liczne zmiany techniczne, które mogą być tylko częściowo wdrożone – i do tego jeszcze są bardzo kosztowne. Działania w celu zahamowania tych późnych zmian (np. zamrożenie konstrukcji [*design freeze* – przyp. tłum.]) są w rzeczywistych projektach rozwojowych często niemożliwe do wdrożenia, ponieważ wyroby krótko przed rozruchem produkcji seryjnej częściowo wykazują wady funkcji, które są rozpoznawane często dopiero w późnej fazie testów. Dopiero na późnym etapie rozpoznaje się, że wyrób nie może zostać wytworzony lub zmontowany w zaplanowanych kosztach w pierwotnie przewidziany sposób.

Tym samym po rozpoczęciu produkcji seryjnej wymagane będą czasochłonne i kosztowne zmiany w wyrobie lub procesie produkcji.

Dzięki wykorzystaniu zespołów inżynierii symultanicznej, ang. *Simultaneous Engineering Teams* (*simultaneous engineering* → SE przedstawia symbolicznie rysunek 2), i odpowiedniemu wsparciu metodycznemu możliwe jest przeciwdziałanie kosztownym późnym zmianom już na początku rozwoju. Odpowiednie do produkcji i montażu projektowanie wyrobu może zostać zrealizowane przy wykorzystaniu metody „Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)”.



Rysunek 2. Zasada inżynierii symultanicznej (SE, *Simultaneous Engineering*) [2]

1.2 Metoda

Pod określeniem DFMA kryją się różne metody, które często określane są jako „Design for X”. Najbardziej znanymi metodami „Design for X” są (na podstawie [3], [4]):

a. *Design for Assembly* (DFA)

Poprzez „projektowanie wyrobu zorientowane na montaż” we wczesnej fazie procesu powstawania wyrobu wyroby projektowane są tak, aby mogły być w późniejszej produkcji seryjnej montowane lub składane łatwo, bezbłędnie i z minimalnym nakładem pracy. W tym miejscu uwzględnione są w szczególności interesy montażu w rozwoju wyrobu i procesu montażowego.

b. *Design for Manufacture* (DFM)

Pod DFM rozumieć należy „projektowanie wyrobu zorientowane na wytwarzanie”. Uwzględnia się przy tym wymagania obszarów, które produkują części i grupy złożeniowe do montażu w produkcji seryjnej. Z jednej strony celem jest optymalizacja kosztów wytwarzania części (procesy wytwarzania i narzędzia). Z drugiej strony zapewnione musi być odpowiednie projektowanie procesu produkcyjnego i wyrobu, aby części mogły zostać wytworzone w wymaganej ilości zgodnie ze specyfikacją.

c. *Design for Services* (DFS)

W ramach „projektowania wyrobu zorientowanego na serwis” należy wziąć pod uwagę interesy obszaru serwisu (*After-Sales*) i klientów po dostawie pojazdu, aby utrzymać niskie koszty gwarancji, naprawy, serwisu itp.

d. *Design for Environment* (DFE)

DFE oznacza „projektowanie wyrobu zorientowane na środowisko naturalne i łatwość recyklingu”. W tym miejscu należy zapewnić, że utylizacja pojazdu i jego części na końcu cyklu życia wyrobu nastąpi z możliwie najmniejszym nakładem i z możliwie najmniejszym oddziaływaniem na środowisko. W budowie pojazdów projektowanie produktów zorientowane na recykling zyskało na znaczeniu dzięki rozporządzeniu w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji.

e. *Design for Logistics* (DFL)

„Projektowanie zorientowane na logistykę” wyrobów i procesów produkcyjnych zapewnia, że utrzymane będą możliwie niskie koszty logistyczne w obszarze zarządzania łańcuchem dostaw.

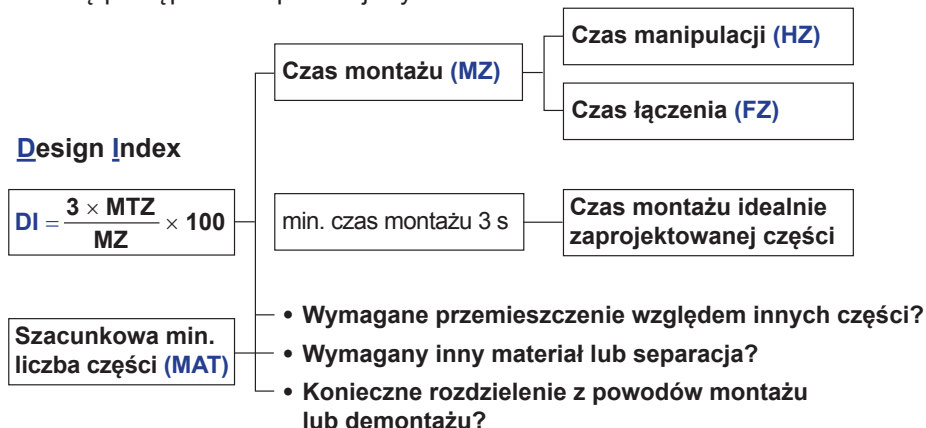
1.3 Zasada projektowania zorientowanego na montaż (DFA)

Podstawowa idea „Design for Assembly” opiera się na następujących zasadach:

- Ustalenie czasu manipulacji i montażu (złożenia).
- Zapewnienie, że idealnie skonstruowana część może zostać zamontowana w trzy sekundy (np. ułożenie odpowiednio zwymiarowanej kuli w otworze ze skosem wprowadzającym).
- Ustalenie teoretycznej najmniejszej liczby części pojedynczych.
- Ustalenie liczby zorientowania na montaż, w której zestawiony będzie faktycznie wymagany czas montażu wyrobu z czasem montażu „idealnie” skonstruowanego wyrobu.

Dalsze parametry mogą zostać ustalone w zależności od różnych metod i stopnia szczegółowości (np. koszty montażu, propozycje projektowania wyrobu, informacje o kosztach narzędzi i urządzeń).

Zasadę postępowania pokazuje rysunek 3:



Legenda:

- HZ** czas manipulacji (niem. *Zeit zum Handhaben*)
FZ czas łączenia (niem. *Zeit zum Fügen*)
MZ czas montażu (niem. *Montagezeit*)
MAT minimalna liczba części (niem. *minimale Anzahl an Teilen*)
DI *Design Index*

Rysunek 3. Zasada „Design for Assembly” (montaż manualny), na podstawie [3]

1.4 Cele, moment użycia, wymagania, metoda DFMA

Cele

Doświadczenie pokazuje, że wyroby zoptymalizowane pod kątem kosztów, materiału i części mają niezakłócony przebieg produkcji i wysoką niezawodność użytkowania.

Postępowanie DFMA wykorzystuje całą bazę wiedzy poprzez włączenie specjalistów rozwoju, produkcji, zarządzania jakością, sprzedaży, zakupów i pozostałych zainteresowanych obszarów fachowych. Tym samym uniknie się nieporozumień, przekaże informacje w odpowiednim momencie, spełni się wymagania istotnych warunków zamówienia i specyfikacji, zredukuje nakład uzgodnień, skróci czas rozwoju i w konsekwencji właściwie wykorzysta zdolności rozwoju i planowania.

W fazie koncepcji wsparte i przyśpieszone będzie podejmowanie decyzji poprzez systematyczny rozwój i ocenę alternatyw oraz ich szybką i obiektywną ocenę pod kątem kosztów.

W fazie rozwoju redukcja liczby części, uproszczenie projektu części i odpowiedni do produkcji projekt wyrobu prowadzi do optymalizacji kosztów wytwarzania (złożone z kosztów części, produkcji oraz inwestycji w narzędzia i urządzenia) dla odpowiednich ilości produkcyjnych. Dodatkowo zredukowany zostaje nakład montażowy i brane są pod uwagę kwestie ergonomii i projektowania stanowisk pracy.

Dzięki jednolitej i zrozumiałej dokumentacji użytych metod poprawia się wymiana informacji w procesie SE i zredukowany zostaje nakład na uzgodnienia.

Ogólnie rzecz biorąc, skutkuje to wzrostem jakości poprzez redukcję skomplikowania i możliwości powstania błędów.

Momenty i powody użycia

Z celów DFMA wynika możliwe zastosowanie do projektowania lub optymalizacji wyrobów i procesów we wszystkich fazach cyklu życia wyrobu.

Za pomocą metod z grupy DFx możliwe jest odpowiednie do produkcji, montażu, serwisu i recyklingu projektowanie lub optymalizacja wyrobów we wszystkich fazach cyklu życia wyrobu.

Możliwe obszary zastosowania:

- Decyzja o koncepcji powinna zostać potwierdzona poprzez systematycznie tworzone i oceniane alternatywy
- Waga powinna zostać zmniejszona
- Konflikt kosztów docelowych
- Rozpoznana luka w stosunku do konkurencji
- Wyrób nie jest wykonalny, jak założono, na przykład informacja zwrotna od dostawcy, symulacja lub FMEA itp.
- Wysoki nakład na naprawy
- Problemy związane z ergonomią
- Redukcja przeróbek
- Wyniki rozwoju nie spełniają wymagań produkcji/montażu
- Duża liczba ryzyk związanych z wykonalnością (np. w FMEA)
- Charakterystyki specjalne

Wymagania

W celu skutecznego i sensownego zastosowania metod DFx należy spełnić pewnego rodzaju wymagania systemowo-techniczne lub organizacyjne.

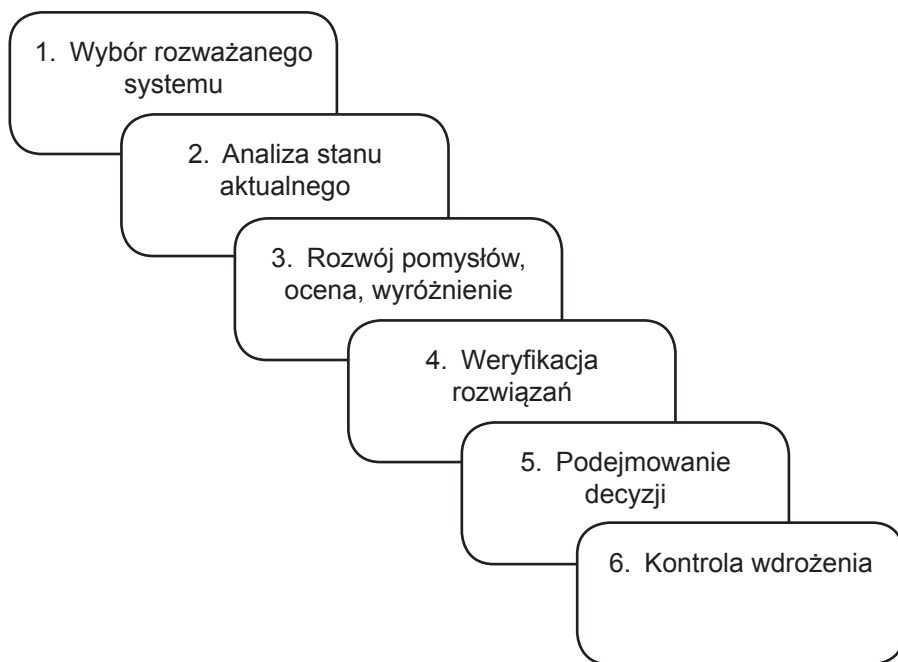
Po stronie systemowej powinny być dostępne możliwie szczegółowe opisy koncepcji wyrobu lub procesu produkcji (ilości, warianty, warunki ramowe itd.). Powinny być dostępne informacje o kosztach (koszty inwestycji, wyrobu i montażu) lub koszty wytwarzania poprzednich lub podobnych systemów.

Z celów i wyżej wymienionych względów należy wyprowadzić konkretne cele zastosowania metody w mierzalnej formie i sformułować uzgodnione zadanie.

Po stronie organizacyjnej należy zbudować interdyscyplinarny zespół złożony z zainteresowanych obszarów fachowych (np. rozwój, planowanie produkcji, produkcja, zakupy, zapewnienie jakości, kontroling, obsługa klienta, dostawca itp.) oraz zaplanować ich dostępność. W celu systematycznego i metodycznego przebiegu konieczna jest moderacja (wewnętrzna lub zewnętrzna). Wsparcie ze strony „nonkonformistów” niezwiązanych z projektem zwiększa szanse na sukces.

Metoda – przebieg i kroki procesu

Przeprowadzenie metody następuje zasadniczo w następujących sześciu krokach:



Rysunek 4. Przebieg metody DFMA

1. Wybór rozważanego systemu

W fazie przygotowania definiowany jest rozważany system odnośnie do jego zakresu, interfejsów i głębokości rozważania oraz pozyskiwana jest dostępna dokumentacja (szkice, opisy, rysunki, informacje o kosztach itd.).

Ustalone zostają cele i zakres zadań, wybierani zostają członkowie zespołu, ustalone zostają terminy i wyjaśnia się pozostałe aspekty organizacyjne.

2. Analiza stanu aktualnego (*Baseline*)

Przedstawienie systemu do opracowania (koncepcja, stan rozwoju, proces wytwarzania itp.) w formie diagramu struktury. Określenie funkcji i przydział poszczególnych kosztów oraz inwestycji do elementów diagramu struktury (części i kroki procesu).

Adnotacja: Analiza może zostać przygotowana w mniejszych zespołach.

3. Rozwój pomysłów, ocena, wyróżnienie

Systematyczne omówienie istniejącej struktury i badania funkcji, części i kroków procesu z docelową listą pytań dotyczących pożądanego kierunku optymalizacji. Powinny zostać przy tej okazji rozwinięte nowe pomysły, podejścia do rozwiązań, rozwiązania alternatywne z wykorzystaniem technik kreatywności.

Znalezione pomysły lub podejście do rozwiązywania/alternatywne rozwiązania są sortowane, priorytetyzowane i przekazywane osobom odpowiedzialnym ze zleceniem sprawdzenia i terminem realizacji.

Adnotacja: Następuje przy udziale całego zespołu

4. Weryfikacja rozwiązań

Szczegółowe badanie wybranych pomysłów, podejść do rozwiązania, alternatywnych rozwiązań odnośnie do funkcji, wykonalności, kosztów, terminów, wagi, serwisu i innych warunków ramowych (bezpieczeństwo, regulacje itd.) przez odpowiednie działy prowadzi do nowych możliwych rozwiązań (w razie potrzeby ze zmienionym podejściem do rozwiązania).

Adnotacja: Przy wykorzystaniu DFMA mogą ewentualnie zostać zidentyfikowane charakterystyki specjalne.

5. Podejmowanie decyzji

Wspólne omówienie możliwych alternatyw z kroku 3, ich przedstawienie w diagramie struktury i porównanie w odniesieniu do sytuacji wyjściowej demonstrują potencjały do doskonalenia lub oszczędności. Zalecenia do wdrożenia/niewdrożenia lub dalszej kontroli ułatwiają osobom, które decydują, wybór optymalnego systemu.

6. Kontrola wdrożenia

Po ostatecznej ocenie kosztów i wskazaniu potencjałów do doskonalenia należy zdecydować i wdrożyć zdefiniowane działania. Należy śledzić ich realizację i skutek.

Ostatnim krokiem jest zebranie całej dokumentacji (np. raport końcowy), aby udokumentować/udowodnić skuteczność i korzyści płynące z zastosowania metody oraz zdobyć argumenty do dalszych projektów DFX.

Zadania i wymagania do moderacji DFMA

W celu zapewnienia skutecznego i metodycznego przebiegu użycia metod DFX konieczna jest moderacja.

Do zadań zalicza się przygotowanie do zastosowania metod, ustalenie zespołu w porozumieniu z kierownictwem projektu, organizację i przeprowadzenie spotkań zespołu, zapewnienie systematyki i dokumentowania zastosowanych metod (włączając raport końcowy).

Aby te zadania mogły zostać zrealizowane, moderator powinien przyjąć neutralną pozycję i posiadać ugruntowaną wiedzę metodologiczną oraz doświadczenie. Zastosowane narzędzia (np. oprogramowanie) muszą być opanowane. Oprócz przygotowania do moderacji wymagana jest podstawowa znajomość techniczna i handlowa.

Możliwa pomoc przy zastosowaniu narzędzi wspierających:

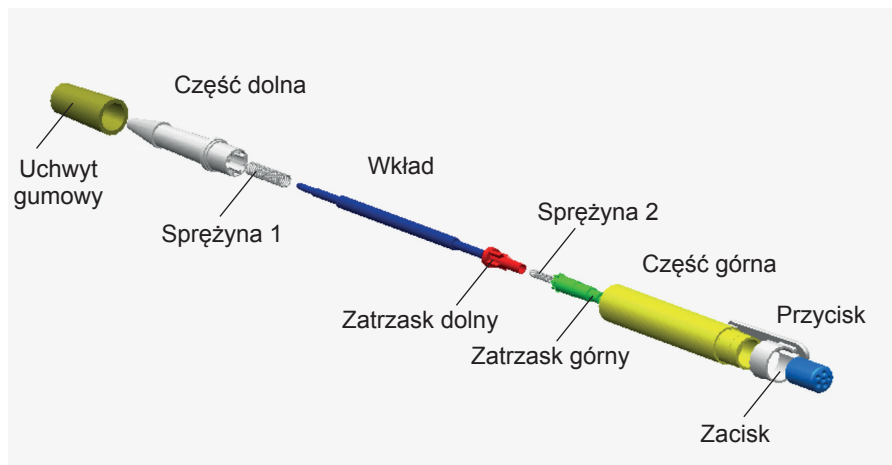
- Narzędzia wizualizacji struktury wyrobu, włączając przynależące koszty i inwestycje
- System do ustalania czasów produkcji
- System do identyfikacji potencjałów optymalizacyjnych części i kroków procesu
- System do identyfikacji zaoszczędzonych części i kroków procesu
- Metoda oceny i priorytetyzacji pomysłów
- Narzędzia dokumentacji
- Banki danych części znormalizowanych, materiałów, operacji, narzędzi i maszyn
- Dobre/złe przykłady projektowania produktów zorientowane na produkcję
- Programy do nauki dla uczestników warsztatów DFMA

Przykład

Na podstawie długopisu można wyjaśnić postępowanie i zasadę DFA. Zastosowano tu tylko podstawowe zasady DFA (częściowo jeszcze uproszczone) bez wchodzenia w szczegóły dotyczące poszczególnych metod.

Rysunek schematyczny długopisu pokazany jest na rysunku 5. Są na nim przedstawione pojedyncze części wyrobu:

Przykład demonstracyjny długopisu złożonego z 10 części



Rysunek 5. Rysunek schematyczny analizowanego długopisu
(źródło: Volkswagen Coaching GmbH)

Najpierw długopis jest demontowany, aby oznaczyć i ponumerować części pojedyncze. Następnie części pojedyncze są analizowane w kolejności montażu pod kątem:

- Czasu montażu
- Teoretycznej najmniejszej liczby części

Wynik dla tego długopisu przedstawiony jest w poniższej tabeli 1. Dla części oznaczonych „0” w kolumnie MAT należy sprawdzić, czy ich funkcji nie można zintegrować w innej części.

Ponadto liczba „Design Index” (DI) daje dodatkową informację o przydatności montażowej wykonanej konstrukcji w porównaniu z teraz powstającymi ulepszeniami konstrukcji.

DFA-strona robocza

Wyrób:

Stan z:

Długopis, 4 części

19.06.2012

Członkowie zespołu:

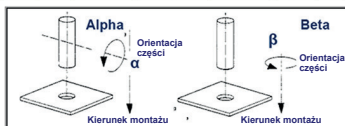
Prof. Dr. Bařlier

Stan aktualny

Kalkulacja czasu		N	N	Alpha	Beta	Manipulacja	HZ	Łączenie	FZ	MAT	MZ	Uwagi
		Części	Grupy części	A1	A1	Kod A2 ⁽¹⁾	A2 ⁽¹⁾	Kod A3 ⁽¹⁾	A3 ⁽¹⁾		Czas montażu	
	Części	(Liczba)	(Liczba)	[°]	[°]							
4.4. Część górna	Operacje ⁽²⁾	1		360	0	00	1,13	00	1,50	0	2,63	można usunąć
4.3 Zacisk		1		360	360	12	2,25	31	5,00	0	7,25	można usunąć
											0,00	
4.2.3 zatrzask górny		1		360	0	00	1,13	00	1,50	0	2,63	nieoczyszczyć
4.2.2 sprężyna 2		1		180	0	05	1,84	06	5,50	0	7,34	można usunąć
4.2.1 zatrzask dolny		1		360	0	00	1,13	01	2,50	0	3,63	nieoczyszczyć
											0,00	
4.2 mechanizm zatrzaskowy			1	360	0	00	1,13	06	5,50	1	6,63	
											0,00	
1.2 Część dolna		1		360	0	00	1,13	00	1,50	1	2,63	nieoczyszczyć
											2,00	
1.1 Uchwyt gumowy	obręcić	1		360	0	00	1,13	33	5,00	0	6,13	można usunąć
											0,00	
3 Sprężyna 1		1		180	0	05	1,84	00	1,50	1	3,34	nieoczyszczyć
2 Wkład		1		360	0	05	1,84	00	1,50	1	3,34	nieoczyszczyć
											0,00	
1 VM część dolna			1	360	0	00	1,13	49	10,50	0	11,63	można usunąć
											0,00	
4.1 Przycisk		1		360	0	00	1,13	30	2,00	0	3,13	można usunąć
	Operacja kontroli										2,00	czas szacunkowy
											0,00	
Łącznie		10					14,55		47,50	4	64,31	

Legenda:

N Liczba części / grup części
 alpha Kąt symetrii (patrz rys.)
 beta Kąt symetrii (patrz rys.)
 HZ Czas manipulacji części *
 FZ Czas łączenia części *
 MAT Minimalna liczba części
 MZ Czas montażu



Czas odniesienia: 3

Design Index: 18,66

*1: Podane w tabeli (ustalenie empiryczne)

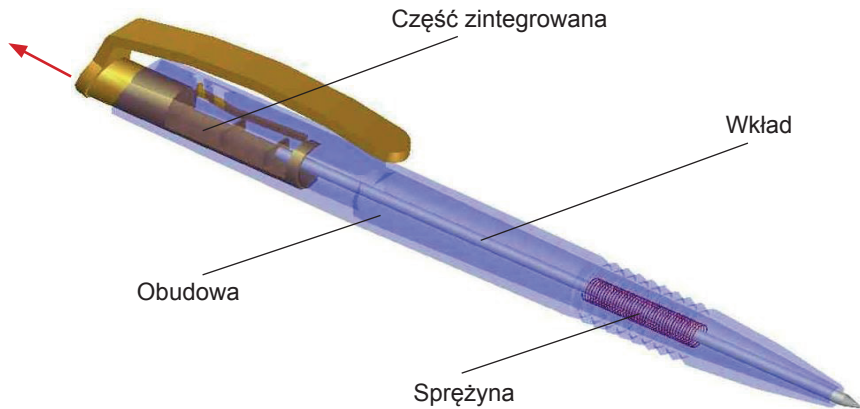
*2: Czasy podane w tabeli lub ustalenie/oszacowanie w zespole

Tabela 1. Analiza długopisu pod kątem zorientowania na montaż według DFA

Wynikiem analizy jest redukcja liczby części z 10 do teoretycznie 4; ponowna analiza DFA z tabeli 2 wykazuje redukcję czasu montażu z 56,5 do 20,07 s, przy czym należy zwrócić uwagę na to, że jedna część (część zintegrowana) jest bardziej skomplikowana. Łącznie nie tylko zaoszczędzono czas montażu poprzez redukcję liczby części, ale również zmniejszono możliwości błędów, przez co powinien zostać osiągnięty wzrost jakości.

Wynikiem przeprowadzenia DFA jest propozycja rozwiązania tylko z 4 częściami, tak jak pokazano przykładowo na rysunku 6.

Przykład długopisu złożonego z 4 części



Rysunek 6. Zrealizowana po DFA konstrukcja długopisu złożonego z 4 części
(źródło: Studienarbeit HS Rosenheim)

Analiza długopisu złożonego z 4 części:

DFA-strona robocza

Wyrób:
Stan z:

Długopis, 4 części
19.06.2012

Członkowie zespołu:

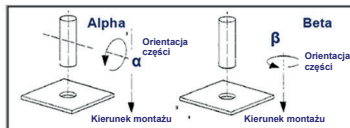
Prof. Dr. Bäßler

Stan aktualny

Kalkulacja czasu		N	N	Alpha	Beta	Manipulacja-	HZ	Łączenie-	FZ	MAT	MZ	Uwagi
Części	Operacje ^{*2}	Części (Liczba)	Grupy części (Liczba)	A1 [°]	A1 [°]	Kod A2 ^{*1}	A2 ^{*1}	Kod A3 ^{*1}	A3 ^{*1}		Czas montażu	
4 Wkład	1	1		360	0	10	1,50	00	1,50	1	3,00	konieczny
3 Sprężyna		1		180	0	05	1,84	06	5,50	1	7,34	konieczny
1 Obudowa		1		360	0	10	1,50	00	1,50	1	3,00	konieczny
2 Przycisk		1		360	360	35	2,73	30	2,00	1	4,73	konieczny
	Operacja kontroli								2,00		2,00	czas szacunkowy
Łącznie		4					7,57		12,50	4	20,07	

Legenda:

N Liczba części / grup części
alpha Kąt symetrii (patrz rys.)
beta Kąt symetrii (patrz rys.)
HZ Czas manipulacji części *
FZ Czas łączenia części *
MAT Minimalna liczba części
MZ Czas montażu



Czas odniesienia: 3

Design Index: 59,79

*1: Podane w tabeli (ustalenie empiryczne)

*2: Czasy podane w tabeli lub ustalenie/oszacowanie w zespole

Tabela 2. Analiza nowego długopisu pod kątem zorientowania na montaż

1.5 Literatura

- [1] Hesse, S. (2012). *Montagegerechte Produktgestaltung*. In: B. Lotter, H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis* (VDI-Buch) (2. Aufl., S. 11–57). Springer-Verlag.
- [2] Andreasen, M., Kähler, S. & Lund, T. (1985). *Montagegerechtes Konstruieren*. Springer-Verlag.
- [3] Boothroyd, G. (1983). *Design for Assembly*. Amherst, University of Michigan, Department of Mechanical Engineering.
- [4] Molloy, O., Warman, E. A. & Tilley, S. (2012). *Design for Manufacturing and Assembly. Concepts, architectures and implementation* (1. Aufl.). Springer-Verlag.

2 Digital Mock-Up (DMU)

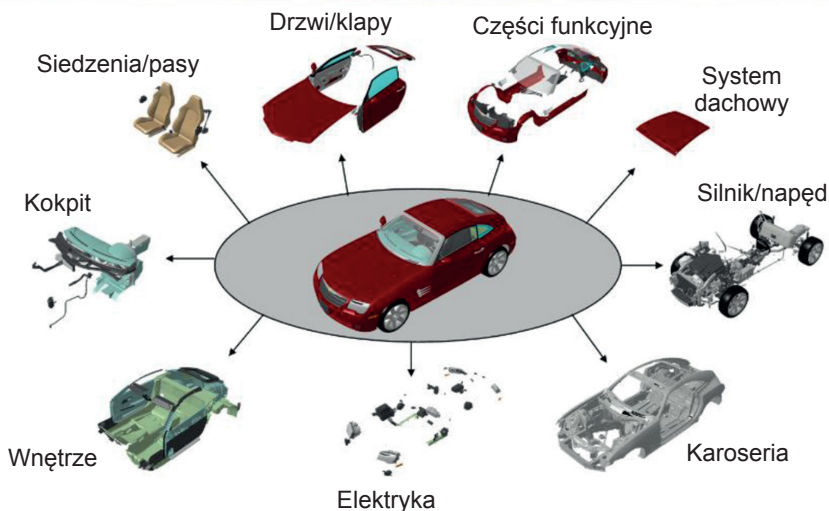
DMU jest pełnym strukturalnym i przestrzennym opisem pojazdu w systemie CAD. DMU umożliwia wirtualne złożenie części z przynależącymi do nich strukturami i służy analizie oraz zapewnieniu w gotowym pojeździe braku kolizji, minimalnych odstępów i możliwości montażu.

Z pomocą DMU możliwe są interdyscyplinarne uzgodnienia pomiędzy działami fachowymi i konstrukcją, jak i zarządzanie przestrzenią zabudowy. Gwarantuje to krótkie ścieżki informacji i szybką reakcję w fazach rozwoju.

Celem jest pełne zabezpieczenie procesu rozwoju poprzez wirtualną zabudowę i symulację wszystkich danych geometrii 3D.

Dzięki parametrycznemu zarządzaniu danymi geometrii 3D w VPM (*Virtual Product Management*) możliwe jest celowe przedstawienie przestrzeni zabudowy lub pojazdu za pomocą systemów CAD w komputerze.

Struktura pojazdu

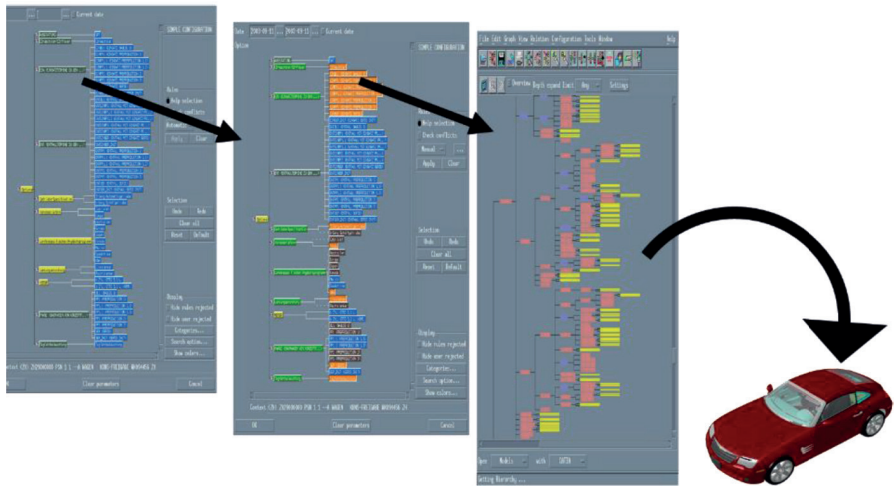


Rysunek 7. Podział pojazdu na pakiety robocze

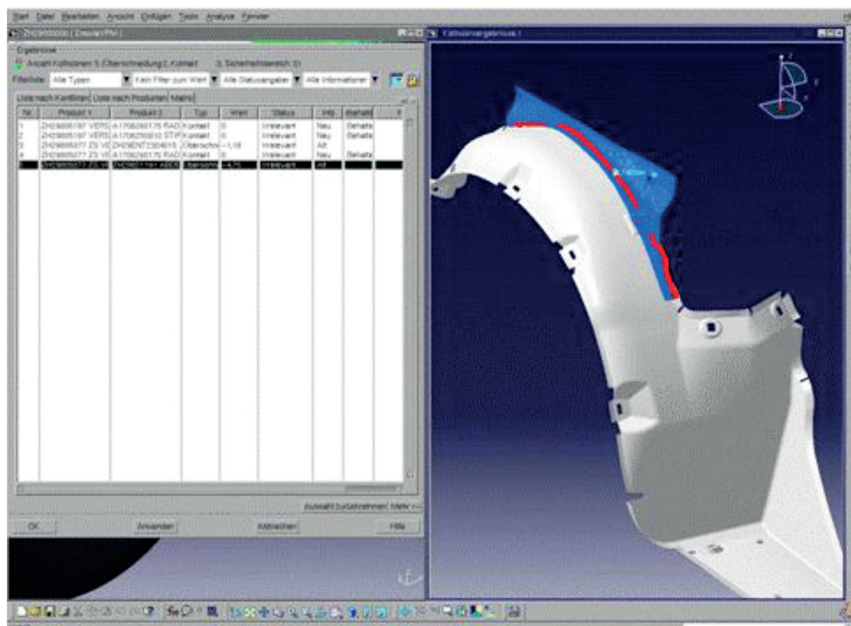
VPM zarządza wszystkimi informacjami dla części, takimi jak dane 3D, informacje strukturalne, mechanizmy kinematyczne, informacje materiałowe, atrybuty administracyjne (np. status rozwoju, uprawnienia) itp. W połączeniu z VPM Configuration Management i Produkt-Struktur-Navigator (PSN) można wymierzyć skonfigurowane pojazdy, na przykład dla różnych wariantów wyposażenia i typów kraju na każdym etapie rozwoju, i przedstawić je na komputerze, wykorzystując najnowocześniejsze technologie CA.

W Produkt-Struktur-Navigator (PSN) wybierane są dane konfigurowanego pojazdu i ładowane są do systemu CAD.

Następnie w celu wirtualnego zabezpieczenia mogą zostać przeprowadzone obszerne badania przestrzeni zabudowy, symulacje i kontrole kolizji.



Rysunek 8. Analiza kolizji, która po odpowiedniej ocenie jest dokumentowana i komunikowana w VPM



Rysunek 9. Oznaczenie obszarów zachodzących na siebie lub kolizyjnych (patrz strzałka)

Zapewnione są tym samym wysoka jakość oraz stopień dojrzałości części. Skracają się okresy rozwoju i zostają zredukowane koszty. Celem jest budowa pojazdów testowych zbliżonych do serii.

Zalety DMU

- Wizualizacja przestrzeni zabudowy dla wszystkich działów fachowych i konstrukcji w zarządzaniu przestrzenią montażową.
- Wczesne rozpoznanie i usunięcie problemów.
- Skrócone czasy rozwoju.
- Wysoka jakość rozwijanych wyrobów.
- Wczesne uwzględnienie wymagań produkcji i obsługi klienta.
- Redukcja kosztów.

3 *Design of Experiments* (DoE) – metodyka projektowania doświadczeń

3.1 Wprowadzenie

Już na początku produkcji seryjnej powinny być realizowane tylko niezawodne, gotowe do produkcji i sprzedaży wyroby. Dlatego przed rozpoczęciem produkcji seryjnej, w fazie rozwoju, konieczne jest sprawdzenie poprzez eksperymenty alternatywnych konstrukcji i wyrobów. W praktycznych eksperymentach lub obliczeniach teoretycznych (symulacje) muszą zostać zbadane i ocenione skutki zmienionych parametrów.

Skuteczną metodą badania skutków zmian wielkości wejściowych (czynników) na właściwości wielkości docelowych jest statystyczne planowanie eksperymentów. Badane są przy tym konstrukcyjne i techniczne alternatywy wyrobu odnośnie do ich współdziałania i wywierania wpływu na wielkości docelowe. Zaletą jest to, że zakres eksperymentu i głębokość informacji ustalona jest dokładnie przed rozpoczęciem eksperymentu, a wynik jest zabezpieczony statystycznie.

Przedstawione poniżej możliwości planowania i przeprowadzania eksperymentów mogą zostać zastosowane w każdej fazie planowania produkcji, przygotowania produkcji, rozwoju i wytwarzania. Podobnie do doświadczeń praktycznych mogą zostać przeprowadzone obliczenia teoretyczne i symulacje z użyciem przedstawionych metod, aby uzyskać systematyczny wgląd w wielkości docelowe i zredukować nakład pracy.

3.2 Opis i analiza problemu

Dokładny opis i analiza problemu wymagają czasu, mają jednak sens, ponieważ dokładnie sformułowane zadanie redukuje testy do niezbędnego minimum.

Zadanie i wyznaczony cel

Ze sformułowanego zadania i wyznaczonego celu musi wynikać, czy powinna zostać osiągnięta poprawa, powinno zostać znalezione relatywne lub absolutne optimum lub czy istnieje inny cel. W tym celu ustala się charakterystyki jakościowe i kryteria oceny, za pomocą których możliwa będzie ocena osiągnięcia wyznaczonego celu.

Przegląd wyrobu

Do dokładnego opisu wyrobu należy obok rysunku lub szkicu także pełny opis realizowanych funkcji. Te mogą być przygotowane z pomocą formularzy, analogicznie do tych używanych w FMEA.

Przegląd procesu

Pod pojęciem procesu kryje się zarówno przebieg produkcji, jak i przebieg funkcyjno-techniczny. Proces może być przedstawiony za pomocą diagramu przepływu procesu [1] lub planu przebiegu procesu. Jeżeli chcielibyśmy pokazać układ hierarchiczny lub przebiegi z ich wspólnymi zależnościami, odpowiednie byłyby również schematy blokowe [1].

Przegląd otoczenia

W opisie otoczenia przytacza się dla rozwiązania problemu ważne warunki ramowe, jak i znane już lub przypuszczalne zakłócenia. W praktyce są to przynajmniej niekontrolowane wpływy systemowe.

Wielkości docelowe

Istotnym krokiem analizy problemu jest ustalenie wielkości docelowej(-ych). Wielkości docelowe są pośrednio lub bezpośrednio mierzalnymi wielkościami fizycznymi, które nadają się do oceny osiągnięcia celu w eksperymencie.

Wielkości wejściowe, zebranie i przygotowanie danych

Do tego kroku konieczne jest międzyobszarowe zebranie danych. Należą do nich dane i fakty z bieżącej produkcji, jak i wyniki wcześniejszych badań.

Informacje o aktualnej sytuacji są strukturyzowane, w tym celu dostępny jest cały zakres prostych i sprawdzonych narzędzi:

- karta rejestracji błędów, diagram miejsca błędów [1],
- analiza Pareto (zwana również analizą ABC) [1],
- przedstawienie graficzne (wykresy liniowe, słupkowe, tortowe) [1],
- stratyfikacja, histogram, diagram korelacji, wykres pudełkowy [1], siatka prawdopodobieństwa [2].

Dla nowych projektów rozwojowych należy uwzględnić wiedzę teoretyczną lub wnioski z wyników symulacji.

Rejestracja, ocena i wybór wielkości wejściowych

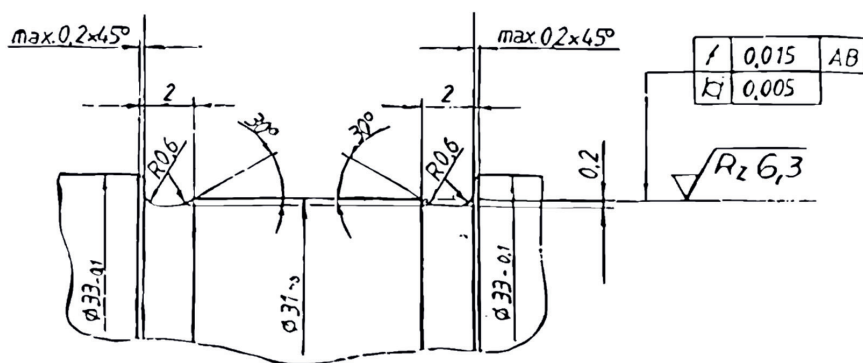
W celu rejestracji możliwych wielkości wejściowych przeprowadza się burzę mózgów. Możliwymi środkami pomocniczymi do zebrania i strukturyzowania przypuszczalnych wielkości wejściowych są:

- technika metaplanu [3],
- diagram przyczynowo-skutkowy (zwany również diagramem rybiej ości lub Ishikawy) [1],
- analiza drzewa błędów [4].

- niezależne od siebie dające się regulować i podatne na wpływ wielkości, np. wielkości techniczne lub fizyczne, takie jak wymiar, ciśnienie, liczba obrotów, oraz
- wielkości trudne lub w ogóle niepodatne na wpływ, np. temperatura otoczenia, wilgotność powietrza, zachowanie klienta, profil zastosowania.

Konieczne jest uwzględnienie ewentualnych interakcji. Oddziaływanie wzajemne pomiędzy wielkościami istnieje, kiedy działanie jednej wielkości zależy od tego, na jakim poziomie ustawiona jest inna wielkość/ustawione są inne wielkości.

Jako przykład dla wyjaśnienia i zilustrowania postępowania w ramach metodyki planowania doświadczeń omówiony zostanie eksperyment demonstracyjny [5]. Chodzi o przedstawione na rysunku 10 łożysko wałka napędu automatycznej skrzyni biegów.

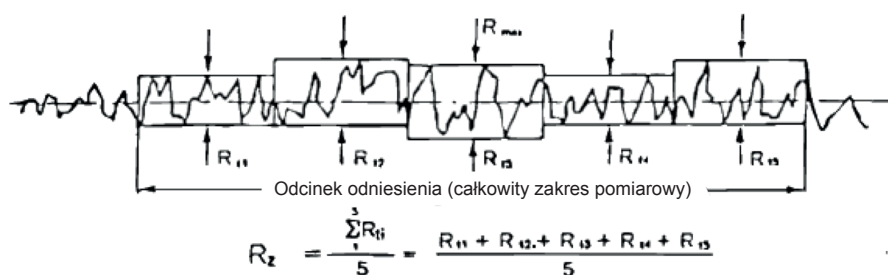


29

Opis i dyskusja sytuacji wyjściowej wskazały jako cel badania poprawę wykończenia powierzchni łożyska. Jako wielkości docelowe do oceny tego procesu ustalono:

1. Chropowość powierzchni R_z
2. Kształt wióra

Chropowość R_z na średnicy 31 mm została zmierzona zgodnie z DIN EN ISO 4288:1998-04, patrz rysunek 11. Ocena kształtu wiórów następuje na podstawie badania metalograficznego.



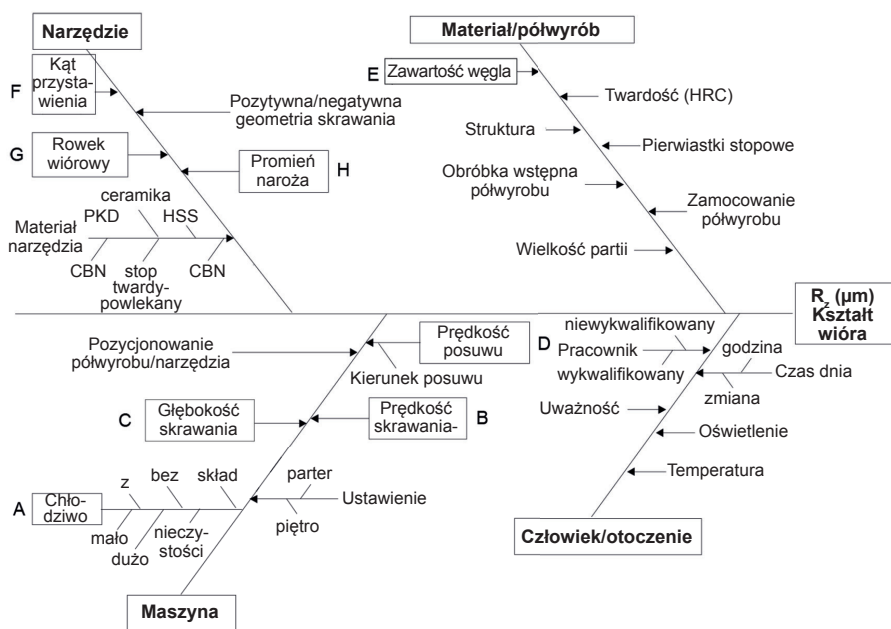
Rysunek 11. Obliczenie chropowości RZ według DIN EN ISO 4288:1998-04

Zakres pomiarowy, pomijając odcinek początkowy i końcowy, podzielony jest na pięć jednakowo długich odcinków. Uśredniona chropowość R_z określona jest jako arytmetyczna średnia chropowości pięciu pojedynczych graniczących ze sobą odcinków. Chropowość R_{max} jest największą chropowością z pięciu wartości pomiarowych.

Wynik szczegółowego przeglądu w formie burzy mózgów zakresu możliwych wielkości wejściowych określających jakość powierzchni odzwierciedlony jest na diagramie przyczynowo-skutkowym na rysunku 12. Pomiędzy większością wymienionych wielkości wejściowych oczekiwane są interakcje.

3.3 Redukcja liczby wielkości wejściowych, wybór czynników doświadczeń

Krok planowania, który redukuje do możliwego do opanowania zakresu ustalone w trakcie analizy problemu możliwe wielkości wejściowe, jest odpowiednio realizowany przez grupę roboczą, która przeprowadziła analizę problemu. W ten sposób zapewnione jest, że posiadana praktyczna i techniczna ekspertyza wpływa na wybór czynników. Dla omawianego w tym miejscu postępowania odsyłamy do literatury uzupełniającej: E. Scheffler [6].



Rysunek 12. Diagram przyczynowo-skutkowy dla wielkości docelowych chropowości i kształtu wióra łożyska wałka napędu automatycznej skrzyni biegów

Odtwarzalność i niezależność

Wybrane wielkości wejściowe muszą być możliwe do ustawienia na określonych poziomach ze znaną powtarzalnością.

Jeżeli ustawienie jednej wielkości zostanie zmienione, nie może mieć to wpływu na ustawienie innej wielkości.

Kryteria i skala oceny

Zależnie od konkretnej sytuacji kryteria oceny są definiowane w celu wyboru zmiennych wejściowych i dopasowywana jest odpowiednia, wielostopniowa skala. Każdy korzystny przypadek ocenia się w górę; im bardziej niekorzystne przyporządkowanie do kryterium oceny, tym niższa jest ocena liczbowa.

Na przykład:

Nakład na ustawienie wielkości

1	wysoki ...	10	niski
---	------------	----	-------

Przypuszczalny wpływ czynnika

1	niski ...	10	wysoki
---	-----------	----	--------

Koszt przedstawienia wielkości

1	wysoki ...	10	niski
---	------------	----	-------











Multiplikacja średniej ustalonej dla każdego kryterium oceny określa miernik priorytetu wielkości wejściowej. Wielkości wejściowe są sortowane wg ich priorytetu.

Stopniowanie wielkości wejściowych

Ocenę i stopniowanie wielkości wejściowych należy przeprowadzić wspólnie przez wszystkich członków zespołu. Wynika z tego najpierw dla każdego kryterium oceny jednej wielkości średnia wartość oceny. Następnie wszystkie średnie wartości są pomnożone razem. Wynikiem jest liczba określająca priorytet tej wielkości wejściowej. Na końcu wielkości wejściowe są sortowane wg ich priorytetu, a tym samym stopniowane.

Matryca skutków (wg Schefflera)

Pod pojęciem matrycy skutków należy rozumieć tabelaryczne przedstawienie zmian wielkości docelowej(-ych) przy wariacji wielkości wejściowych. Kształt krzywych i symbole charakteryzują przypuszczalne i znane zmiany.

	X_1	X_2	X_3	X_4	
Y_1					 Znany skutek
Y_2	?		?		 Znany skutek nieliniowy
					 Przypuszczalny skutek
					 Skutek nieznan

Rysunek 13. Matryca skutków wg Schefflera

$X_1 - X_n$ = wielkości wejściowe

$Y_1 \dots Y_n$ = wielkości docelowe

Oddziaływania wzajemne

W celu wyboru odpowiedniego i ekonomicznego planu szczególnie ważne jest pozyskanie informacji wstępnych o możliwych interakcjach pomiędzy wielkościami wejściowymi. Jeżeli faktycznie występujące oddziaływania wzajemne pozostaną nieuwzględnione podczas ustalania planu, wyniki eksperymentu mogą prowadzić do błędnych wniosków.

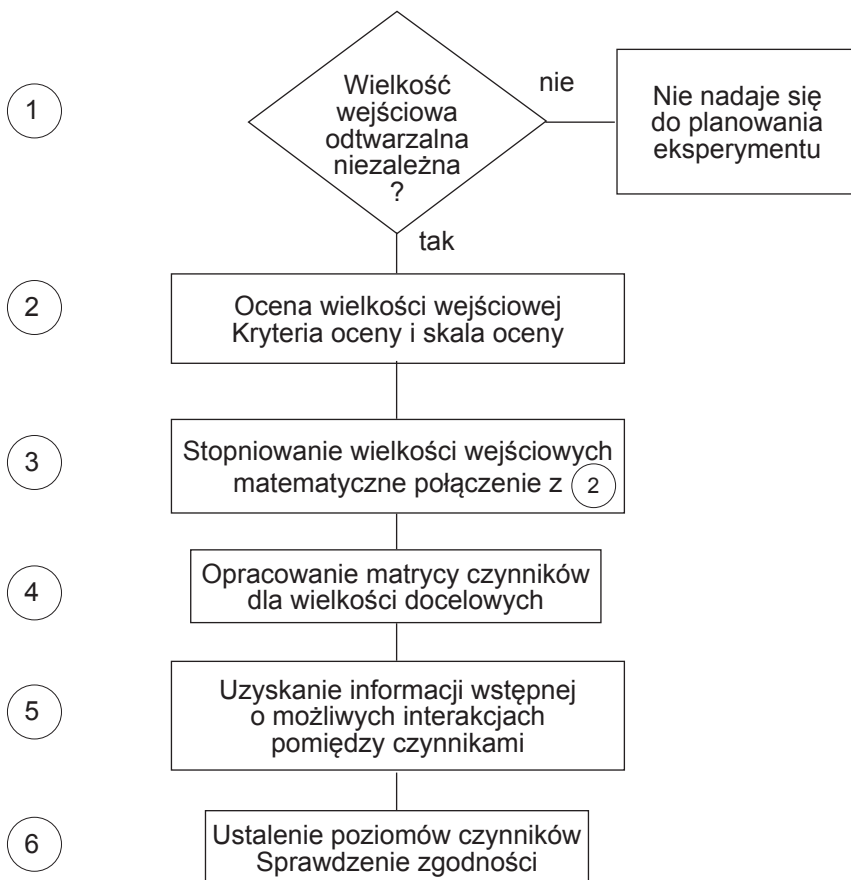
Czynniki

Te wielkości wejściowe, które będą uwzględnione w planie eksperymentu, nazywane są czynnikami.

Poziomy czynników

Rozróżnialne stany, które może przyjmować czynnik. W najprostszym przypadku wychodzi się od dwóch poziomów czynników. Obydwa poziomy poszczególnych czynników wybiera się na podstawie technicznych przemyśleń i warunków brzegowych, jak i wykonalności eksperymentalnej w „odpowiednim” odstępie od siebie. Dla czynników jakościowych niedokładność ustawienia musi być pomijalnie mała względem odstępu poziomów.

Podsumowanie wyboru czynników w formie diagramu przepływu:



Rysunek 14. Diagram przepływu wyboru czynników i poziomów czynników.

Przykład

Dla procesu obróbki skrawaniem dostępne są wystarczające dane o zasadniczych skutkach różnych wielkości wejściowych. Dzięki tym informacjom wstępnym ustalono na podstawie rysunku 12 następujących osiem istotnych wielkości jako czynników dla badania:

A	=	chłodziwo
B	=	prędkość skrawania
C	=	głębokość skrawania
D	=	prędkość posuwu
E	=	materiał
F	=	kąt przystawienia
G	=	rowek wiórowy
H	=	promień naroża

Aby dojść do możliwie najprostszego planu, bada się każdy czynnik na dwóch poziomach. Dzięki posiadanemu doświadczeniu z tym procesem zespół ustalił następujące poziomy czynników:

Poziomy czynników

Czynnik	–	+
A	nie	tak
B	100 m/min	150 m/min
C	1 mm	2 mm
D	0,2 mm/h	0,3 mm/h
E	Materiał 2	Materiał 1
F	45°	75°
G	mały	duży
H	0,8 mm	1,2 mm

Rysunek 15. Czynniki i poziomy czynników procesu obróbki skrawaniem

O ile istniała wiedza lub przypuszczenia dotyczące wpływu tych wielkości wejściowych na wielkości docelowe, będą one przedstawione w macierzy skutków na rysunku 16.

Czynniki wejściowe Wielkość docelowa	A Chłodziwo		B Prędkość skrawania		C Głębokość skrawania		D Prędkość posuwu		E Materiał		F Kąt przystawienia		G Rowek wiórowy		H Promień naroża	
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
duża Chropowatość											?					
mała niekorzystny Kształt wióra	?															
korzystny																

Rysunek 16. Macierz skutków znanych i przypuszczalnych skutków ośmiu wybranych czynników na wielkość docelową

3.4 Wybór strategii eksperymentów

Opisane będą krótko szczególnie często stosowane plany eksperymentów. Przedstawiają one tylko mały wycinek spośród znanych strategii eksperymentu. Obszerniejsze informacje podane są np. przez Jurana [7].

Eksperyment jednoczynnikowy

Badanie wpływu jednego ilościowego lub jakościowego czynnika na jedną lub więcej wielkości docelowych. Czynniki jest ustawiony dla dwóch lub więcej poziomów. Badanie jest przeprowadzane na wszystkich poziomach jednakowo często ($n > 1$).

Skutki wielkości wejściowych, które nie są włączone do planu, należy wyłączyć. Dzieje się tak albo dlatego, że są one utrzymywane podczas eksperymentu na stałym poziomie, albo dlatego, że jednostki eksperymentalne są losowo przypisane do wybranych kombinacji poziomów czynników.

Doświadczenie jednoczynnikowe dostarcza informacji o wpływie tego czynnika na jedną lub więcej wielkości docelowych w dokładnie zadanych warunkach. W dalszym kroku można oszacować rozrzut szczątkowy lub rozrzut próby.

Typowe zastosowanie

Badanie skutków jednego czynnika.

Pełny eksperyment czynnikowy

Badanie wpływów wielu ilościowych lub jakościowych czynników na jedną lub więcej wielkości docelowych. Każdy czynnik ustawiony jest na dwóch lub więcej poziomach. Badanie przeprowadzane jest na wszystkich możliwych kombinacjach poziomów czynników jednakowo często (n możliwie > 1).

Skutki wielkości wejściowych, które nie zostały włączone do planu, należy wyłączyć. Dzieje się tak albo dlatego, że są one utrzymywane na stałym poziomie, albo dlatego, że jednostki eksperymentalne są losowo przypisane do wybranych kombinacji poziomów czynników.

Pełny eksperyment czynnikowy dostarcza informacji o skutkach badanych czynników na wielkości docelowe i o interakcji pomiędzy badanymi czynnikami. W dalszym kroku można oszacować rozrzut szczątkowy lub rozrzut próby.

Typowe zastosowanie

Badanie skutków małej liczby czynników, kiedy są oczekiwane lub nie można wykluczyć interakcji pomiędzy nimi.

Przykład

Badanie skutków czterech czynników A, B, C i D na wielkość docelową przy ustawieniu czynników na każdym z dwóch poziomów: „-” i „+”.
Oznaczenie tego planu: 24.

Nr	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

Eksperyment dostarcza informacji o:

- głównych efektach A, B, C i D,
- interakcji dwuczynnikowej AB, AC, AD, BC, BD i CD,
- interakcji trójczynnikowej ABC, ABD, ACD i BCD oraz
- interakcji czteroczynnikowej ABCD.

Literatura uzupełniająca: E. Scheffler [6].

Ułamkowy eksperyment czynnikowy

Badanie wpływów wielu ilościowych lub jakościowych czynników na jedną lub więcej wielkości docelowych. Każdy czynnik ustawiony jest na dwóch lub więcej poziomach. Badanie przeprowadzane jest na wybranej liczbie możliwych kombinacji poziomów czynników jednakowo często.

Skutki wielkości wejściowych, które nie zostały włączone do planu, należy wyłączyć. Dzieje się tak albo dlatego, że są one utrzymywane na stałym poziomie, albo dlatego, że jednostki eksperymentalne są losowo przypisane do wybranych kombinacji poziomów czynników.

Ułamkowy eksperyment czynnikowy dostarcza informacji o skutkach badanych czynników na wielkość(-ści) docelową(-we) i o interakcji pomiędzy badanymi czynnikami. Występują przy tym jednakże uwikłania zależnie od wyboru kombinacji poziomów czynników. Efekty interakcji uwikłane są między sobą, a także z głównymi efektami. Poziom uwikłania zależy od wybranego planu.

Typowe zastosowanie

Badanie skutków większej liczby czynników, kiedy przynajmniej część możliwych interakcji nie jest udokumentowana lub w uzasadnionym przypadku może zostać wyłączona. Często przyjmuje się, że interakcje wyższego rzędu, tzn. interakcje pomiędzy więcej niż dwoma czynnikami, są znikome.

Przykład

Badanie skutków czterech czynników A, B, C i D na wielkość docelową przy ustawieniu czynników na każdym z dwóch poziomów: „-” i „+”. Przeprowadzenie badania na połowie możliwych kombinacji poziomów czynników pełnego doświadczenia czynnikowego.

Oznaczenie tego planu: $(1/2 \cdot 2^4 =) 2^{4-1}$.

Nr	A	B	C	D
1	–	–	–	–
2	+	+	–	–
3	+	–	+	–
4	–	+	+	–
5	+	–	–	+
6	–	+	–	+
7	–	–	+	+
8	+	+	+	+

Ten eksperyment dostarcza informacji o następujących uwikłanych efektach:

AA	+	BCD,
B	+	ACD,
C	+	ABD,
D	+	ABC,
AB	+	CD,
AC	+	BD,
AD	+	BC.

Ten plan jest użyteczny wtedy, kiedy przynajmniej jeden z czterech czynników nie wykazuje interakcji z pozostałymi czynnikami i kiedy ponadto interakcje wyższego rzędu są w uzasadnionych przypadkach znikome.

Przedstawiony przykład pokazuje problematykę uwikłania względnie podwójnej interakcji. Jeżeli czynnik nie wykazuje żadnych interakcji, zachowuje się addytywnie. W równaniu modelu pojawia się on tylko jako składnik sumy. W takim przypadku byłoby sensownie i prosto badać ten czynnik oddzielnie.

Literatura uzupełniająca: E. Scheffler [6].

Poszukiwanie czynników wg D. Shainin

Poszukiwanie tych czynników, które wywierają największy wpływ na wielkości docelowe.

Najważniejsze wielkości wejściowe są wyselekcjonowane do badania i posortowane z technologicznego punktu widzenia ich przypuszczalnego znaczenia:

A, B, C, D, E, ...

Następnie każdemu z tych czynników przypisuje się dwa poziomy: jeden poziom „+”, dla którego z technologicznego punktu widzenia oczekiwane jest lepsze działanie na wielkość docelową, i poziom „-”, dla którego z technologicznego punktu widzenia oczekiwane jest gorsze działanie na wielkość docelową.

W pierwszej fazie przeprowadzane są dwie próby jednakowo często (przynajmniej dwa razy). W pierwszej próbie wszystkie czynniki ustawione są na poziom „+” a w drugiej próbie na poziom „-”. Jeżeli różnica pomiędzy obydwooma ustawieniami jest znacząca, można przejść do drugiej fazy eksperymentu.

Jeżeli różnica pomiędzy obydwooma ustawieniami nie jest znacząca, musi zostać ustalona tego przyczyna. Albo przeoczone zostały ważne wielkości wejściowe i nie zostały ujęte jako czynniki w badaniu, albo poziomy „+” i „-” zostały częściowo błędnie przypisane. W kolejnej burzy mózgów specjalistów ponownie dyskutuje się wielkości wejściowe i sprawdza się ustalenie poziomów przy pomocy doświadczeń jednoczynnikowych.

W drugiej fazie eksperymentu porównuje się ze sobą następujące cztery wyniki doświadczeń:

A	-	B	-	C	-	D	-	E	-	...
A	+	B	-	C	-	D	-	E	-	...
A	-	B	+	C	+	D	+	E	+	...
A	+	B	+	C	+	D	+	E	+	...

W zależności od tego, jak silny jest efekt A w porównaniu z efektem pozostałych czynników, można przyporządkować A jako ważny czynnik, jako jeden z wielu znaczących czynników lub jako nieważny czynnik. Analogiczne badanie przeprowadza się z pozostałymi czynnikami B, C itp. do momentu odnalezienia wszystkich znaczących czynników.

Ta metoda identyfikuje z większej liczby czynników te, które wywierają największy wpływ na wielkość(-ści) docelową(-we). W dalszym kroku można oszacować rozrzut szczegółowy lub rozrzut próby.

Typowe zastosowanie

Jako badanie wstępne, kiedy oczekuje się, że bardzo mało czynników wywiera wpływ na wielkość(-ści) docelową(-we), podczas gdy większość pozostałych czynników wykazuje tylko małe oddziaływanie na wielkości docelowe (zasada Pareto). Następnie można przeprowadzić ze zidentyfikowanymi znaczącymi czynnikami pełny eksperyment czynnikowy.

Literatura uzupełniająca: Theden [8].

Metodyka planowania eksperymentu wg G. Taguchiego

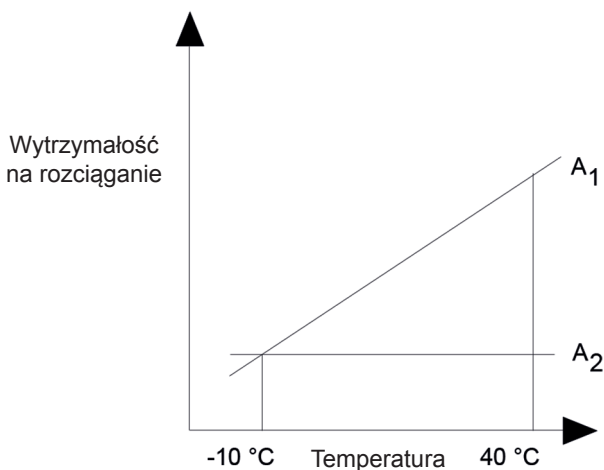
Rozwój wyrobów i procesów, które są solidne w szerokim zakresie zastosowania. Chodzi o narzędzie rozwoju dla osiągnięcia następujących celów:

- rozwój i doskonalenie wyrobów i procesów, które powinny być wytrzymałe w szerokim zakresie zastosowania (ang. *robust design*),
- rozwój i doskonalenie wyrobów i procesów, które powinny być wytrzymałe w szerokim zakresie zastosowania i jednocześnie reagowały wrażliwie na jedną lub więcej wybranych wielkości wejściowych (charakterystyki dynamiczne, ang. *dynamic characteristics* – przyp. tłum.).

Taguchi używa w swojej procedurze tradycyjnych planów eksperymentów. Dla dwupoziomowych planów używa jednak zamiast „-” i „+” liczb „1” i „2” dla oznaczenia poziomów.

Rozwój solidnych wyrobów i procesów

Jeżeli profil zastosowania leży w zakresie temperatur od -10°C do $+40^{\circ}\text{C}$, tak jak pokazano na rysunku 17, i w tym zakresie wymagane są stałe właściwości wyrobu, faworyzowany jest materiał A_2 w przeciwieństwie do A_1 . W rozwoju solidnych wyrobów i procesów należy uwzględnić zarówno czynniki specyficzne dla wyrobu, tzn. czynniki, które określają właściwości wyrobu, jak i czynniki specyficzne dla procesu i profilu zastosowania. Ostatnie nazywane są czynnikami zakłócającymi.



Rysunek 17. Wytrzymałość na rozciąganie dwóch materiałów w zakresie temperaturowym

Czynniki specyficzne dla wyrobu i czynniki zakłócające są przyporządkowane do różnych od siebie niezależnych planów eksperymentu, patrz rysunek 18. Każda kombinacja czynników specyficznych dla wyrobu badana jest z wszystkimi kombinacjami poziomów czynników zakłócających.

									Matryca parametrów zakłóceń				
Czynnik		A	B	C	D	E	F	G	xyz	111	122	212	221
	1	1	1	1	1	1	1	1		Wyniki			
	2	1	1	1	2	2	2	2					
	3	1	2	2	1	1	2	2					
	4	1	2	2	2	2	1	1					
	5	2	1	2	1	2	1	2					
	6	2	1	2	2	1	2	1					
	7	2	2	1	1	2	2	1					
	8	2	2	1	2	1	1	2					

Rysunek 18. Schematyczne przyporządkowanie doświadczeń dla czynników specyficznych dla wyrobu i czynników zakłóceń w rozwoju solidnych wyrobów i procesów

Kierowanie pojazdem powinno być zaprojektowane tak, aby

- reagowało na zmiany kąta kierownicy przez kierującego pojazdem (wielkość sygnału) w szerokim zakresie tak dobrze i równomiernie, jak to możliwe,
- reagowało możliwie niezależnie od warunków zewnętrznych (zakłóceń), tzn. że zachowuje stałe warunki kierowania w najróżniejszych warunkach drogowych.

Procedura pomiarowa powinna być określona w taki sposób, aby

- wrażliwie reagowała na zmiany wielkości mierzonych (wielkości sygnału) i
- dostarczała powtarzalnych wyników niezależnie od warunków zewnętrznych (zakłóceń).

								Matryca parametrów zakłóceń												
								S ₁					S ₂							
Czynnik		A	B	C	D	E	F	G	xyz	111	122	212	221	xyz	111	122	212	221		
	1	1	1	1	1	1	1	1	Matryca parametrów zakłóceń	Wyniki					Matryca parametrów zakłóceń	Wyniki				
	2	1	1	1	2	2	2	2												
	3	1	2	2	1	1	2	2												
	4	1	2	2	2	2	1	1												
	5	2	1	2	1	2	1	2												
	6	2	1	2	2	1	2	1												
	7	2	2	1	1	2	2	1												
	8	2	2	1	2	1	1	2												

Rysunek 19. Schematyczne przyporządkowanie doświadczeń w rozwoju solidnych i wrażliwych wyrobów i procesów

Literatura uzupełniająca: Roy [9].

Przykład

W przykładzie badania wykończenia powierzchni łożyska uwzględnionych jest w planie osiem czynników każdy na dwóch poziomach, patrz przykład na stronie 36. W tym przypadku wchodzi w rachubę doświadczenia czynnikowe z dwoma poziomami dla każdego czynnika. Aby nakład na eksperyment był jak najmniejszy (liczba przeprowadzanych różnych eksperymentów częściowych), wybrano ułamkowy eksperyment czynnikowy. W eksperymencie główne efekty (A, B, C itp.) nie są uwikłane z interakcją dwuczynnikową (AB, AC, BC itp.), ale tylko z interakcjami wyższego rzędu. Interakcje dwuczynnikowe są uwikłane między sobą i z interakcjami wyższego rzędu. W takim przypadku mówi się o eksperymencie z rozdzielną IV.

Tego rodzaju eksperymenty przy małym nakładzie pracy mają właściwość oszacowania głównych efektów w dobrym przybliżeniu. Z innej strony ze względu na niski nakład pracy nie mogą być ustalone interakcje.

Plany eksperymentów są zatem używane jako wstęp do badania. Przede wszystkim ustala się, które czynniki powodują znaczące efekty, aby następnie – o ile jest wymagane – przeprowadzić eksperyment z tymi (zwykle kilkoma) czynnikami, które pozwalają również określić interakcje.

Uwikłanie np. interakcji z efektem głównym może prowadzić do tego, że skompensowany będzie faktycznie występujący efekt główny lub pozorowany będzie nieistniejący efekt główny. Ma to zastosowanie nie tylko w planach Taguchiego, ale generalnie w tak zwanych planach przesiewowych.

Ponieważ eksperyment zawiera łącznie 16 doświadczeń, które nie mogą zostać przeprowadzone w jednym etapie z różnymi ustawieniami przy niezmiennych warunkach ramowych, został zaplanowany eksperyment w czterech blokach, które przeprowadzone zostaną w czterech różnych dniach:

Blok	Eksperyment częściowy	Ustawienie czynnika							
		A	B	C	D	E	F	G	H
I	2	+	–	–	–	–	–	+	+
	3	–	+	–	–	+	+	–	+
	14	+	–	+	+	–	–	+	–
	15	–	+	+	+	–	+	–	–
II	5	–	–	+	–	+	+	+	–
	8	+	+	+	–	+	–	–	–
	9	–	–	–	+	–	+	+	+
	12	+	+	–	+	–	–	–	+
III	6	+	–	+	–	–	+	–	+
	7	–	+	+	–	–	–	+	+
	10	+	–	–	+	+	+	–	–
	11	–	+	–	+	+	–	+	–
IV	1	–	–	–	–	–	–	–	–
	4	+	+	–	–	–	+	+	–
	13	–	–	+	+	+	–	–	+
	16	+	+	+	+	+	+	+	+

Matryca
(5)

Zakres próbki dla eksperymentu częściowego: $n = 10$

Tabela 3. Planowanie eksperymentów

3.5 Ocena wyników eksperymentów

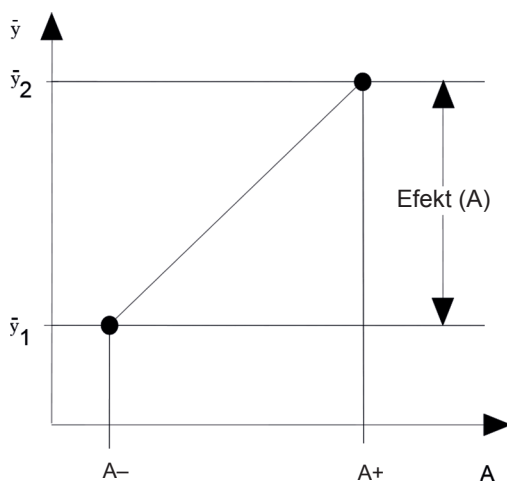
Ocena eksperymentu zostanie wyjaśniona na przykładzie planów czynnikowych z k czynnikami rozbitymi na dwa poziomy (2k).

Przedstawienie wyników pomiaru

Najprostszy przypadek $k = 1$ odpowiada eksperymentowi jednoczynnikowemu, w którym bada się zależność wielkości docelowej od tylko jednego czynnika A. Zależność jest przedstawiona na rysunku 20.

Zmiana wielkości wyjściowej y przy zmianie z A– na A+ jest efektem czynnika A. Wielkość efektu zależy od wyboru ustawienia A– lub A+.

Powyższe podstawowe rozważania można przełożyć na pełne i ułamkowe eksperymenty z dwoma lub więcej wielkościami wejściowymi.



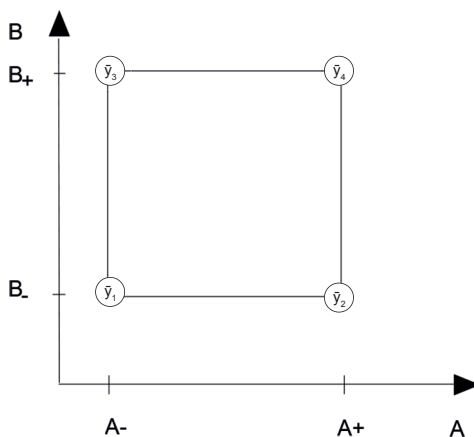
Rysunek 20. Graficzne przedstawienie efektu eksperymentu jednoczynnikowego

W eksperymencie dwuczynnikowym czynniki A i B będą zmieniały się zgodnie z poniższą matrycą na dwóch poziomach:

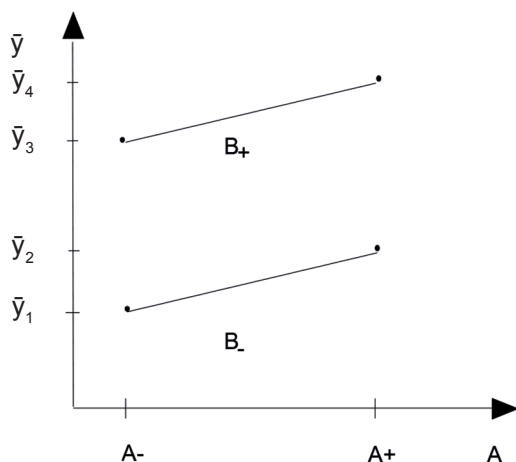
Nr	A	B	y
1	–	–	y_1
2	+	–	y_2
3	–	+	y_3
4	+	+	y_4

Matryca
(6)

W kolumnie y znajdują się wartości średnie y_1, \dots, y_4 wyników czterech pierwszych doświadczeń. Można je przedstawić w następującej formie:



Rysunek 21. Graficzne przedstawienie wyników eksperymentu dwuczynnikowego



Rysunek 22. Graficzne przedstawienie wyników eksperymentu dwuczynnikowego z czynnikami A i B

Forma przedstawienia jest stosowana także wtedy, gdy w przypadku jednego (lub wielu) z badanych czynników chodzi nie o ilościową, nastawną zmienną, ale o zmienną jakościową o stałych poziomach (np. materiał 1 – materiał 2). W tym przypadku interpolacja wartości pośrednich nie jest sensowna.

Obliczenie efektów

Efekt jednego czynnika daje zmianę wielkości wyjściowej y przy zmianie ustawienia z poziomu „–” na poziom „+”, uśredniając względem ustawień wszystkich innych czynników. Efekt zależy od wyboru poziomu.

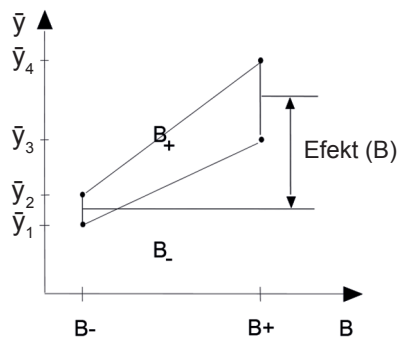
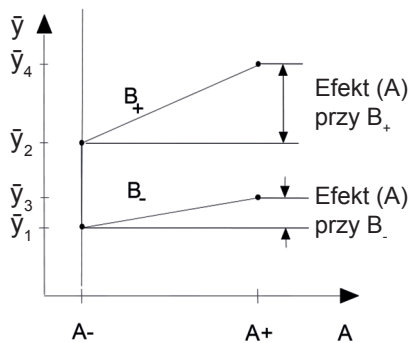
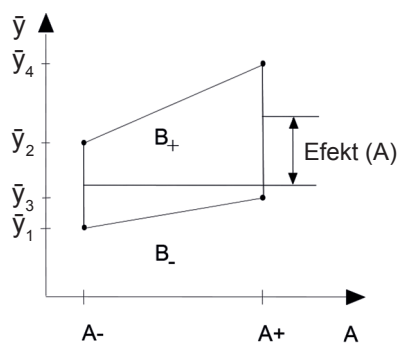
Graficzne określenie efektu dla tego przypadku pokazane jest na rysunku 23 na przykładzie eksperymentu dwuczynnikowego.

Jeśli czynniki zachowują się addytywnie, wynikiem jest równoległy przebieg obydwu prostych (rysunek 22). Jeżeli jednak efekt jednego czynnika zależy od ustawienia (poziomu) innego, przedstawia to interakcję obydwu czynników, nie zachowują się one addytywnie.

Matryca oceny eksperymentów dwuczynnikowych zawiera oprócz kolumn z czynnikami A i B kolumnę AB z oddziaływaniem wzajemnym tych czynników.

Nr	A	B	AB	y
1	–	–	+	y_1
2	+	–	–	y_2
3	–	+	–	y_3
4	+	+	+	y_4

(7)



Rysunek 23. Graficzne przedstawienie głównego efektu A i B, jak i efektu oddziaływania wzajemnego AB

$$\text{Efekt (AB)} = (\text{efekt (A) przy } B_+ - \text{efekt (A) przy } B_-)/2$$

Efekt czynnika X jest obliczony jako różnica średniej wszystkich wyników y, dla których X ma poziom „+” i średniej wszystkich wyników, dla których X ma poziom „-”. Ta zasada obliczeń ma zastosowanie analogicznie dla oddziaływania wzajemnego i można ją zastosować ogólnie dla niezależnych planów z k czynnikami.

Dla rozważanego przykładu obowiązuje także

$$\text{Efekt (A)} = \frac{y_2 + y_4}{2}$$

$$\text{Efekt (B)} = \frac{y_3 + y_4}{2} - \frac{y_1 + y_2}{2} \quad \text{Matryca (8)}$$

$$\text{Efekt (AB)} = \frac{y_1 + y_4}{2} - \frac{y_2 + y_3}{2}$$

W planach ułamkowych eksperymentów czynnikowych może występować uwikłanie czynników z oddziaływaniem wzajemnym. Efektu uwikłania wielkości nie można już obliczyć oddzielnie.

Metoda oceny statystycznej

Z powodu powtórzeń eksperymentu wskazane jest uzupełnienie matrycy oceny planu eksperymentu z prawej strony o odpowiednie kolumny.

Nr	A	B	AB	Wyniki	y	s
1	–	–	+	y_{11}, \dots, y_{1m}	y_1	s_1
2	+	–	–	y_{21}, \dots, y_{2m}	y_2	s_2
3	–	+	–	y_{31}, \dots, y_{3m}	y_3	s_3
4	+	+	+	y_{41}, \dots, y_{4m}	y_4	s_4

Matryca
(9)

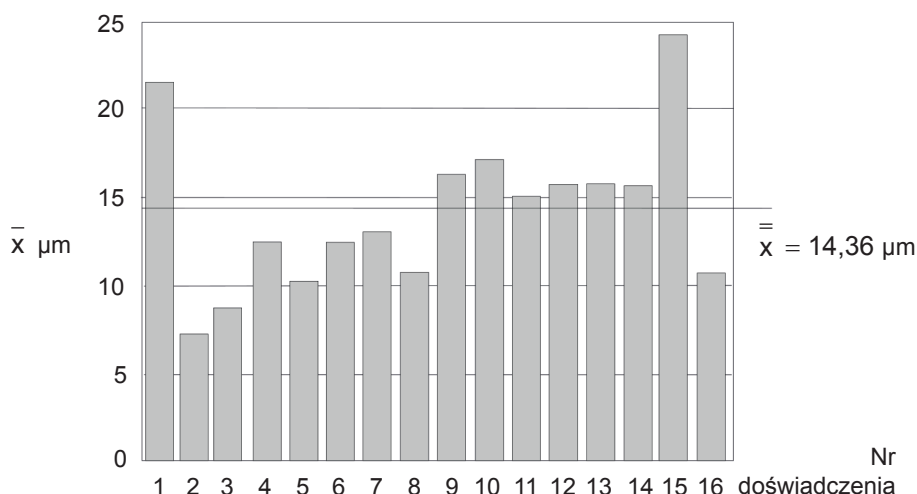
Ustalone parametry statystyczne pozwalają ocenić znaczenie obliczonego efektu poprzez porównanie z rozrzutem próby.

Dalsze przemyślenia i badania ograniczają się do czynników, które wykazują znaczące efekty i/lub efekty wzajemnego oddziaływania.

Przeprowadzenie testu istotności przeprowadza się z reguły za pomocą odpowiedniego oprogramowania.

Przykład

Próba została przeprowadzona zgodnie z matrycą (5). Szczegółowo opisane będą poniżej tylko wyniki dla chropowatości. Dla każdego z doświadczeń obliczono na podstawie 10 wartości zmierzonych wartość średnią \bar{x} i odchylenie standardowe s . Zrezygnowano w tym miejscu z tabelarycznego przedstawienia wyników. Bardziej zrozumiałe jest przedstawienie graficzne na rysunku 24.

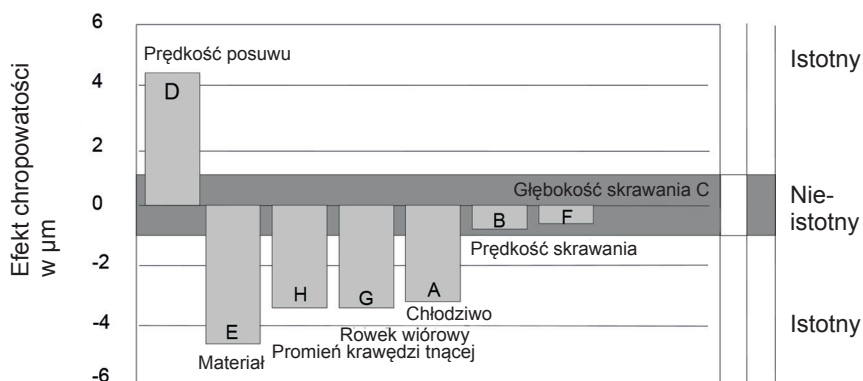


Rysunek 24. Wartość średnia \bar{x} z 16 eksperymentów częściowych

Na rysunku można zauważyć, że występują wyraźne różnice pomiędzy wynikami różnych eksperymentów częściowych, które uzależnione są od ustalenia czynników.

Pożądaną informację o skutkach różnych czynników uzyskuje się dzięki ustaleniu przynależnych efektów, patrz „Obliczenie efektów” (str. 49) i „Metoda oceny statystycznej” (str. 51). Zrezygnowano z obliczenia poszczególnych efektów i ich istotności.

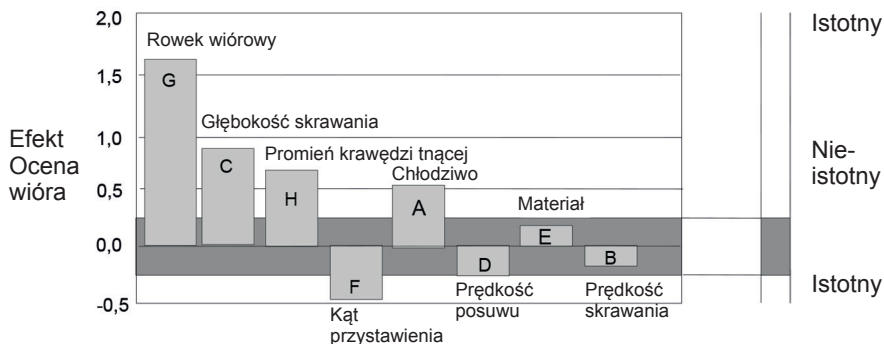
Wyniki są przedstawione zbiorczo na rysunku 25. W tym efekt D = 4,5 μm oznacza, że chropowatość zwiększyła się o 4,5 μm , gdy posuw wzrósł z dolnego poziomu = 0,2 mm na górny poziom = 0,3 mm.



Rysunek 25. Efekty wszystkich czynników, uporządkowane według wartości bezwzględnej i ich istotności

W tym miejscu należy jeszcze raz zaznaczyć, że ten plan eksperymentów dopuszcza ocenę głównych efektów, podczas gdy nie jest możliwa wypowiedź o oddziaływaniach wzajemnych.

Analogicznie do chropowatości oceniono kształt wiórów. Wynik przedstawiony jest na rysunku 26. Kształt wiórów jest oceniony tym lepiej, im mniejsza jest wartość oceny wióra.



Rysunek 26. Efekty wszystkich czynników, uporządkowane według wartości bezwzględnej i ich istotności

Najlepsze ustawienia z punktu widzenia obydwu wielkości docelowych chropowatości i kształtu wiórów można odczytać w następujący sposób z rysunku 25 i 26:

	Czynnik							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Chropowatość	+	(+)	(-)	-	+	(+)	+	+
Kształt wióra	-	(+)	-	(+)	(-)	+	-	-

Tabela 4. Ocenione efekty czynników

Dane w nawiasach opierają się na nieistotnych efektach. Głównym celem jest niska chropowatość przy akceptowalnym dla produkcji kształcie wiórów. Należy zauważyć, że wielkości wejściowe działają różnie na obydwie wielkości docelowe i musi zostać znaleziony kompromis.

A	B	C	D	E	F	G	H
+	+	–	–	+	+	+	+

Kolejny eksperyment z optymalnym ustawieniem z punktu widzenia chropowatości wykazuje wybitną (małą) chropowatość, jednak nieakceptowalną dla produkcji wielkość wióra. Musi zostać odnalezione zmodyfikowane ustawienie na rzecz lepszej formy wióra, które w możliwie najmniejszym stopniu wpłynie na chropowatość. Jest to oczywiście możliwe z pomocą czynnika G, który ma relatywnie mały wpływ na chropowatość, ale z drugiej strony duży wpływ na kształt wiórów. Tym samym zostało wypróbowane jako zmodyfikowane ustawienie:

A	B	C	D	E	F	G	H
+	+	–	–	+	+	–	+

Wynik eksperymentu dostarczył w przybliżeniu taką samą chropowatość przy znacznie poprawionym i akceptowalnym dla produkcji kształcie wiórów.

3.6 Wsparcie obliczeniowe

Dostępna jest szeroka gama oprogramowania wspierającego statystyczne planowanie eksperymentu. Wśród nich można znaleźć zarówno samodzielne, zamknięte programy, jak i takie, które są częścią integralną modułowego, kompleksowego oprogramowania statystycznego. Większość programów wspiera statystyczną i graficzną analizę eksperymentu, ale nie fazę planowania.

3.7 Literatura

- [1] por. VDA Tom 4, Część 1: Ogólne, punkt „Podstawowe narzędzia”.
- [2] DGQ-Schrift 18–19: Formblätter mit Wahrscheinlichkeitsnetz.
- [3] Becker, J. H. (2018). *Kreativitätstechniken*. In: *Praxishandbuch berufliche Schlüsselkompetenzen*. Springer-Verlag.
- [4] por. VDA Tom 4, Część 2: Analizy ryzyka, punkt „Analiza drzewa błędów (Fault Tree Analysis – FTA)”.
- [5] Häffner, S. (1992). *Statistische Versuchsplanung in der betrieblichen Praxis. Betriebsversuch Drehen. FHT Esslingen, Fachbereich Feinwerktechnik*.
- [6] Scheffler, E. (1984). *Einführung in die Praxis der statistischen Versuchsplanung* (2. Aufl.). VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- [7] Juran, J. (1999). *Quality Control Handbook*. McGraw Hill Book Company.
- [8] Theden, P. & Colmsan, H. (2013). *Qualitätstechniken. Werkzeuge zur Problemlösung und ständigen Verbesserung*. Carl Hanser Verlag.
- [9] Roy, R. K. (2001). *Design of experiments using the Taguchi approach: 16 steps to product and process improvement*. John Wiley & Sons.

4 Analiza wykonalności

4.1 Wprowadzenie

Ocena wykonalności wyrobów (części) ma szczególne znaczenie już w fazie koncepcyjnej ze względu na bardzo krótkie cykle rozwoju.

Ocena wykonalności może w ekstremalnym przypadku (niewykonalne, zbyt duże ryzyka lub koszty wytwarzania) prowadzić do przerwania rozwoju lub porzucenia koncepcji.

Wykonalność we właściwym sensie oznacza wykonalność techniczną, to znaczy, że wymaganie lub cel projektu współgra z wiedzą naukową z danej dziedziny. W znaczeniu rozszerzonym wykonalność oznacza także wykonalność ekonomiczną, to znaczy zarówno dostępność wystarczających środków finansowych, jak i uzasadnioną perspektywę dochodu. W końcu wykonalność może być rozumiana jako możliwość realizacji, to znaczy, że warunki ramowe (np. posiadane wydajności, prawne warunki ramowe) nie stoją na przeszkodzie projektu.

Sprawdzone są:

- wykonalność techniczna,
- wykonalność ekonomiczna (także płynność!),
- możliwość realizacji (dostępność zasobów, sytuacja rynkowa, polityczna, ekologiczna, prawna).

4.2 Definicja oceny wykonalności

Perspektywa producenta

W analizie wykonalności ocenia się na wczesnym etapie, czy wyrób (część, moduł, komponent, system, proces) może zostać tak zrealizowany w warunkach seryjnych, jak to jest wymagane i opisane w rysunkach i specyfikacjach. Ocena wykonalności jest łącznikiem pomiędzy rozwojem wyrobu i planowaniem produkcji.

Ocenę wykonalności należy przeprowadzić zarówno dla nowych części i wyrobów, jak i przy zmianach w procesie produkcji lub większych wzrostach wolumenu produkcji.

Rozwój musi być przeprowadzony nie tylko tak, aby wyrób miał pożądane cechy, ale aby poszczególne elementy lub części były możliwe do wyprodukowania (możliwie tanio), złożenia i wymiany podczas wszelkich napraw w cyklu życia wyrobu.

W ocenie wykonalności należy zwrócić uwagę na:

- wydajności,
- ilości,
- terminy,
- tolerancje w aspekcie statystycznym,
- zdolność procesu,
- funkcję i obciążenie.

Propozycje producenta wyrobu (produkcja lub dostawca) koniecznych zmian lub uzupełnień rysunków i specyfikacji są sprawdzane i wdrażane w celu ciągłej poprawy jakości wyrobu i procesu, jak i ekonomiczności wytwarzania.

Poniższe metody i dokumentacja mogą być zastosowane w ocenie wykonalności:

- analiza zdolności procesu/SPC,
- FMEA wyrobu i procesu,
- listy kontrolne oceny wykonalności,
- symulacje (CAD, DMU),
- wzorce,
- wytyczne i umowy jakościowe,
- podręczniki VDA,
- inne normy, przepisy i specyfikacje,
- wszystkie rysunki/plany,
- diagram przepływu procesu.

Pomimo że ocena wykonalności bazuje w znaczącym stopniu na rysunkach konstrukcyjnych (we wczesnej fazie także szkicach) i wymaganiach specyfikacji, dodatkowe informacje mogą zostać pozyskane z analiz ryzyka, analiz gwarancyjnych, analiz rynku, analiz benchmarkingowych i podobnych źródeł.

W ocenie wykonalności ocenia się, czy proces produkcyjny jest zasadniczo możliwy do realizacji w pożądanej jakości i kosztach. Do tego zalicza się z jednej strony montowalność komponentów i z drugiej strony wykonalność grup sprzętowych w odpowiednich fazach projektu.

Odnosnie do montowalności sprawdza się nie tylko połączenia między częściami, ale także swobodny dostęp narzędzi montażowych i urządzeń do obsługi, jak i dostępną przestrzeń montażową dla wykwalifikowanego personelu. W wirtualnie zasymulowanych warunkach sprawdza się, czy wykwalifikowany personel może bez przeszkód pracować.

Inne obszary takie jak blacharnia, lakiernia, montaż lub logistyka mogą zostać włączone do symulacji. W ten sposób bierze się pod uwagę, że spełnione są wymagania jakościowe rzeczywistego wyrobu.

Ocena wykonalności przeprowadzana jest już w fazie koncepcji badania na wirtualnym wyrobie. Zmiany konstrukcyjne mogą być tym sposobem zlecone z góry, bez konieczności drogiej produkcji sprzętowej.

Poza tym wyniki i ustalenia z oceny wykonalności mają znaczący wpływ na dalsze warunki otoczenia (np. układ przestrzeni produkcyjnej).

Perspektywa dostawcy

Ocena wykonalności jest badaniem dostawcy, czy możliwa jest ekonomiczna i zdolna procesowo produkcja wyrobu zgodnie z wymaganiami klienta. Celem jest zapobieganie ewentualnym problemom w późniejszej produkcji seryjnej lub tak szybkie ich rozpoznanie, aby środki zaradcze można było podjąć w odpowiednim czasie. W ramach oceny wykonalności powinny być uwzględnione, o ile to możliwe, dane z doświadczeń z już produkowanymi podobnymi wyrobami i w ten sposób wykorzystane potencjały do doskonalenia. Ocena wykonalności powinna zostać wykonana przez dostawcę w możliwie najwcześniejszym momencie. Tylko w ten sposób można osiągnąć wyżej wymienione cele oraz wdrożyć propozycje doskonalące dostawcy, jak i konieczne zmiany w odpowiednim momencie rozwoju wyrobu.

Ocena wykonalności następuje z reguły poprzez odpowiedź na pytania, zwykle w formie listy kontrolnej. Najczęściej używane pytania są przedstawione poniżej w kolejnym punkcie. Jeżeli wymagania nie mogą być spełnione, musi to zostać specjalnie odnotowane. Dlatego zalecane jest dokładne opisanie przyczyn tego stanu rzeczy.

4.3 Realizacja

Ocena wykonalności przeprowadzana jest po ustaleniu zakresu analizy (wyrób, grupa złożeniowa, część, system itd.) we współpracy pomiędzy obszarami odpowiedzialnymi za rozwój i produkcję (produkcja, montaż, logistyka, dostawca itd.).

Wykonalny projekt wyrobu powinien prowadzić do tego, że możliwe jest dostarczenie planowanej ilości w zaplanowanym czasie zgodnie z wymaganiami odnośnie do jakości, niezawodności i kosztów inwestycyjnych.

Aby móc jednoznacznie przypisać ocenę wykonalności do wyrobu, należy podać zestaw danych nagłówka, na przykład:

- nazwa części,
- numer części,
- numer rysunku ze statusem zmiany,
- dostawca,
- numer dostawcy,
- data,
- indeks zmiany.

Ocena wykonalności jest dokumentowana i potwierdzana podpisem osoby tworzącej. Osoby przeprowadzające analizę (imię i nazwisko, dział, dane kontaktowe) są podobnie dokumentowane, aby ułatwić ewentualne zapytania.

Kluczowe pytania w ramach przeprowadzenia oceny

Czy wyrób jest zdefiniowany w wystarczającym stopniu i czy dostępne są wszystkie dane wymagane do oceny wykonalności?

- W ramach oceny wykonalności należy sprawdzić wszystkie charakterystyki rysunkowe, jak i ewentualnie dalsze wymagania klienta (wewnętrzne/zewnętrzne) odnośnie do ich wykonalności. Z reguły oprócz rysunku należy zwrócić uwagę na np.:
 - specyfikacje istotnych warunków zamówienia,
 - normy klienta i zakładowe,
 - umowę jakościową,
 - normy publiczne,
 - podręczniki VDA.
- Wymagana dokumentacja musi być kompletna i dostępna w aktualnym wydaniu.

Czy wszystkie wyspecyfikowane wymagania mogą zostać spełnione?

- Czy część może zostać wyprodukowana zgodnie z rysunkiem i specyfikacją klienta bez odchyłek, uwzględniając również wymagania statystyczne, włączając ewentualną obróbkę powierzchni lub jej pokrycie?
- Podstawą analizy jest produkcja w warunkach seryjnych. Ocena wykonalności obejmuje procesy i wszystkie wymagane narzędzia, na przykład maszyny, wyposażenie, technologie, metody, personel, transport, dokumentację.
- Zaplanowane warunki produkcji muszą spełniać kryteria wyrażone dla wyrobu celem jakościowym „zero błędów”. Jeżeli ten cel nie może zostać zrealizowany wyłącznie poprzez warunki produkcji, należy zainstalować odpowiednie kontrole i ew. przewidzieć niezbędną kontrolę 100%.
- Należy zwrócić uwagę, aby części mogły zostać zmontowane bez uszkodzeń, uwzględniając wymagane narzędzia i ludzkie zdolności.

Charakterystyki specjalne

- Uwaga przy ocenie wykonalności zwrócona jest na charakterystyki specjalne. W tym kontekście należy rozważyć pytania takie jak:
 - Czy określone przez klienta charakterystyki specjalne są wykonalne?
 - Czy z punktu widzenia dostawcy istnieją dalsze charakterystyki specjalne?
 - Czy dla każdej charakterystyki specjalnej można udowodnić zdolność procesu?
 - Czy dla charakterystyk specjalnych wymagane są kontrole 100%?

Statystyczne sterowanie procesem/opanowane i zdolne procesy

- Czy można określić ustalone parametry zdolności (specyfikacje lub charakterystyki)?
- Czy istnieją dane z doświadczeń z podobnymi wyrobami/procesami, dla których w celu zabezpieczenia jakości stosowane jest statystyczne sterowanie procesem? Czy w tych procesach wytwarzania dowiedziona jest ich zdolność (indeks zdolności maszyny P_m , P_{mk} , indeks zdolności procesu C_p , C_{pk} (proces stabilny), indeks zdolności procesu P_p , P_{pk} (proces niestabilny))?

Procesy zlecone na zewnątrz

- Czy pojedyncze procesy nie mogą zostać przeprowadzone we własnym zakładzie, ale muszą zostać zlecone (np. pokrycie powłokami itp.)? Jakich procesów to dotyczy i jaki dostawca powinien zostać wybrany – musi być to dokładnie opisane.

Zasoby produkcyjne

- Czy posiadane wydajności są wystarczające lub muszą zostać pozyskane dalsze urządzenia, narzędzia itp., aby móc zrealizować zamówienie i dotrzymać uzgodnionych terminów?

Środki transportowe

- Czy rozważany wyrób dopuszcza użycie sprawdzonych urządzeń i technik transportowych?

Propozycje redukcji kosztów lub polepszenia jakości

- Czy z punktu widzenia dostawcy istnieją (zewnętrzne/wewnętrzne) możliwości redukcji kosztów i/lub poprawy jakości na przykład dla charakterystyk, materiałów, procesów itd.? Odpowiednie propozycje powinny zostać przedstawione w możliwie wczesnym momencie, ponieważ późniejsze zmiany mogą być kosztowne.

Wymagania prawne i normatywne

- Czy rozważane wyroby/procesy spełniają wymagania prawne (np. ustawa o odpadach i gospodarce odpadami, prawo o ochronie pracy, przepisy BHP) lub normatywne (np. DIN/ISO)?
- Czy rozważane wyroby i procesy spełniają wymagania narodowych i międzynarodowych przepisów dotyczących substancji niebezpiecznych, w szczególności ograniczenia i zakazy używania materiałów i ich składników?

Te pytania dają ogólne ramy, które mogą być rozszerzane w specjalnych listach kontrolnych. Kilka przykładów takich list kontrolnych znajduje się w załączniku.

4.4 Wynik

Za pomocą analizy wykonalności można sprawdzić na wczesnym etapie, czy rozpatrywane wyroby mogą spełnić zadane wymagania z dużym prawdopodobieństwem, to znaczy na bazie sprawdzonych kryteriów.

Pokazane będzie osiągnięcie zadanych celów jakościowych (np. zero błędów) i ewentualnie wymaganych optymalizacji.

4.5 Załącznik – listy kontrolne wykonalności

Przedstawione potwierdzenia wykonalności nie są częścią metody i w przypadku zastosowania muszą być uzgodnione umownie pomiędzy zainteresowanymi stronami.

Poniżej chodzi nie o standardowe szablony do przeprowadzenia oceny wykonalności, a tylko o przykłady, jak różne przedsiębiorstwa wdrożyły to zagadnienie.

Formularz oceny wykonalności, przykład 1:

Materiał Nr: _____ Index zmiany: _____

Opis: _____ Data: _____

Dostawca: _____ Dostawca Nr: _____

Ocena wykonalności dla produkcji w warunkach seryjnych

Jeżeli na aktualnym etapie planowania nie są dostępne żadne dane z produkcji seryjnej, proszę sięgnąć do danych z doświadczenia z podobnymi procesami/wyrobami.

1. tak nie
Czy definicja wyrobu jest wystarczająca, aby umożliwić ocenę wykonalności? Jeżeli „nie”, podaj wyczerpujące wyjaśnienie. ☐ ☐
(patrz dodatek nr ref.: _____)

2. tak nie
Czy wszystkie wymagania mogą zostać spełnione (np. rysunek, specyfikacja istotnych warunków zamówienia, normy, specyfikacje, badania)? ☐ ☐
Jeżeli „nie”, podaj jakie. (patrz dodatek nr ref.: _____)

3. tak nie
Czy zgodnie z dokumentacją dla wyżej wymienionej części zostały zidentyfikowane charakterystyki specjalne? ☐ ☐

4. tak nie
Czy z perspektywy dostawcy wynikają dalsze charakterystyki specjalne? ☐ ☐
Jeżeli „tak”, podaj jakie. (patrz dodatek nr ref.: _____)

5. tak nie
Czy dla każdej charakterystyki specjalnej da się przewidzieć zdolność procesu? Jeżeli „nie”, podaj wyczerpujące wyjaśnienie. ☐ ☐
(patrz dodatek nr ref.: _____)

6. tak nie
Czy dla charakterystyk specjalnych planowane lub przewidywalne są w serii kontrole 100% ? Jeżeli „tak”, podaj jakie. ☐ ☐
(patrz dodatek nr ref.: _____)

7. tak nie

Czy dla innych charakterystyk planowane lub przewidywalne są w serii kontrole 100%? Jeżeli „tak”, podaj jakie. ☐ ☐

(patrz dodatek nr ref.:)

8. tak nie

Czy dla podobnych wyrobów stosowane jest statystyczne sterowanie procesem? Czy te procesy są zdolne i opanowane? ☐ ☐

(patrz dodatek nr ref.:)

9. tak nie

Czy planowane są procesy zlecone na zewnątrz? Jeżeli „tak”, podaj jakie. (patrz dodatek nr ref.:) ☐ ☐

10. tak nie

Czy możliwe jest wypełnienie zlecenia przy wykorzystaniu aktualnie dostępnych zasobów produkcyjnych? Jeżeli „nie”, podaj wyczerpujące wyjaśnienie. ☐ ☐

(patrz dodatek nr ref.:)

11. tak nie

Czy widzisz możliwości redukcji kosztów i/lub poprawy jakości np. dla charakterystyk, materiałów, procesów, obiegu materiałów? Jeżeli „tak”, podaj jakie. (patrz dodatek nr ref.:) ☐ ☐

12. ppm¹

Proszę podać ze swojego punktu widzenia maksymalny poziom błędów w pierwszym roku produkcji. ☐ ☐

1. wewnętrzny

2. zewnętrzny

Wykonalność wymienionej części została potwierdzona:

Data

Odpowiedzialny(a)/Dział/Nr telefonu/E-mail

Podpis

¹ ppm = części na milion (liczba błędnych części na 1 mln części, 10.000 ppm = 1%)

Formularz oceny wykonalności, przykład 2:

Numer części: _____ Opis części: _____

Dostawca: _____ Data: _____

Jeżeli na aktualnym etapie planowania nie są dostępne dane z produkcji seryjnej, proszę użyć danych bazujących na doświadczeniu z podobnymi procesami/częściami.

Czy dla ww. części przeprowadzona została analiza wykonalności produkcji w warunkach seryjnych? tak nie
☐ ☐

Czy można wykazać prognozę zero błędów dla powyższego produktu w planowanych warunkach produkcji i kontroli? tak nie
☐ ☐

Czy dla ww. części udokumentowane są pisemnie charakterystyki specjalne? tak nie
☐ ☐

Czy dla każdej charakterystyki specjalnej przewidywalna jest zdolność procesu? tak nie
☐ ☐

Czy dla zabezpieczenia charakterystyk specjalnych w produkcji seryjnej planowane lub przewidziane są 100% kontrole? tak nie
☐ ☐

Czy dla wszystkich pozostałych procesów/charakterystyk w produkcji seryjnej planowane lub przewidziane są 100% kontrole? tak nie
☐ ☐

Wymień planowane kontrole 100% (opis ewentualnie w załączniku).

Czy istnieją charakterystyki, materiały lub procesy, dla których zmiana/udoskonalenie prowadziłyby do redukcji kosztów? tak nie
☐ ☐

Propozycja (ewentualnie w załączniku):

Ekonomiczna wykonalność została potwierdzona na bazie prognozy zero błędów dla ww. części. tak nie
☐ ☐

.....
Nazwisko, dział, telefon, fax, e-mail

.....
Podpis

Załącznik(i): Rysunek (poziom i data wydania)

Formularz oceny wykonalności, przykład 3:

Ocena wykonalności, techniczna

Urządzenie: Klient/Projekt: Zleceniodawca/ Jedn. org.: Data:
Urządzenie Nr: Urządzenie-klient Nr: Kierownik projektu/ Jedn. org.: Faza:
Nr projektu Rewizja
SAP: Nr:

Ocena następuje zgodnie z dostępnymi informacjami w aktualnej fazie projektu.

	Podstawowe warunki wstępne oceny	Tak	Nie		
1.	Czy dostępne są kompletne specyfikacje istotnych warunków zamówienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wydanie:	Komentarz:
2.	Czy specyfikacja techniczna jest kompletna? Czy rysunki są dostępne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wydanie:	Komentarz:
3.	Czy rysunki są dostępne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numer/Index:	Komentarz:
4.	Czy wszystkie normy są dostępne i zaakceptowane (ogólne i specyficzne dla projektu)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:
5.	Czy dostępne są dane obszaru zabudowy (dane CAD)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:
6.	Czy część/urządzenie/moduł reflektor/lampa podlega wymaganiom prawnym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:
7.	Czy wymagana jest klasyfikacja dokumentacji i specjalny czas archiwizacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:
8.	Czy ustalona jest identyfikowalność?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:
9.	Czy zasoby personalne i techniczne są wystarczające?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:
10.	Czy można dotrzymać określonych terminów klienta?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Komentarz:

	Nie dotyczy	Ekonomiczność, sensowność, jednoznaczność, kompletność, przejrzystość, wymagania można sprawdzić i zaplanować?			Uwagi
Kategorie wymagań		Tak	Nie	Jeśli nie, uzasadnienie	Nie
Wymagania dla wymiarów i tolerancji					
– Wymiary i tolerancje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Ważne i krytyczne charakterystyki	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– System punktów referencyjnych	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Dane obszaru zabudowy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Wymagania funkcyjne					
– Wymagania prawne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wymagania niezawodności	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wymagania środowiskowe/ wymagania recyklingowe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wymagania weryfikacyjne i walidacyjne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Wymagania jakościowe					
– Dokumentacja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Umowy jakościowe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Wymagania materiałowe – funkcja i jakość powierzchni					
– Rodzaj materiału	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wymagania funkcjonalne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wymagania niezawodności	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Obróbka powierzchni/ struktura powierzchni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Kolor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wygląd/HN 67025	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

	Nie dotyczy	Ekonomiczność, sensowność, jednoznaczność, kompletność, przejrzystość, wymagania można sprawdzić i zaplanować?			Uwagi
Kategorie wymagań		Tak	Nie	Jeśli nie, uzasadnienie	Nie
Wymagania dla oznaczenia					
– Oznaczenie urządzeń	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Oznaczenie materiału	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Identyfikowalność/identyfikacja partii	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Wymagania dla produkcji i dostawy					
– Stosowane są tylko sprawdzone procesy produkcyjne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Ochrona transportowa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Ochrona ESD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Nie zawiera silikonu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wielkość partii i dostawy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Warunki dostawy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
– Wymagana wydajność (ilości w fazie rozruchu, szczyty produkcyjne, ilości kontraktowe)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Decyzja

<input type="checkbox"/>	Wykonalne	Wyrób może być rozwijany i produkowany w przewidzianym czasie, w ramach zaplanowanych kosztów i bez zmian.
<input type="checkbox"/>	Wykonalne	Wyrób może być rozwijany i produkowany w przewidzianym czasie, w ramach zaplanowanych kosztów i z małymi zmianami. Wymagane działania są uzgodnione w liście otwartych punktów (LOP) projektu.
<input type="checkbox"/>	Nie wykonalne	Wymagane są zmiany konstrukcyjne, w celu rozwoju i produkcji wyrobu zgodnie z wymaganiami. Wymagane działania są uzgodnione w liście otwartych punktów (LOP) projektu.

Zarządzanie
projektem

Konstrukcja

Rozwój elektroniki

Laboratorium/MTZ

Q-produkt/klient

Produkcja/planowanie
procesu

Planowanie jakości

Zleceniodawca

5 Poka-Yoke

5.1 Wprowadzenie

Japoński zwrot Poka-Yoke (jap. ポカヨケ: unikanie niezamierzonych błędnych działań) oznacza zasadę, która obejmuje techniczne środki zaradcze albo urządzenia zapobiegające błędom.

Punktem wyjścia dla Poka-Yoke jest zrozumienie, że żaden człowiek nie jest w stanie całkowicie uniknąć niezamierzonych błędów.

Poprzez proste i skuteczne systemy Poka-Yoke zapewnione jest, że błędne działania np. w procesie produkcyjnym zostaną uniknięte lub natychmiastowo wykryte i przez to nie doprowadzą do błędu w wyrobie końcowym.

Pierwsze opublikowane przykłady (Shigeo Shingo) odnoszą się do usunięcia występujących w procesie błędów, które opierają się na niezamierzonych błędnych działaniach. W tym kontekście powstała lista błędów Poka-Yoke, matryca decyzyjna Poka-Yoke i matryca systemowa Poka-Yoke zwana także zestawem pomysłów.

5.2 Lista błędów

Lista błędów opisuje dziesięć typowych kategorii niezamierzonych błędów. W poszukiwaniu możliwych przyczyn pomyłek lista błędów pomaga tak jak lista kontrolna.

1. Błędna obsługa

Przekręcenie, zamiana lub pomyłka części.

2. Zapominalstwo

Jeżeli ludzie nie są skoncentrowani, często czegoś zapominają.

3. Błąd poprzez nieporozumienie

Poprzez szybkie lub przedwczesne wnioski ludzie widzą rzekome rozwiązanie, zanim staną się obeznani z sytuacją.

4. Błąd poprzez przeoczenie

Błędna czynność, kiedy ludzie tylko rzucają okiem lub są zbyt daleko, aby ją wyraźnie rozpoznać.

5. Błąd popełniony przez niedoświadczonego

Powstanie błędów z powodu braku odpowiedniego doświadczenia.

6. Pomyłka

Błąd powstaje, kiedy ludzie są nieuważni i sami nie wiedzą, jak to się mogło stać.

7. Błąd z powodu powolności

Kiedy czynności zostaną nieoczekiwanie zatrzymane lub spowolnione, mogą powstać błędy.

8. Błąd z powodu brakujących standardów

Instrukcje pracy lub przebiegu procesu, które są błędne, niekompletne lub niedopasowane, mogą prowadzić do błędów.

9. Błąd niespodziewany

Błędy, które powstają, ponieważ proces przebiega inaczej, niż jest to oczekiwane.

10. Błąd umyślny

Błąd, który występuje, gdy ludzie celowo łamią reguły lub przepisy. Na przykład przechodzą na czerwonym świetle, gdy akurat nie widzą żadnego pojazdu.

Nie oznacza to świadomego sabotażu w celu wyrządzenia szkody, lecz umyślność, która powstaje na przykład z powodu braku zrozumienia znaczenia przepisu (dlaczego należy się zatrzymać na czerwonym świetle o drugiej w nocy, kiedy nie ma żadnego ruchu).

5.3 Matryca decyzyjna

Matrycę decyzyjną stosuje się w celu sprawdzenia, czy przyczyna błędu została na tyle ograniczona, że działania Poka-Yoke mogą być skutecznie wdrożone.

	TAK	NIE
Czy znane jest miejsce powstawania błędu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Czy znana jest część powodująca błąd?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Czy znana jest czynność powodująca błąd?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Czy błąd ma charakter binarny/nagły?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabela 5. Matryca decyzyjna

Jeżeli odpowiedziano NIE na więcej niż jedno pytanie, musi najpierw nastąpić dalsze ograniczenie błędu. Jeżeli dalsze ograniczenie nie prowadzi do odpowiedzi TAK na wszystkie pytania, muszą zostać zastosowane inne metody rozwiązywania problemów.

5.4 Matryca systemowa, zestaw pomysłów

Matryca systemowa służy jako wsparcie dla kreatywnego rozwoju działań. Pierwotnie aby z całkowitą pewnością uniknąć błędu, należy znaleźć po jednej metodzie, funkcji wyzwiania i regulacji dla błędnego działania. Powstała przez to redundancja dba o to, że jeśli jedno działanie zawiedzie, pozostałe dwa działania nadal będą mogły zostać wykorzystane.

Metoda kontroli	Funkcja wyzwalania	Funkcja regulacji
Kontrola źródła błędu	Metody kontaktowe	Metoda ingerencji
Kontrola z bezpośrednim sprzężeniem	Metody stałej wartości	Metoda ostrzegawcza
Kontrola z pośrednim sprzężeniem	Metody krok po kroku	

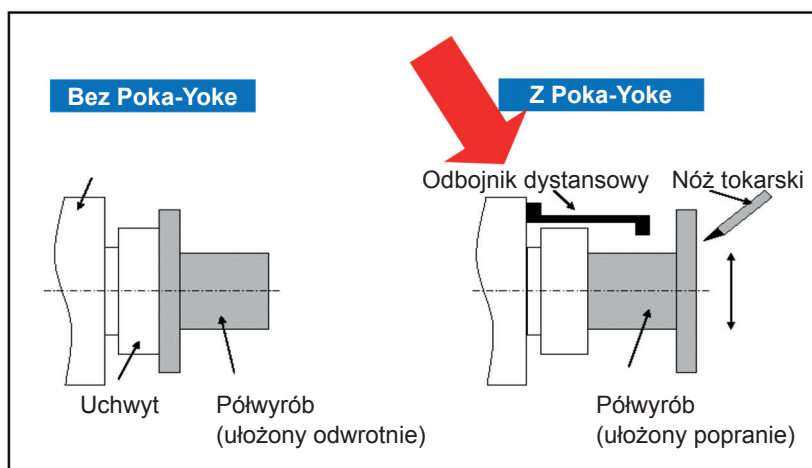
Tabela 6. Matryca systemowa

Metoda kontroli – kontrola źródła błędu

Kontrola źródeł błędu czyni niemożliwą przyczynę, która może prowadzić do błędnego działania.

Przykład

Wprowadzenie odbojnika dystansowego przy wprowadzeniu materiału do procesu, który zapobiega odwrotnemu ułożeniu półwyrobu na tym etapie procesu (etap obróbki).



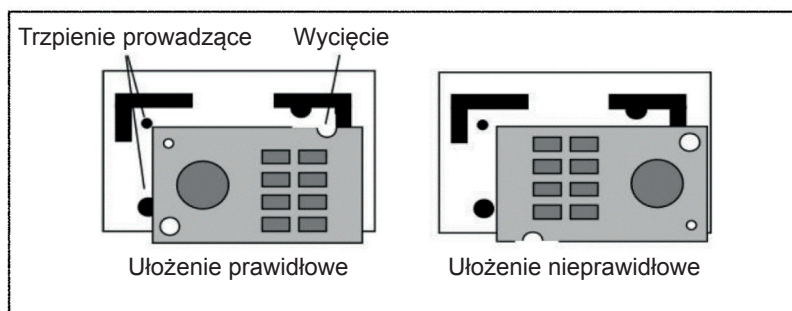
Rysunek 27. Przykład kontroli źródła błędu

Kontrola ze sprzężeniem (bezpośrednim)

Kontrola z bezpośrednim sprzężeniem zapobiega powstaniu błędu dzięki temu, że błędne działanie zostaje od razu rozpoznane.

Przykład

Poprzez konstrukcję części lub przyrządu część w przypadku błędnego ułożenia zostaje od razu odrzucona (sprzężenie bezpośrednie).



Rysunek 28. Przykład kontroli ze sprzężeniem

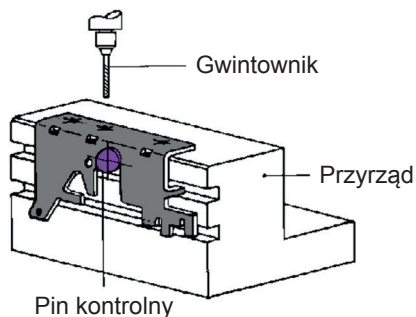
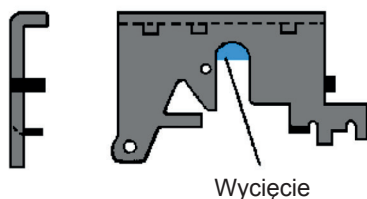
Kontrola ze sprzężeniem (pośrednim)

Kontrola ze sprzężeniem pośrednim zapewnia, że błąd nie zostanie przekazany do następnego procesu lub kroku procesu.

Przykład

Symetryczny półwyrób musi być obrobiony z dwóch stron. W następnym kroku istnieje trzpień kontrolny, który zapobiega temu, że materiał będzie dalej obrabiany w przypadku braku wgłębienia.

Problem: Wycięcie zostało przeoczone, błąd został wykryty dopiero podczas montażu.



Rozwiązanie: Trzpień kontrolny w przyrządzie blokuje ułożenie części z brakującym wycięciem. Części zostaną wysłane w odpowiednim momencie do przeróbki.

Rysunek 29. Przykład kontroli ze sprzężeniem (pośrednim)

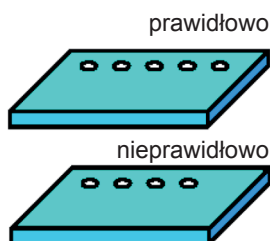
Funkcja wyzwiania – metody kontaktowe

Błąd może zostać rozpoznany poprzez geometryczne lub fizyczne wielkości. Niedozwolone odchylenia od wzorca są mierzone czujnikiem. W zależności od typu czujnika kontakt może być dotykowy lub zbliżeniowy.

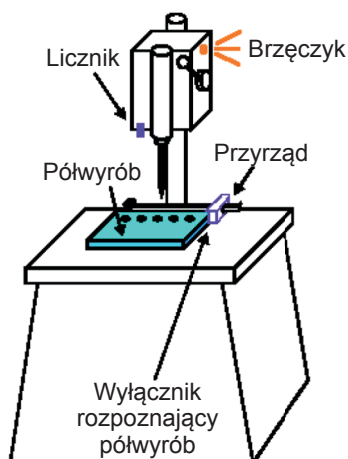
Przykład

Przełącznik, który rozpoznaje ułożenie części, i licznik, który liczy liczbę kroków obróbki.

Problem: Liczba wywierconych otworów jest liczona przez operatora; sporadycznie otwory zostają pominięte.



Rozwiązanie: Wyłącznik krańcowy rozpoznaje ułożenie a licznik liczbę wierceń. W przypadku braku otworu odzywa się brzęczyk.



Rysunek 30. Przykład metody kontaktowej

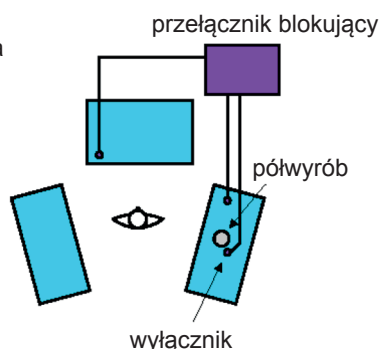
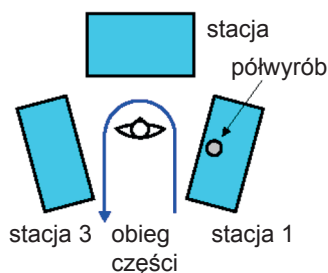
Funkcja wyzwiania – metody o stałej wartości

Odchylenia lub nieprawidłowości w przebiegu procesu produkcji zostają rozpoznane poprzez kontrolę osiągnięcia określonej liczby kroków pracy.

Przykład

Środki techniczne muszą być proste i skuteczne, takie jak np. wyłącznik krańcowy i blokada.

Problem: Czasami część jest wkładana, wyjmowana w stanie nieprzetworzonym i przekazywana do następnego stanowiska pracy.



Rozwiązanie: Kolejna stacja jest zablokowana, jeśli poprzedni etap przetwarzania nie został zainicjowany.

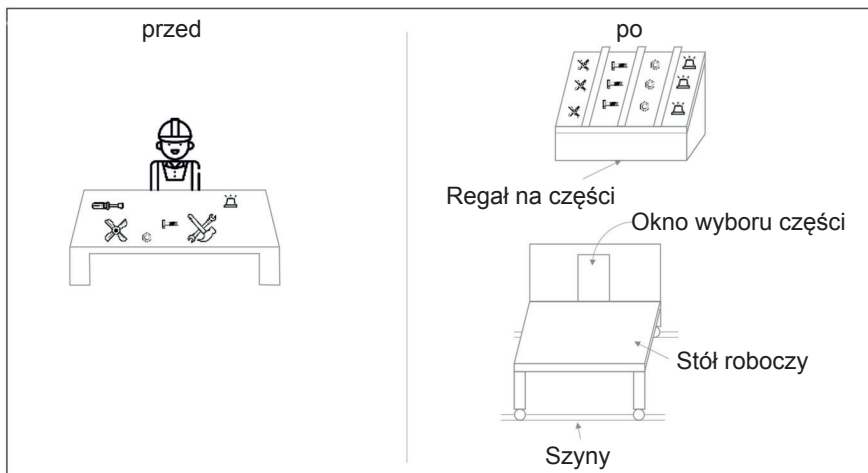
Rysunek 31. Przykład metody o stałej wartości

Funkcja wyzwania – metody sekwencji kroków

Standardowe przebiegi procesu pracy są rozpoznawane i kontrolowane za pomocą możliwie najprostszych narzędzi.

Przykład

Wymagane do montażu materiały mogą być pobierane tylko sekwencyjnie. Do montażu grupy złożeniowej udostępniane są w kolejności wymagane części tylko w odliczonej liczbie i we właściwej kolejności.



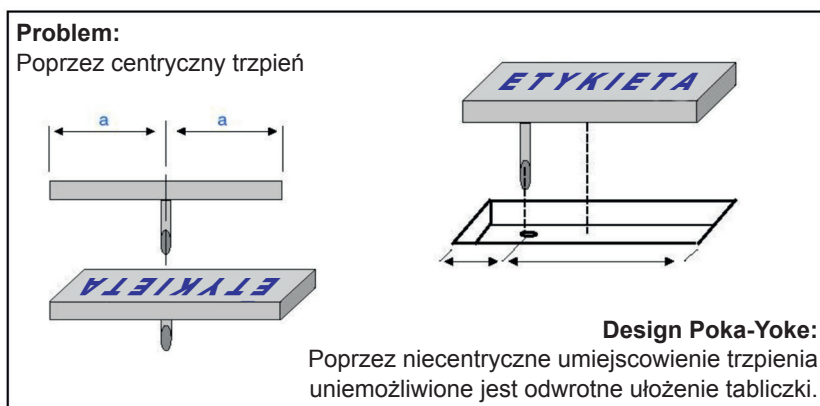
Rysunek 32. Przykład metody sekwencji kroków

Funkcja regulacyjna – metoda ingerencji

W przypadku wystąpienia odchyleń lub błędów system zostaje niezwłocznie zatrzymany lub przebieg procesu zostaje uniemożliwiony.

Przykład

Nie jest możliwe odwrotne ułożenie tabliczki.



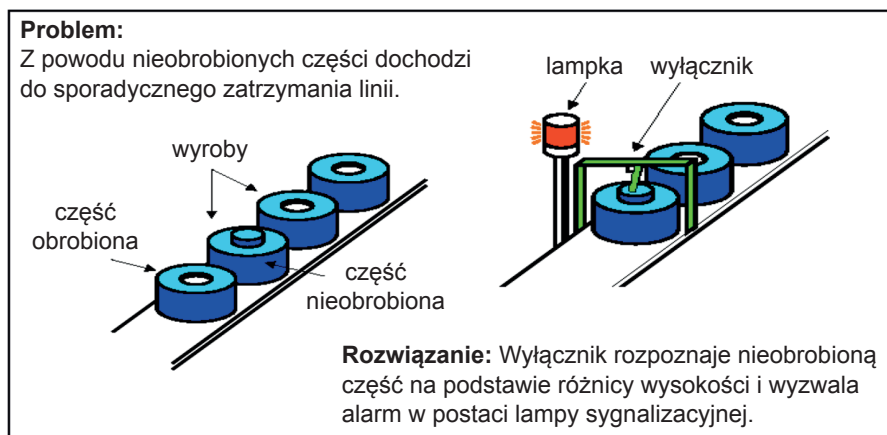
Rysunek 33. Przykład metody ingerencji

Funkcja regulacyjna – metoda ostrzegawcza

Wszystkie rodzaje optycznych i akustycznych sygnałów, które wskazują na sytuację powstawania lub właśnie powstały błąd.

Przykład

Czerwone światło migające zapali się, gdy pojawi się część nieobrobiona lub niewłaściwie ułożona.



Rysunek 34. Przykład metody ostrzegawczej

5.5 Prewencyjna Poka-Yoke

Zasada mówiąca o uniknięciu poprzez wykrycie we właściwym momencie błędów ludzkich lub przynajmniej spowodowanych przez nie wad, jest stosowana również prewencyjnie podczas planowania i rozwoju procesu.

W trakcie rozwoju wyrobu uwzględnia się nie tylko poszczególny proces montażu i wytwarzania, lecz także obsługę wyrobu w rękach klienta, w serwisie i podczas usuwania odpadów.

Pomaga w tym katalog pytań Poka-Yoke:

Co może zostać podczas	rozwoju		
	produkcji	przekręcone	
	montażu	zamienione	
	obsługi	nieprawidłowe	
	magazynowania	niekompletne	niekompletne?
	instalacji	zapomniane	
	użycia	inaczej zastosowane	
	naprawy	zmanipulowane	
	demontażu		
	usuwania		

Katalog można modyfikować lub uzupełniać w zależności od projektu.

Zwroty takie jak „idiotoodporny” lub „foolproof” mogą być odbierane przez pracowników jako dyskredytujące. Dlatego często preferowane są terminy „odporny na pomylenie” lub „odporny na błędy”.

5.6 „Twarda” i „mięka” Poka-Yoke

Twarda Poka-Yoke

Określeniem „twarda Poka-Yoke” nazywa się działania, które czynią niemożliwym przeprowadzenie pracy w inny niż oczekiwany sposób. Na przykład kodowanie formy dopuszcza tylko zabudowę określonej części w określonym położeniu. Niemożliwe jest zamontowanie innej części lub zamontowanie części w odwrotnym położeniu.

Twarda Poka-Yoke ma tę zaletę, że wykluczone jest błędne postępowanie według własnego uznania.

Z drugiej strony poprzez twardą Poka-Yoke proces staje się nieelastyczny i zwalnia pracownika z jego odpowiedzialności.

Miękka Poka-Yoke

Określeniem „miękka Poka-Yoke” nazywa się działania, które wskazują pracownikowi błąd, jednakże reakcję na to wskazanie pozostawiają pracownikowi. Na przykład rozbrzmiewa dźwięk, gdy część nie została zamontowana.

Wadą jest to, że samo wskazanie może zostać oczywiście przeoczone lub niedosłyszane, przez co błąd zostanie niezauważony. Ponieważ wskazanie może zostać zauważone przez innych pracowników, osoby dotknięte mogą się skompromitować.

Zaletą jest to, że odpowiedzialność za zauważenie i korektę leży po stronie osoby dotkniętej. Kolejną zaletą jest elastyczność. Jeżeli jest to wymagane, na przykład przy braku części, może zostać przeprowadzony montaż częściowy i w tym celu zignorowany sygnał ostrzegawczy.

5.7 Literatura

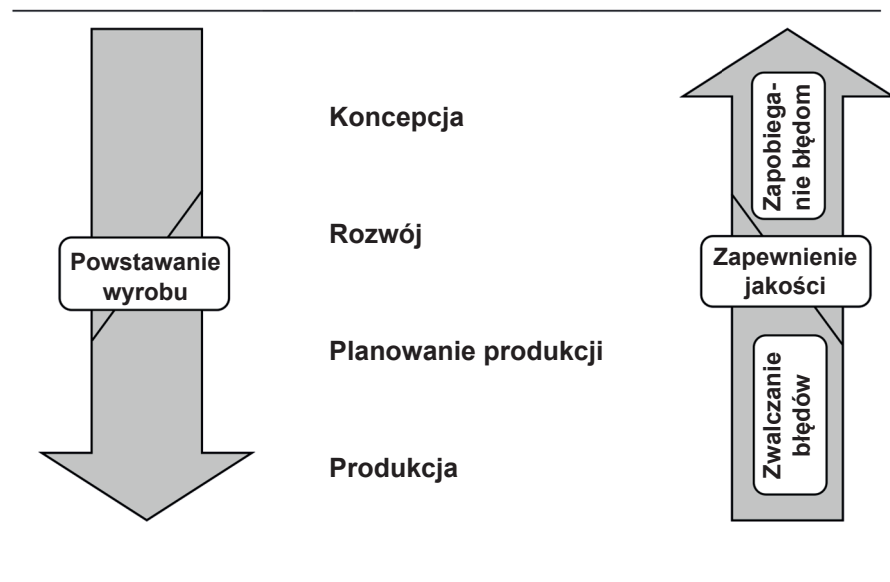
Sondermann, J. P. & Kamiske, G. F. (2018). *Poka Yoke*. Carl Hanser Verlag.

6 Dopasowanie funkcji jakości (QFD, ang. *Quality Function Deployment*)

6.1 Opis metody

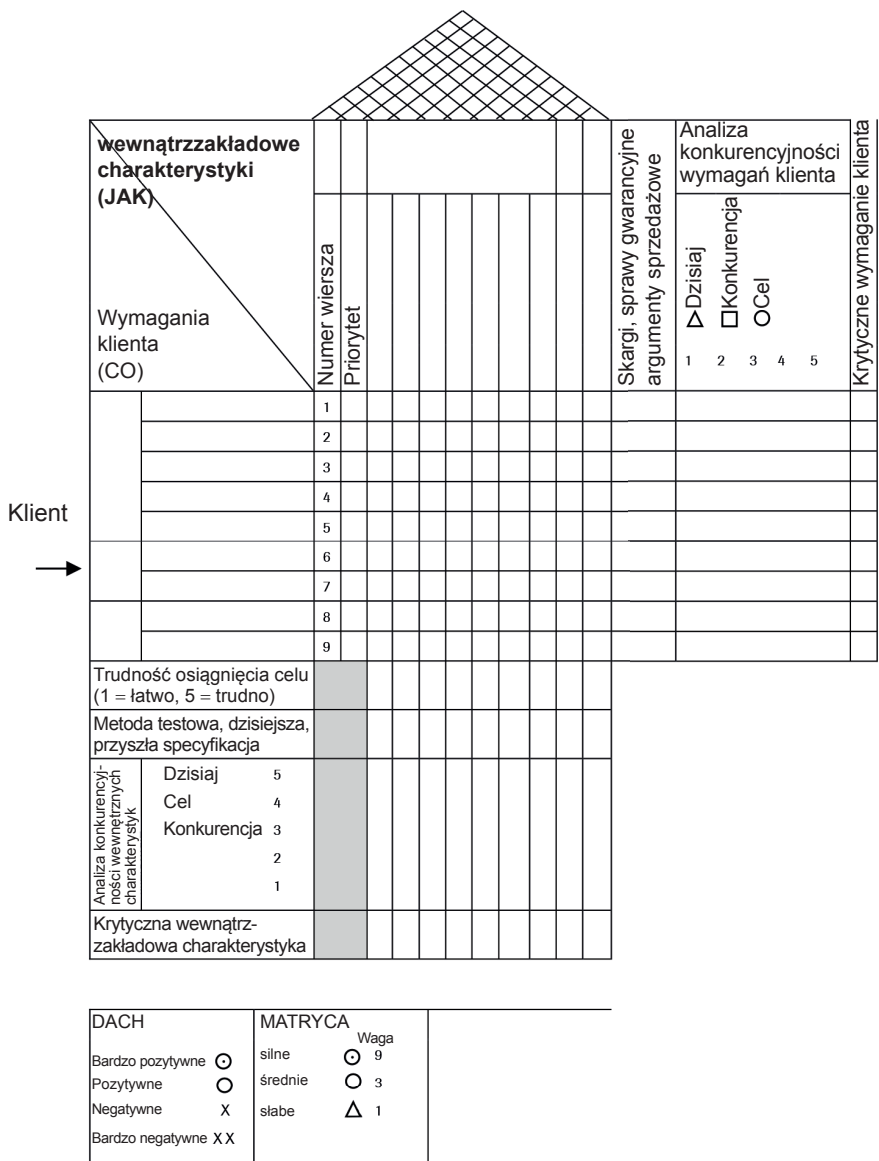
Na przestrzeni czasu zadania zapewnienia jakości zmieniały się, począwszy od analizy problemów poprzez czynności kontrolne w produkcji, do zapobiegania błędom dzięki minimalizacji ryzyka podczas rozwoju i planowania. Konsekwentne przedłużenie tego rozwoju do początków powstawania wyrobu prowadzi do tego, że zapewnienie jakości musi zacząć się już przy poszukiwaniu koncepcji (rysunek 35).

Pochodzenie wyrobu



Rysunek 35. Powstawanie wyrobu i zapewnienie jakości

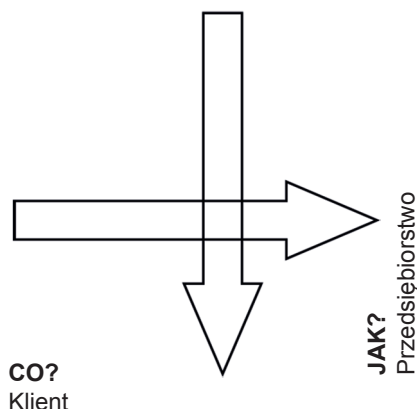
Metoda dopasowania funkcji jakości (QFD) jest kompleksowym systemem planowania i komunikacji, z którego pomocą koordynowane są wszystkie zasoby przedsiębiorstwa, w celu rozwijania, wytwarzania i wprowadzania na rynek wyrobów i usług, których oczekuje klient. Tym samym osiągane jest polepszenie wydajności przedsiębiorstwa dzięki zwiększeniu jego konkurencyjności.



Rysunek 36. Dom jakości (źródło: American Supplier Institute, N.Y.)

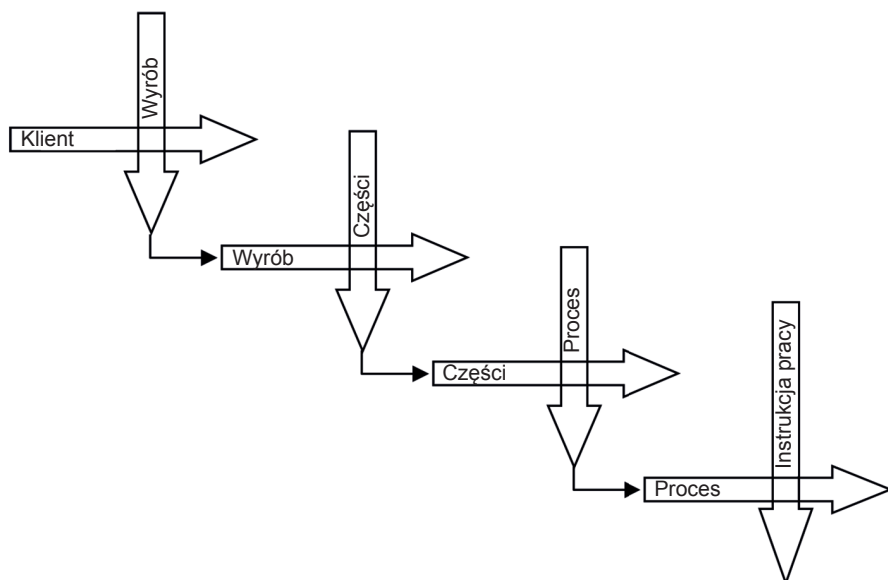
QFD wykorzystuje jako narzędzie pomocnicze tablice jakości, które składają się z wielu pól matrycy i ze względu na swoją zewnętrzną formę nazywane są „domem jakości”.

Z pomocą tablic jakości tłumaczony jest „głos klienta” na „język przedsiębiorstwa”, przy czym odpowiedzi na pytania „Co?” i „Jak?” są ze sobą powiązane (rysunek 37). Dzieje się to w czterech fazach (rysunek 38).



Rysunek 37. Głos klienta i język przedsiębiorstwa

Pierwsza tablica jakości (QT-I) tworzona jest w fazie koncepcji; przenosi ona wymagania klienta do wewnętrzzakładowych charakterystyk i pojęć technicznych. Te wewnętrzzakładowe charakterystyki wdrażane są w fazie rozwoju za pomocą drugiej tablicy jakości (QT-II) w charakterystykach części. Tworzą one wtedy w fazie planowania produkcji podstawę do ustalenia parametrów procesu przy pomocy trzeciej tablicy jakości (QT-III). W fazie standaryzacji tworzona jest ostatecznie czwarta tablica jakości (QT-IV), która z parametrów procesu tworzy standardy dla poszczególnych kroków pracy, jak i wytycznych konserwacji oraz koniecznych działań szkoleniowych.



Rysunek 38. Ciągłość od klienta do hali produkcyjnej

QFD może być stosowana dla usług i wyrobów, a mianowicie dla nowego rozwoju w fazie ustalania koncepcji, przy podejmowaniu decyzji dla nowych generacji wyrobów i przy dalszym rozwoju obecnych wyrobów ze względu na potrzeby rynkowe.

Czas poświęcony na QFD jest opłacalny długoterminowo ze względu na zalety:

- zorientowanie na klienta,
- przejrzystość i
- pracę zespołową.

Zastosowanie metody QFD wymaga, aby każdy dział, a także każdy pracownik przedsiębiorstwa rozumiany był jednocześnie jako „wewnętrzny klient” i jako „wewnętrzny dostawca”. Pracownicy otrzymują jako „klienci” wejście, wnoszą wydajność do własnego procesu pracy i dają wyjście jako „dostawcy” dalej do swoich „klientów”. W rozumieniu tego łańcucha wartości każda jednostka organizacyjna jest klientem wewnątrz przedsiębiorstwa.

QFD obiecuje sukces wtedy, gdy spełnienie wymagań wszystkich klientów jest celem ogólnym przedsiębiorstwa. Odpowiednio w zespole QFD muszą być reprezentowane interesy następujących wewnętrznych i zewnętrznych klientów:

- producent pojazdów (wewnętrzny lub zewnętrzny),
- dostawca (zewnętrzny lub wewnętrzny),
- użytkownik końcowy (zewnętrzny),
- urzędy (zewnętrzny),
- pracownicy przedsiębiorstwa (wewnętrznie) z obszarów:
 - sprzedaż,
 - serwis,
 - rozwój,
 - analiza wartości,
 - planowanie środków produkcji,
 - przygotowanie produkcji,
 - logistyka,
 - produkcja,
 - kontroling.

Moderację przejmuje niezależne stanowisko w przedsiębiorstwie, np. z zarządzania jakością.

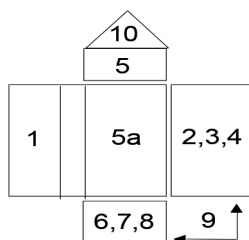
Podczas fazy QT-I każdy członek zespołu musi wnieść swój wkład, od fazy QT-II można zrezygnować z reprezentowania zewnętrznego klienta, sprzedaży i działu serwisu. W fazie QT-III i QT-IV nie musi być dalej reprezentowany dział rozwoju.

6.2 Studium przypadku (do końca QT-I)

W niniejszym rozdziale rozwijana będzie koncepcja skrobaczki do lodu za pomocą QFD. Przykład ten powinien rozjaśnić poszczególne fazy i kroki metody. Prezentowany przykład nie rości sobie prawa do traktowania jako kompletny.

Tworzenie tablicy jakości QT-I następuje w poniższych 10 krokach (rysunek 39):

1. Ustalenie i stopniowanie „głosu klienta” (wymagań klienta).
2. Analiza konkurencyjna „głosu klienta” z punktu widzenia klienta.
3. Definicja skarg, przypadków gwarancyjnych i argumentów sprzedażowych.
4. Ustalenie krytycznych wymagań klienta.
5. Określenie wewnętrzzakładowych charakterystyk i...
 - a) ...ich wzajemnych oddziaływań z wymaganiami klienta.
6. Analiza konkurencyjna charakterystyk wewnętrzzakładowych z punktu widzenia przedsiębiorstwa.
7. Zestawienie metod testowych, dzisiejszej i przyszłej specyfikacji.
8. Ocena trudności osiągnięcia celu.
9. „In-House-Test” do opracowania krytycznych charakterystyk wewnętrzzakładowych.
10. Korelacja krytycznych charakterystyk wewnętrzzakładowych z wszystkimi innymi.



Rysunek 39. Kroki w „domu jakości”

Krok 1: Ustalenie i stopniowanie/ważenie „głosu klienta” (wymagań klienta)

W pierwszym kroku zespół QFD zestawia życzenia, wymagania i potrzeby wszystkich zewnętrznych i wewnętrznych klientów. Uwzględniane są przy tym wymówione i niewymówione (wymagane milcząco) oczekiwania klienta, jak i nieoczekiwane pozytywne właściwości (innowacje); stopniowane są one na trzech poziomach (9: bardzo ważne, 3: ważne, 1: mniej ważne).

Aspekty funkcjonalności, niezawodności, wykonalności, warunków środowiskowych i ochrony środowiska należy ująć w „domu jakości”. Niskie koszty lub wysoki zysk są wymaganiami ogólnymi, które powinny być rozpatrywane osobno. Gotowy – stworzony bez kryteriów finansowych – „dom jakości” służy jako pomoc przy podejmowaniu decyzji, ponieważ przejrzyste stają się możliwości i skutki oszczędności lub redukcji kosztów.

Krok 2: Analiza konkurencyjna „głosu klienta” z punktu widzenia klienta

Spełnienie opracowanych w pierwszym kroku wymagań klienta oceniane jest w drugim kroku w odniesieniu do konkurencji z punktu widzenia klienta. Dla każdego pojedynczego wymagania nadawana jest ocena dla własnego przedsiębiorstwa i dla najlepszego przedsiębiorstwa konkurencyjnego od 1 (= bardzo słabo spełnione) do 5 (= spełnione bardzo dobrze). Na podstawie tej analizy konkurencyjności ustala się dla każdego wymagania cel dla własnego przedsiębiorstwa, bazując na tej samej ocenie. Powstają w ten sposób w odpowiednich kolumnach „domu jakości” linia za linią trzy profile: własny stan aktualny, najlepszy konkurent i własny cel.

Krok 3: Definicja skarg, przypadków gwarancji i argumentów sprzedażowych

W trzecim kroku zbierane są dla każdego wymagania klienta dostępne skargi, przypadki gwarancji i argumenty sprzedażowe. W tym celu w „domu jakości” w przewidzianych do tego kolumnach wstawiane są litera (B = skarga, G = przypadek gwarancyjny, V = argument sprzedażowy) i numer wiersza. W oddzielnej tabeli wylistowane są skargi, przypadki gwarancji i argumenty sprzedażowe pod odpowiednią literą i numerem wiersza. „B7” byłoby np. skargą, która odnosi się do wymagania klienta w wierszu 7 „domu jakości” (por. rysunek 40).

Krok 4: Ustalenie krytycznych wymagań klienta

Na podstawie do tej pory opracowanych ocen z punktu widzenia klienta w czwartym kroku krytyczne wymagania klienta zostaną oznaczone gwiazdką.

Pierwsze 4 kroki przedstawione są na rysunku 40.

Krok 5: Określenie wewnętrzzakładowych charakterystyk i ich oddziaływań wzajemnych z wymaganiami klienta

W piątym kroku do spełnienia każdego wymagania klienta przypisywana jest przynajmniej jedna charakterystyka wewnętrzzakładowa. W celu znalezienia pomysłów i ich ustrukturyzowania pomocne mogą być diagramy rybiej ości i analizy drzewa błędów. Ustalone wewnętrzzakładowe charakterystyki przypisywane są do kolumn „domu jakości”. W ten sposób powstaje matryca pomiędzy wymaganiem klienta w wierszach i wewnętrzzakładowymi charakterystykami w kolumnach. Pola matrycy wypełniane są na podstawie pytania: „Czy wymaganie klienta z przynależącego wiersza może zostać spełnione przez wewnętrzzakładową charakterystykę z przynależnej kolumny?”.

Wymagania klienta (CO)		Wewnętrzne charakterystyki (JAK)		Numer wiersza	Priorytet	Skargi, przypadki gwarancji, argumenty sprzedażowe	Analiza konkurencyjna wymagań klienta					Krytyczne wymagania klienta	
							Dzisiaj △	Konkurent □	Cel ○				
										1	2		3
	nie może uszkadzać pojazdu	1	3							△			
	łatwo wykonalne	2	3							△	□		
	łatwe do przechowywania (wyjmowania)	3	3				□		△		○		
	harmonijnie pasujące do auta	4	1				△		○				
	wiele funkcji	5	9							△	□	○	
Brak niebez- pieczeństwa obrażeń	przy wytwarzaniu	6	1							△	○		
	w użytkowaniu	7	9									△	
	funkcja w każdej temperaturze	8	3						△		□	○	
wygodna obsługa	palce nie powinny marznąć	9	9	B9, V9			△		○			• •	
	bez wysiłku	10	3								△		
	musi wyczyścić szybę	11	9	G11, V1					△	□	○	• •	

Znaczenie

Mocne	5
Średnie	3
Słabe	1

Rysunek 40. Krok od 1 do 4

Tabela skarg, przypadków gwarancji i argumentów sprzedażowych:

- B9: Zeskrobany lód zawsze spada na dłonie
- V9: Zeskrobany lód nie może spadać na dłonie
- G11: Skrobaczka nie skrobie na całej swojej szerokości, szyba natychmiast ponownie zaparowuje
- V11: Częsteczki lodu z uwolnionej od lodu powierzchni są od razu usuwane (ew. przez ściągaczkę)

Tak wypełniona matryca pozwala rozpoznać znaczenie poszczególnych wewnętrznych charakterystyk dla spełnienia życzeń klienta (rysunek 41).

bardzo dobrze	=	⊙
dobrze	=	○
mniej dobrze	=	△
w ogóle	=	brak wpisu

3Faza I – planowanie wyrobu

Wewnętrzne charakterystyki (JAK)		Wymagania klienta (CO)											Proces produkcji											Wybór materiału		Forma/ projekt		Siła obsługi		Skargi, przypadki gwarancji, argumenty sprzedażowe	Analiza konkurencyjna wymagań klienta																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		Numer wiersza											Twardość		Wykończenie powierzchni		Odporność temperaturowa		Skład materiałowy		Elastyczność		Odporność na pęknięcia		Rodzaj pęknięcia		Płemność ciepła		Środki produkcji			Złożoność		Kolejność pracy		Wykształcenie		Szkolenie		Krawędź zewnętrzna		Wybarwienie		Liczba funkcji		Źródło ciepła		Siła presuwu																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Wymagania klienta (CO)		Numer kolumny											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		nie może uszkadzać pojazdu											1	○	○	○	△	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Ocena:

Mocne
Średnie
Słabe

Rysunek 41. Krok 5

Krok 6: Analiza konkurencyjna wewnętrzzakładowych charakterystyk z punktu widzenia przedsiębiorstwa

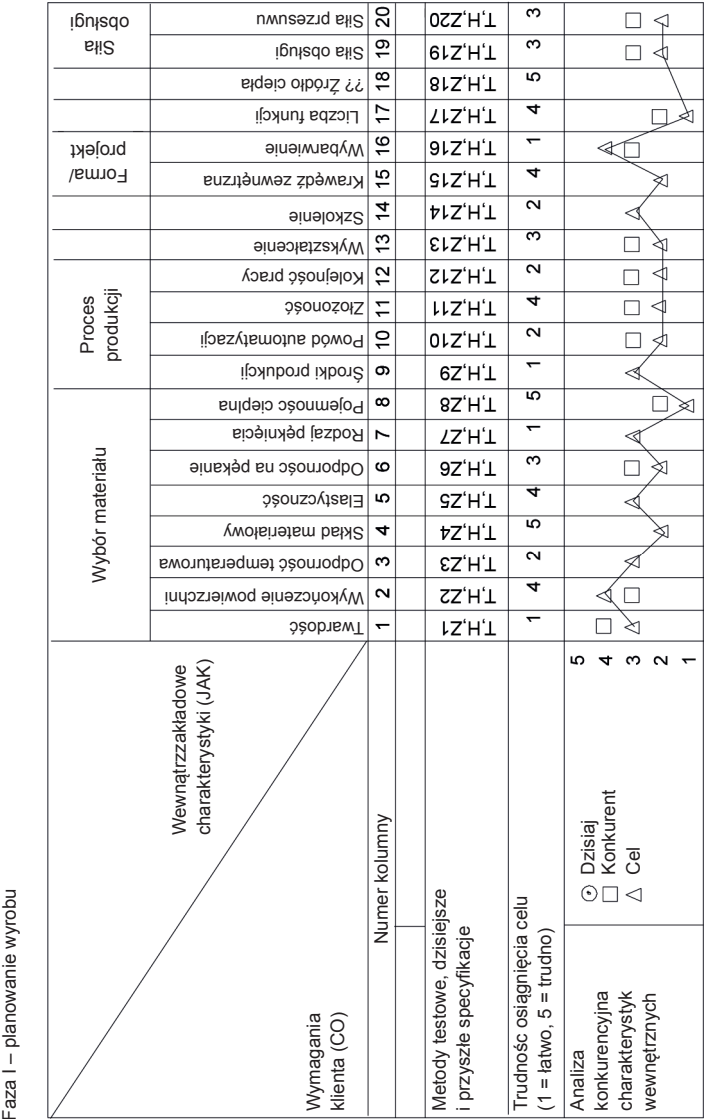
Analogicznie do postępowania w drugim kroku w szóstym kroku oceniane są wewnętrzzakładowe charakterystyki w porównaniu z konkurencją. Powstają przy tym, oceniając według poziomów od 1 (bardzo źle spełnione) do 5 (bardzo dobrze spełnione), trzy profile: własne przedsiębiorstwo dzisiaj, najlepszy konkurent, wyznaczony cel.

Krok 7: Zestawienie metod testowych, dzisiejszych i przyszłych specyfikacji

W siódmym kroku zestawione zostają dla wszystkich wewnętrzzakładowych charakterystyk metody testowe, jak i dzisiejsze i przyszłe specyfikacje. W tym celu w przewidzianych wierszach „domu jakości” w odpowiedniej kolumnie wpisywane są dla metod testowych oznaczenia T1, T2, T3 itd., dla dzisiejszych specyfikacji H1, H2, H3 itd. i przyszłych specyfikacji Z1, Z2, Z3 itd. W załączniku pod odpowiednim oznaczeniem zostaną bliżej opisane poszczególne ustalenia (rysunek 42).

Lista metod testowych, dzisiejszych i przyszłych specyfikacji

T1: badanie twardości; H1: tworzywo – nacisk kuli – twardość 84 N/mm²
Guma – twardość Shore’a A70, Z1: = H1 itd.



Rysunek 42. Krok od 6 do 8

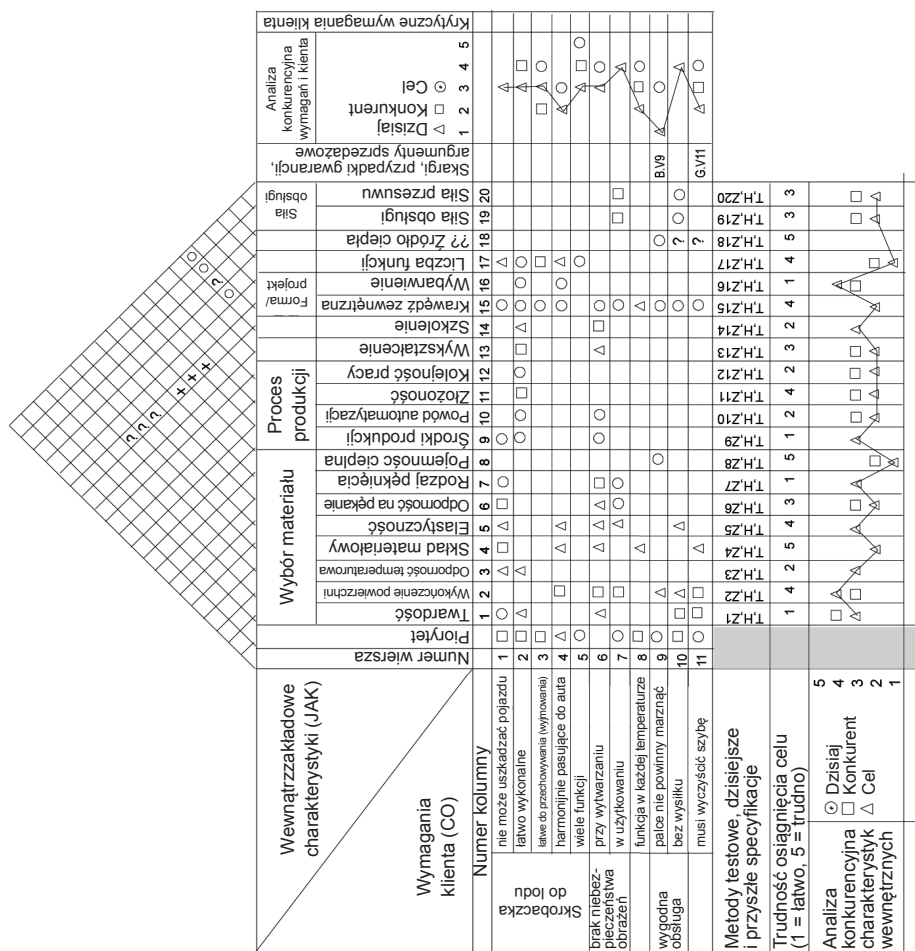
Krok 8: Ocena trudności osiągnięcia celu

W kroku ósmym dla każdej wewnątrzzakładowej charakterystyki ocenia się trudność osiągnięcia poszczególnego celu w skali od 1 (łatwo) do 5 (trudno). Kroki od 6 do 8 przedstawione są na rysunku 42.

Krok 9: „In House-Test” do opracowania krytycznych wewnątrzzakładowych charakterystyk

W kroku dziewiątym (rysunek 43) „odczytywany” jest teraz prawie kompletnie wypełniony „dom jakości”. Sprawdzane jest przy tym, czy oceny w poziomie z punktu widzenia klienta harmonizują z ocenami z punktu widzenia przedsiębiorstwa w pionie. Jeżeli tak nie jest, muszą nastąpić odpowiednie korekty w „domu jakości”. Na końcu krytyczne wewnątrzzakładowe charakterystyki oznaczane są gwiazdką.

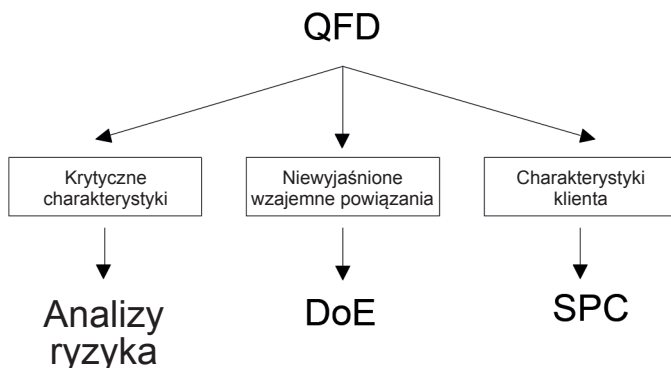
Krok 10: Korelacja krytycznych wewnętrzzakładowych charakterystyk z wszystkimi innymi



Rysunek 44. Krok 10, kompletnie wypełniony „dom jakości”

W dziesiątym i ostatnim kroku (rysunek 44) fazy QT-I „dom jakości” uzupełniany jest o dach. Należy w tym miejscu, używając odpowiednich symboli, oznaczyć, jak krytyczne wewnętrzzakładowe charakterystyki korelują z innymi wewnętrzzakładowymi charakterystykami.

Tym samym zakończona jest faza I. Równolegle do opracowania dalszych faz QFD wiedza zdobyta w pierwszej fazie QT-I wykorzystywana jest w dalszych aktywnościach, takich jak analizy ryzyka (FMEA, FTA), planowanie eksperymentów (DoE) i przygotowywanie SPC (rysunek 45).



Rysunek 45. QFD jako podstawa dla dalszych metod

6.3 Tablica jakości II (QT-II)

Planowanie grup złożeniowych lub części (faza 2)

Opracowane w I tablicy jakości (QT-I) krytyczne wewnętrzzakładowe charakterystyki wyrobu są podstawą dla dalszego postępowania w fazie 2.

Charakterystyki wyrobu są teraz wymaganiem „co” i muszą zostać do nich opracowane interpretacje „jak” (rozwiązania konstrukcyjne).

Oceny tej tablicy jakości „co-jak” następują tak, jak opisano w kroku 5 fazy 1.

Rozpoznane w tym miejscu krytyczne charakterystyki dla grup złożeniowych i części będą opracowywane dalej w fazie 3.

6.4 Tablica jakości III (QT-III)

Planowanie procesu (faza 3)

Krytyczne charakterystyki grup złożeniowych i części są ponownie ujmowane jako wymagania „co” i w tablicy jakości opracowywane są interpretacje „jak” (rozwiązania procesowe).

Ocena tej tablicy jakości „co-jak” następuje tak, jak opisano w kroku 5 fazy 1.

Rozpoznane w tym miejscu krytyczne procesy będą dalej opracowywane w fazie 4.

6.5 Tablica jakości IV (QT-IV)

Planowanie instrukcji pracy (faza 4)

Ostatnia do stworzenia w łańcuchu tablica jakości zawiera krytyczne procesy jako wymagania „co”. Do nich opracowywane są interpretacje „jak” (instrukcje pracy). Ocena tej tablicy jakości następuje tak, jak opisano w kroku 5 fazy 1.

7 TRIZ

7.1 Wprowadzenie

TRIZ jest uznanym międzynarodowym rosyjskim akronimem oznaczającym teorię rozwiązywania innowacyjnych zadań (ros. *Algoritm Rešenija Isobretatelskih Zadač*; wymawia się tak jak angielskie słowo *trees*), znanym w USA także pod skrótem TIPS (*Theory of Inventive Problem Solving*).

TRIZ została rozwinięta przez rosyjskiego naukowca Genricha Altschullera (1926–1998) i jego współpracowników (pierwsza publikacja – 1956). W przeciwieństwie do zwykle używanych wariantów metody „prób i błędów” – rozwiązywania problemów takich jak np. burza mózgów, synektyka, analiza morfologiczna itd. – TRIZ uwzględnia obiektywne prawa rozwoju systemów technicznych i tym samym umożliwia ukierunkowane poszukiwanie rozwiązań problemów. Odkrycie i usystematyzowanie tych praw, jak i innych części TRIZ nastąpiło dzięki wieloletniej analizie i ocenie dostępnych w Rosji informacji patentowych. Altschuller odkrył, że początkiem patentu była zawsze techniczna lub fizyczna sprzeczność.

Na tej podstawie rozwinął 39 parametrów technicznych, za pomocą których można opisać konflikty sprzeczności i 40 zasad innowacyjności, które przyczyniają się do ich rozwiązania.

Po wprowadzeniu TRIZ w USA na początku lat 90. techniki TRIZ i bazy danych stały się podstawą oprogramowania wynalazczego oraz zostały zmodyfikowane do zastosowania opartego na wykorzystaniu komputerów. Powstał w ten sposób nowy rodzaj działalności w zakresie inżynierii technologicznej – CAI (*Computer-Aided Innovation* lub „wspomagane komputerowo zarządzanie innowacjami”), który znalazł szerokie i udane zastosowanie w wielu renomowanych przedsiębiorstwach na całym świecie.

Sprzeczność techniczna

Główną charakterystyką rozwiązywania problemów za pomocą TRIZ są identyfikacja, wzmocnienie i eliminacja technicznej i fizycznej sprzeczności w systemach technicznych zamiast poszukiwania kompromisów. Określenie „sprzeczność techniczna” (ST) odgrywa jedną z kluczowych ról w koncepcji TRIZ. ST przedstawia dwie kontrowersyjne właściwości systemu technicznego: polepszenie jednej części lub właściwości maszyny (np. moc silnika) pogarsza inną właściwość (np. wagę lub zużycie paliwa). Według TRIZ problem zostaje rozwiązany dopiero wtedy, kiedy zostanie rozpoznana i usunięta sprzeczność techniczna. Tak zwana ślepota operacyjna, psychologiczna ociężałość i różne niepewności zostają konsekwentnie pokonane dzięki TRIZ. Dzięki temu nawet w bardzo trudnych przypadkach obszar poszukiwania zostanie znacznie poszerzony, umożliwiając spojrzenie „dalej niż czubek własnego nosa”.

7.2 Podstawy

Innowacje to kluczowy element długoterminowego sukcesu przedsiębiorstwa. Odpowiedzią na powstawanie pomysłów kierowane mniej lub bardziej przez przypadek jest TRIZ, empiryczne i wysoce systematyczne podejście do innowacji.

Metoda TRIZ oddaje do dyspozycji sposoby postępowania, za pomocą których można systematycznie realizować wynalazczość. W przeciwieństwie do typowych metod rozwiązywania problemów, takich jak metoda prób i błędów lub burza mózgów, TRIZ wykorzystuje empiryczne podstawowe prawa ewolucji technologicznej i trzyma w pogotowiu wiele narzędzi systematycznego rozwiązywania problemów (Gimbel, Herb & Herb, 2002, s. 1).

W przeszłości metoda TRIZ stosowana była wyłącznie w obszarze technicznym, względnie w poszukiwaniu innowacyjnych wyrobów. Oprócz tego TRIZ jest ważnym narzędziem w ramach innowacyjnego rozwiązywania problemów.

Części składowe teorii rozwiązywania zadań wynalazczych zostały zebrane w tabeli 7. Proste aplikacje, takie jak np. zasady rozwiązywania sprzeczności technicznych, mogą stać się szybko aktywnym narzędziem pracy, są jednak ograniczone, jeżeli chodzi o skuteczność przy trudniejszych problemach. Doświadczeni użytkownicy TRIZ stosują różne narzędzia w zależności od potrzeby.

Nr.	Część składowa TRIZ, narzędzie	Obszar zastosowania
1	Analiza sprzeczności, 39 technicznych parametrów i 40 zasad innowacyjności w celu pokonywania sprzeczności technicznych; system aplikacji w formie tzw. matrycy sprzeczności.	Od lekkich do średnio trudnych zadań wynalazczych, zalecane dla niedoświadczonych w TRIZ.
2	System wyabstrahowanych standardowych rozwiązań zadań wynalazczych: 5 klas/76 standardów; metoda zastosowania standardów.	Od lekkich do trudnych zadań wynalazczych.
3	Algorytm lub postępowanie krokowe rozwiązywania innowacyjnych zadań (akronim: ARIZ). Uniwersalne narzędzie do rozwiązywania wszystkich zadań.	Szczególnie trudne zadania wynalazcze.
4	Zastosowanie TRIZ do innowacyjnego rozwiązywania problemów, które albo wywodzą się z zastosowania innych metod, albo mają do czynienia z istniejącym systemem.	Rozwiązywanie problemów (przy pomocy abstrakcji). W praktyce najczęściej występujący obszar zastosowania.

Tabela 7. Możliwości postępowania przy zastosowaniu TRIZ [1].

40 podstawowych zasad innowacyjności w celu pokonania sprzeczności technicznych

Ocena wielu setek tysięcy patentów wykazała, że zadania wynalazcze lub sprzeczności techniczne z różnych dziedzin możliwe są do rozwiązania dzięki zastosowaniu ograniczonej liczby elementarnych zasad (metod).

TRIZ zawiera 40 podstawowych zasad innowacyjności (z podzasadami ponad 100). Niektóre przykłady to:

3. Zasada miejscowej jakości
10. Zasada wstępnego działania
11. Zasada „zawczasu podłożona poduszka” (działanie zapobiegawcze)
18. Zasada wykorzystania wibracji mechanicznych
22. Zasada obrócenia szkody w korzyść
28. Zastąpienie systemu mechanicznego
35. Zmiana właściwości fizykochemicznych
40. Zasada wykorzystania materiałów kompozytowych

Dzięki zastosowaniu zasad innowacyjności w konkretnym przypadku możliwy jest rozwój innowacyjnych działań w celu rozwiązania problemu. W tym celu każda wynikająca z tego zasada powinna być odniesiona kompleksowo do wszystkich komponentów rozpatrywanego systemu.

1 Rozdrobnienie	15 Dynamizacja	28 Zastąpienie mechaniki
2 Wyodrębnienie	16 Działanie częściowe lub nadmierne	29 Pneumatyka lub hydraulika
3 Miejscowa jakość	17 Wyższy wymiar	30 Elastyczne powłoki lub błony
4 Asymetria	18 Wibracje mechaniczne	31 Materiały porowate
5 Scalenie	19 Działanie okresowe	32 Zmiana zabarwienia
6 Uniwersalność	20 Ciągłość	33 Homogeniczność
7 Przeplatanie	21 Przeskok	34 Odrzucanie i regeneracja
8 Przeciwwaga	22 Obrócenie szkody w korzyść	35 Zmiana właściwości
9 Wstępne przeciwdziałanie	23 Sprzężenie zwrotne	36 Przejścia fazowe
10 Wstępne działanie	24 Mediator, pośrednik	37 Rozszerzalność termiczna
11 Działania zapobiegawcze	25 Samoobsługa	38 Silne utleniacze
12 Ekwipotencjalność	26 Kopiowanie	39 Środowisko inercyjne/obojętne
13 Na odwrót	27 Tania, krótka żywotność	40 Materiał kompozytowy
14 Krzywizna		

Tabela 8. 40 podstawowych zasad innowacyjności

Lista 40 podstawowych zasad innowacyjności znajduje się na końcu rozdziału (patrz punkt 7.6).

76 standardowych rozwiązań zadań wynalazczych

40 podstawowych zasad innowacyjności i kombinacje ich zastosowania tworzą najprostsze narzędzie TRIZ. Analiza skomplikowanych zadań wykazała, że można je rozwiązać dopiero dzięki jednoczesnemu zastosowaniu wielu elementarnych zasad i efektów fizycznych. Takie szczególnie silne i stabilne kombinacje zasad i efektów tworzą system 76 standardowych rozwiązań zadań wynalazczych. Lista 76 standardowych rozwiązań znajduje się na końcu rozdziału (patrz punkt 7.6).

Standardy TRIZ

Standardami TRIZ są ogólne reguły syntezy i przemiany systemów technicznych (TS). Opierają się one na regułach rozwoju systemów technicznych. Większość rozwiązań standardowych bazuje bezpośrednio na praktycznym zastosowaniu tych reguł. Nowoczesny system rozwiązań standardowych charakteryzuje się uporządkowanym i wysoce systematycznym sposobem pracy oraz może być ponadto używany do prognozy technicznego rozwoju wyrobu. Składa się z 5 grup złożonych w sumie z 76 standardów:

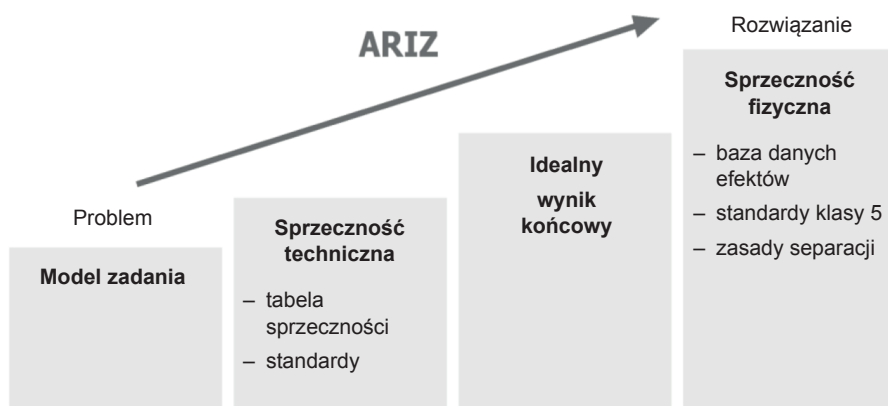
- Grupa 1: Budowa i dekompozycja kompletnych modeli substancja-pole
- Grupa 2: Doskonalenie modeli substancja-pole
- Grupa 3: Przejście do super- i podsystemu (poziom makro i mikro)
- Grupa 4: Rozpoznanie i pomiar
- Grupa 5: Metody pomocnicze do zastosowania standardów

TRIZ w innowacyjnej wynalazczości (ARIZ)

Algorytm lub procedura krokowa rozwiązywania problemów wynalazczych (ros. *Algoritm Rešenija Isobretatelskih Zadač*, w skrócie ARIZ) jest narzędziem TRIZ do rozwiązywania problemów, od analizy sytuacji problemowej i zasobów systemu do oceny podejścia do rozwiązania. Z reguły stosowana jest wtedy, kiedy 40 zasad innowacyjności lub standardów nie dostarcza zadowalających rezultatów.

Doświadczonym i wprawnym użytkownikom ARIZ oferuje możliwość analizy problemu, rozpoznania technicznych sprzeczności, sformułowania

celu poszukiwanego rozwiązania (tzw. idealnego rezultatu) oraz ujęcia i przezwyciężenia leżącej u podstaw sprzeczności fizycznej. Główne poziomy ARIZ (rysunek 46) zostaną dokładniej wyjaśnione na podstawie przykładu. Pełny ARIZ zawiera 9 części z około 90 krokami.



Rysunek 46. Główne poziomy postępowania ARIZ [1]

Baza danych efektów technologicznych – most do fizyki

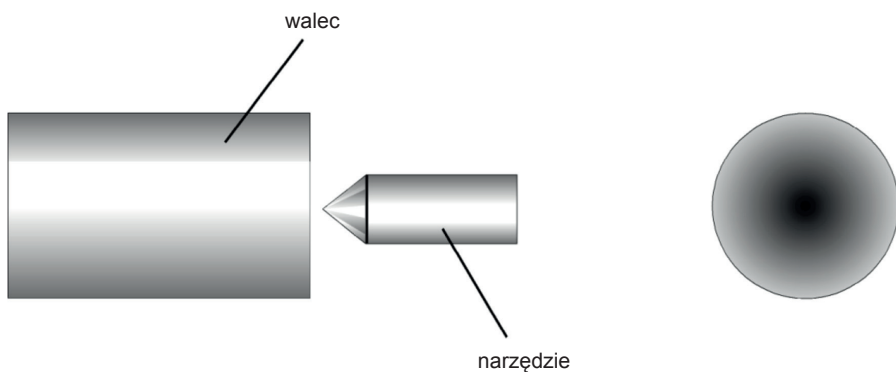
Wiele mocnych technicznych rozwiązań bazuje na fizycznych, chemicznych, geometrycznych i innych zjawiskach i efektach. Jednak bardzo często brakuje inżynierom niezawodnego połączenia zadania i fizyki. Ten brak jest wyeliminowany w TRIZ dzięki bazie danych efektów. W zależności od fizycznej sprzeczności wymaganego działania lub właściwości wymienione są różne efekty z przykładami ich zastosowania, tak jak przedstawiono przykładowo w tabeli 9. Prawie każdy efekt opisany jest w bazie danych z jego polami wejść i wyjść, na przykład efekt termomechaniczny lub elektromechaniczny. Pozwala to łączyć różne efekty w nowe kombinacje i przez to rozwiązywać złożone zadania.

Pożądany skutek	Efekty fizyczne, metody
Zwiększenie temperatury	Indukcja elektromagnetyczna, prądy wirowe, naskórkowość, ogrzewanie dielektryczne, zjawiska termoelektryczne, absorbcja promieniowania, reakcje egzotermiczne itd.
Mieszanie substancji; tworzenie roztworów	Ultradźwięki, kawitacja, dyfuzja, elektroliza, elektroforeza, pole magnetyczne w połączeniu z materiałem ferromagnetycznym, pola elektryczne, efekty geometryczne itd.
Zmiana wymiarów obiektu	Efekty termomechaniczne (rozszerzalność cieplna, pamięć metali itp.), deformacje, magneto-/elektrostrykcja, efekt piezoelektryczny, przejścia fazowe, reakcje chemiczne itd.

Tabela 9. Wyciąg z bazy danych efektów fizycznych

Rozwiązanie zadania z wykorzystaniem ARIZ

Metodę ARIZ najlepiej jest wytłumaczyć na przykładzie:



Rysunek 47. Przedstawienie systemu dla przykładu ARIZ [1]

Poziom 1: Formułowanie modelu zadania

W produkcji rur bezszwowych ogrzany cylindryczny półfabrykat (walec) przebijany jest zaostrozonym narzędziem formującym (igłą). Półfabrykat jest w tym czasie obracany i zostaje ułożony na zewnętrznych rolkach (rysunek 47). Po wprowadzeniu narzędzia formującego do gorącego półfabrykatu igła często gubi się w walcu. Problem zaostrza się wraz ze wzrostem długości rury, względnie walca, która może wynosić aż do 6 metrów. Zadanie: Jak można zapobiec gubieniu się narzędzia igłowego?

Poziom 2: Formułowanie sprzeczności technicznej

Wraz ze wzrostem długości walca zmniejsza się podparcie igły i tym samym zmniejsza się wymiar, względnie dokładność wykonania, produkowanej rury. (Na tym poziomie można spróbować rozwiązać sprzeczność techniczną za pomocą prostego środka, takiego jak macierz sprzeczności lub system rozwiązań standardowych).

Poziom 3: Formułowanie idealnego wyniku końcowego (IER, niem. *Idealen Endresultats* – przyp. tłum.) zadania

Nieskończenie długi walec sam wspiera i prowadzi igłę dokładnie w swoim środku. Sprzeczność techniczna wzrasta jeszcze poprzez takie sformułowanie. IER działa tutaj jako przewodnik do mocnego rozwiązania. Każda sprzeczność techniczna ma konkretną przyczynę fizyczną, którą należy wyjaśnić na następnym poziomie.

Poziom 4: Formułowanie sprzeczności fizycznej

W celu realizacji IER walec musi mieć dwa wykluczające się stany fizyczne: musi być twardy, aby wspierać siebie i igłę, oraz musi być miękki, aby pozwolić igle przebić się przez jego środek. Jest to sprzeczność techniczna. Do jej pokonania ARIZ daje do dyspozycji zasady separacji do pokonywania fizycznych sprzeczności, standardy klasy 5, jak i bazę danych ponad 1000 fizycznych, chemicznych i geometrycznych efektów.

Jedną z najłatwiejszych możliwości rozwiązania sprzeczności fizycznej jest oddzielenie przestrzennie lub czasowo przeciwnych właściwości. Przykład: walec musi być twardy przede wszystkim na zewnątrz i miękki w środku. W bazie danych można teraz wyszukać efekt fizyczny, który może wpłynąć na twardość materiału.

Zasadniczo jednak: przed zastosowaniem „obcego” oddziaływania powinny zostać dokładnie przeanalizowane i zmobilizowane w celu rozwiązania już posiadane zasoby własne (materiał, pola, czas, przestrzeń, informacje, funkcje). Tego typu analiza należy do ważnych kroków ARIZ.

Poziom 5: Pokonywanie sprzeczności fizycznych

Walec i tak będzie podgrzany, aby igła mogła lekko go przebić: twardość materiału jest m.in. funkcją temperatury. W systemie brakuje jednak wymaganego podzielenia pola ogrzewania: na zewnątrz chłodniej, a do środka cieplej. Ten warunek może zostać spełniony bez większego nakładu poprzez spryskiwanie walca zimną wodą. Igła sama znajdzie dzięki temu najłatwiejszą drogę – najcieplejsze, względnie najbardziej miękkie miejsce walca, a dokładnie jego środek.

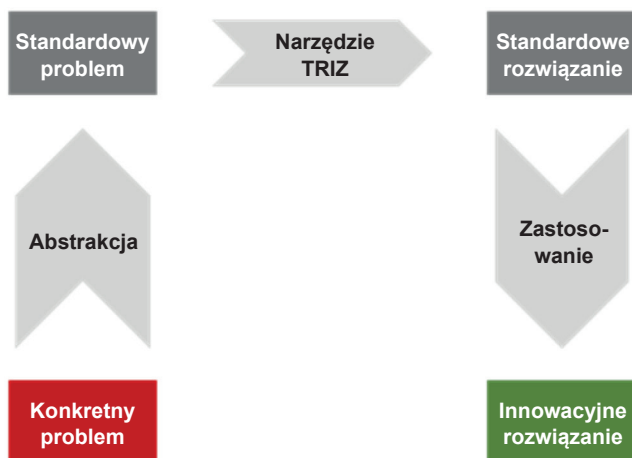
TRIZ w rozwiązywaniu problemu

Cztery kroki i przynależące do nich narzędzia innowacyjnego rozwiązywania problemów z wykorzystaniem TRIZ są przedstawione w następującym łańcuchu logicznym:

1. Konkretny problem – abstrakcja
2. Standardowy problem – narzędzie TRIZ
3. Standardowe rozwiązanie – zastosowanie/wdrożenie
4. Innowacyjne rozwiązanie

TRIZ w rozwiązywaniu problemu

- Systematyczna analiza problemu prowadzi często już do rozwiązań problemu.
- Sprzeczność jest centralnym, prowokującym innowację elementem problemu technicznego.
- Wiele problemów zostało już rozwiązanych w innych obszarach i branżach pod innymi nazwami, ale co do zasady porównywalnie.
- Zaawansowany rozwój systemów technicznych w celu stworzenia idealnego produktu podlega pewnym (ewolucyjnym) prawom.



Rysunek 48. Postępowanie wykorzystujące TRIZ w rozwiązywaniu problemu

Analiza (abstrakcja)

Opisana zostaje historia projektu i stan aktualny, zebrane są informacje, ustalone zostają warunki ramowe (otoczenie, zasoby), rozpoznany zostaje konflikt techniczny.

Narzędziami TRIZ, które mogą zostać użyte, są:

Lista kontrolna innowacji (*Innovation Situation Questionnaire*)

Rozpatrywany system opisany jest za pomocą listy kontrolnej. Dotychczasowa struktura systemu jest rejestrowana w swoim otoczeniu (system nadrzędny, systemy podrzędne, systemy równoległe). Opisane zostają funkcje systemu i przedstawione podstawowe korzyści dla klienta. Sprawdzany jest sposób pracy systemu. Dodatkowo ujęte jest otoczenie systemu (rodzaj i forma, zasoby). W wielu przypadkach sprawdzana jest historia aktualnej struktury systemu i oczekiwany idealny rezultat końcowy.

Lista kontrolna zasobów

W tej liście ujęte są zasoby dostępne w systemie i jego otoczeniu (zasoby materiałowe, pola, informacji i czasu oraz zasoby funkcyjne) oraz określone jest ich zastosowanie. Dzięki weryfikacji wykorzystania zasobów do rozwiązywania problemu, uniknięcia szkodliwej funkcji lub spełnienia przydatnej funkcji możliwe będzie znalezienie tematu rozwiązania problemu i jednoznaczne sformułowanie zadania.

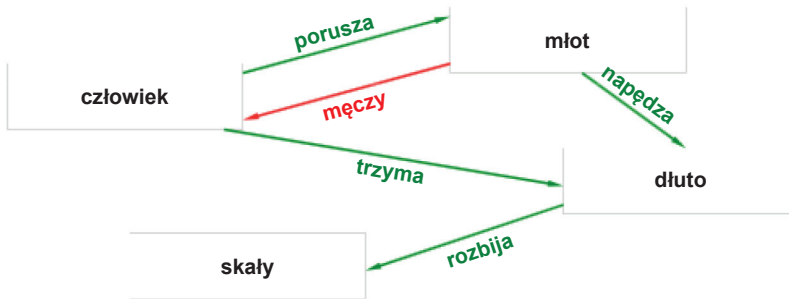
Antycypacyjne rozpoznawanie błędu

Z następujących pytań uzyskiwane są informacje o konflikcie technicznym:

- Co muszę zrobić, aby wyrób, proces, system doprowadzić do nieprawidłowego działania?
- Jakie czynności w rozwoju, produkcji, transporcie, u klienta, przez klienta, prowadzą do nieprawidłowego działania systemu?

Modelowanie obiektowe

Przedstawienie pozytywnych i negatywnych zależności (struktura sieciowa) pomiędzy uczestniczącymi obiektami (elementami systemu) i pokazanie punktów ciężkości szczególnie dobrych lub złych elementów. Efektem ubocznym jest uwidocznienie technicznych i/lub fizycznych sprzeczności.



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

Rysunek 49. Przykład – modelowanie obiektowe

Narzędzia dodatkowe

- Analiza ABC (struktury kosztów, struktury wagi)
- Pytania 6W
- Pozyskiwanie wiedzy z dokumentacji, literatury, patentów, internetu itd.
- Diagram przyczynowo-skutkowy (Ishikawa)
- FMEA
- Analiza drzewa błędów
- Mapa myśli (ang. *mind mapping*)
- *Black box*

Wyniki fazy analizy

- Ogólne zrozumienie funkcji i problemu (przyczyna problemu)
- Jednakowy stan wiedzy wszystkich członków zespołu
- Rozpoznane konflikty techniczne i fizyczne sprzeczności
- Dotychczasowe aktywności i historia
- Identyfikacja przeszkód

Abstrakcja (narzędzia TRIZ)

Ogólnie opisać problem i uczynić go przez to zrozumiałym, niezależnie od wiedzy fachowej. Problem zostanie rozważony pod różnymi kątami widzenia i lepiej zrozumiany.

Narzędziami TRIZ, które mogą zostać użyte, są:

Analiza sprzeczności

Dzięki pokazaniu sprzeczności możliwe jest precyzyjne sformułowanie problemu. Wykorzystuje się do tego narzędzie sprzeczności, aby przeanalizować system techniczny i jego funkcje. Analiza sprzeczności bazuje na przekonaniu, że innowacyjne rozwiązania problemu powstają zazwyczaj tylko wtedy, kiedy dwa fakty są wyraźnie ze sobą sprzeczne.

39 parametrów technicznych (patrz załącznik w punkcie 7.7)

Zastosowanie zasady może następować w formie matrycy, zwanej matrycą sprzeczności, składającej się z 39 wierszy i 39 kolumn. Te 39 wejść to najważniejsze cechy systemów technicznych:

ciężar, długość, objętość, prędkość, temperatura, straty substancji, dokładność pomiaru, łatwość wytwarzania, łatwość eksploatacji itd.

Pomagają one w opisie systemu technicznego za pomocą ustandaryzowanych określeń i występują w polach tabeli w formie kontrowersyjnych właściwości jako sprzeczność techniczna: np. ciężar-wytrzymałość lub temperatura-dokładność pomiaru itd.

Model substancja-pole

Każdy system techniczny może zostać przedstawiony w ujęciu dostępnej substancji, pól i ich wzajemnego oddziaływania. Jako substancje określa się obiekty lub części systemu, niezależnie od stopnia ich złożoności.

Operatory MKZ (materiał-koszty-czas)

Teoria operatorów MKZ (niem. *Material-Kosten-Zeit*) konfrontuje rozwiązujących problem z obiema hipotetycznie możliwymi sytuacjami „dowolnie dużo” lub „w ogóle nic” odnośnie do materiału, czasu i pieniędzy. Ten ekstremalny typ myślenia może prowadzić do rewolucyjnych pomysłów i rozwiązań.

Narzędzia dodatkowe

- Analiza słów kluczy
- Antycypacyjne rozpoznawanie błędów
- Bionika
- Model matematyczny (obliczenia symulacyjne)

Wyniki fazy abstrakcji

- Możliwe rozwiązania są pokazane
- dalsze kroki są wyznaczone

Wspomagane rozwiązywanie problemów (zastosowanie/wdrożenie)

Wykorzystanie wyznaczonych narzędzi TRIZ i tym samym wiedzy z innych obszarów fachowych.

Narzędziami TRIZ, które mogą zostać użyte, są:

40 podstawowych zasad innowacyjności w celu pokonania sprzeczności technicznej

Zadania wynalazcze lub sprzeczności techniczne z różnych obszarów mogą zostać rozwiązane przy użyciu ograniczonej liczby elementarnych zasad (metod).

76 standardowych rozwiązań zadań wynalazczych (patrz załącznik w punkcie 7.7)

Zasady i tabela ich zastosowań należą do najprostszych narzędzi TRIZ. Analiza skomplikowanych zadań wykazała jednakże, że można je rozwiązać dopiero dzięki jednoczesnemu zastosowaniu wielu

elementarnych zasad i efektów fizycznych. Takie szczególnie silne i stabilne kombinacje zasad i efektów tworzą system rozwiązań standardowych zadań wynalazczych.

Reguły separacji

Sprzecznosci są rozwiązywane dzięki separacji wymagań. W tym celu TRIZ udostępnia 4 reguły separacji:

- separacja w przestrzeni,
- separacja w czasie,
- separacja wewnątrz obiektu i jego części,
- separacja poprzez zmianę warunków.

Narzędzia dodatkowe

- Metody kreatywne (metoda 635, burza mózgów, bionika itp.)
- Mapy myśli (ang. *mind mapping*)
- Analiza morfologiczna

Wyniki fazy poszukiwania rozwiązań

- Zbiór nieocenionych rozwiązań

Priorytetyzacja i uszczegółowienie pomysłów rozwiązań (rozwiązania innowacyjne).

Systematyczna ocena znalezionych rozwiązań i wybór najbardziej odpowiedniego rozwiązania.

Narzędziami TRIZ, które mogą zostać użyte, są:

Reguły i prawa rewolucji

Według Altschullera wzorce rozwoju systemów technicznych mogą zostać opisane tzw. krzywą S. Przedstawia ona poziom dojrzałości cyklu życia (dzieciństwo, dorastanie, dojrzałość, starość).

Stopień osiągnięcia rozwiązania idealnego

Wszystkie systemy rozwijają się w kierunku rosnącej doskonałości. Pod pojęciem doskonałości rozumiana jest redukcja nakładów substancji, energii, przestrzeni, czasu i kosztów przy jednoczesnej poprawie pożądanej funkcji. Podstawową ideą, która się za tym kryje, jest to, że nie system techniczny jest celem rozwoju, lecz spełnienie funkcji. Idealny system spełnia swoją funkcję nawet bez własnej obecności.

Dodatkowe narzędzia

- Indywidualne matryce oceny
- Portfolio
- Analiza korzyści
- Rachunek kosztów docelowych (ang. *target costing* – przyp. tłum.)
- Analiza korzyści klienta QFD

Wyniki fazy priorytetyzacji

- Możliwe rozwiązania są ocenione
- Rozwiązania są wybrane do wdrożenia

7.3 Narzędzia TRIZ

Części składowe teorii rozwiązywania innowacyjnych zadań zostały zebrane w tabeli 10. Proste aplikacje, takie jak np. zasady rozwiązywania sprzeczności technicznych, mogą stać się szybko aktywnym narzędziem pracy, są jednak ograniczone, jeżeli chodzi o skuteczność przy trudniejszych problemach. Doświadczeni użytkownicy TRIZ stosują różne narzędzia w zależności od potrzeby.

Nr	Narzędzie TRIZ	Zastosowanie
1	Sprzeczność techniczna	Formułowanie sprzeczności
2	Matryca sprzeczności	Pokonywanie sprzeczności technicznych
3	Analiza substancja-pole	Abstrakcyjne modele systemów złożonych z substancji i pól
4	Modelowanie obiektowe	Pozytywne i negatywne zależności obiektów w strukturze sieci systemu, pokazanie technicznych i fizycznych sprzeczności
5	Modelowanie funkcyjne	Połączenie pojedynczych funkcji w całym systemie
6	Zasady separacji (sprzeczność fizyczna)	Rozwiązanie sprzeczności dzięki separacji wymagań
7	Bionika	Przeniesienie zasad biologicznych do technologii
8	Operatory MKZ	Rozważanie hipotetycznych sytuacji odnośnie do materiału, kosztów i czasu
9	Lista kontrolna innowacji (kwestionariusz sytuacji innowacji)	Analiza aktualnej sytuacji, historia jej powstania i idealnego stanu
10	Lista kontrolna zasobów	Rejestracja dostępnych zasobów
11	Antycypacyjne rozpoznawanie błędów	Rozważania teoretyczne nad celowym spowodowaniem problemu (katastrofy)
12	8 praw ewolucji	Wyprowadzenie zasad z wzorców rozwoju systemów technicznych
13	System idealny	Zastosowanie trendów rozwoju do osiągnięcia idealnego stanu
14	Trimming	Rozważanie analizy wartości modeli obiektów

Tabela 10. Lista głównych narzędzi TRIZ (TRIZ-Tools) [1]

Sprzeczność techniczna

Dzięki pokazaniu sprzeczności możliwe jest precyzyjne sformułowanie problemu. Wykorzystuje się do tego narzędzie sprzeczności, aby przeanalizować system techniczny i jego funkcje. Analiza sprzeczności bazuje na przekonaniu, że innowacyjne rozwiązania problemu powstają zazwyczaj tylko wtedy, kiedy dwa fakty są wyraźnie ze sobą sprzeczne.

System techniczny może oddawać do dyspozycji zarówno pożyteczne działanie – tak zwaną „funkcję pożądaną” – jak i działanie utrudniające – tak zwaną „funkcję szkodliwą”. Kiedy funkcja pożądana zostaje dostarczona w sposób konwencjonalny i równocześnie wykazuje funkcję szkodliwą, istnieje sprzeczność w sensie metodycznej inwencji.

Rozróżnienie sprzeczności może następować na dwa sposoby:

- Sprzeczność techniczna: funkcja pożądana wpływa na inny parametr systemu niż funkcja szkodliwa. W sprzeczności technicznej uczestniczą zasadniczo dwa parametry systemu technicznego.
- Sprzeczność fizyczna: funkcja pożądana i szkodliwa wpływają na ten sam parametr systemu, to znaczy, że parametr powinien istnieć w dwóch przeciwnych stanach. Obiekt powinien być gorący i zimny lub miękki i twardy, lub duży i mały.

Przykładem z branży samochodowej jest następująca sprzeczność: klient chciałby bezpiecznego pojazdu (gruba blacha, stabilna rama → duża waga), który spala mało paliwa (niska waga → cienka blacha, lekka rama).

Matryca sprzeczności (39 parametrów)

Zastosowanie 40 zasad innowacyjności może następować w formie matrycy, zwanej matrycą sprzeczności, składającej się z 39 wierszy i 39 kolumn. Te 39 wejść to najważniejsze cechy systemów technicznych:

ciężar, długość, objętość, prędkość, temperatura, straty substancji, dokładność pomiaru, łatwość wytwarzania, łatwość eksploatacji itd.

Pomagają one w opisie systemu technicznego za pomocą ustandaryzowanych określeń i występują w polach tabeli w formie kontrowersyjnych właściwości jako sprzeczność techniczna: np. ciężar-wytrzymałość lub temperatura-dokładność pomiaru itd.

Matryca sprzeczności pokazuje liczbowo w miejscu przecięcia dwóch przeciwnych właściwości (punkt przecięcia), które zasady dają szczególną perspektywę na sukces w przezwyciężeniu sprzeczności technicznej.

Pomimo że nie wszystkie pola matrycy sprzeczności są wypełnione, oferuje ona zasady rozwiązań dla ponad 1200 typów sprzeczności technicznych i w pojedynczych przypadkach może znacząco zredukować obszar poszukiwań odpowiedniego pomysłu na rozwiązanie.

Matryca sprzeczności należy dzisiaj do historii TRIZ. Zasadniczo 40 zasad innowacyjności nadaje się do rozwiązywania lekkich do średnio ciężkich problemów. W przypadku złożonych problemów zaleca się zastosowanie systemu 76 rozwiązań standardowych lub algorytmu wynalazczości ARIZ.

Co pogorszy się przy tym w systemie? Co zostanie zmienione w systemie?		1	...	27	28	...	39
		Ciężar obiektu ruchomego	...	Niezawodność	Dokładność pomiaru	...	Wydajność
1	Ciężar obiektu ruchomego			3,11 1,27	28,27 35,26		35,3 24,37
...	...						
9	Prędkość	2,28 13,38		11,35 27,28	28,32 1,24		
10	Siła	8,1 37,18		3,35 13,21	35,10 23,24		3,28 35,37
...	...						
39	Wydajność	35,26 24,37		1,35 10,38	1,10 34,28		

Rysunek 50. Szukanie zasad rozwiązań w matrycy sprzeczności [1]

Przykład

Przy wzroście prędkości pojazdu ponad 100 km/h zwiększa się silnie ryzyko ciężkiego wypadku z powodu przebitej opony. Sprzeczność techniczna jest już sformułowana i można zastosować matrycę sprzeczności:

zwiększenie prędkości pojazdu (wiersz 9) wpływa negatywnie na niezawodność podwozia (kolumna 27). W polu 9/27 można znaleźć następujące metody w zalecanej kolejności: 11, 35, 27, 28 (rysunek 50). Zgodnie z zasadą nr 11 niewystarczająca niezawodność powinna zostać wyrównana poprzez wcześniej zmobilizowany środek zapobiegający uszkodz. Możliwe rozwiązanie brzmi: do każdej felgi dodana jest twarda podkładka. Utrzymuje ona pojazd po przebicium opony w stanie pionowym i redukuje przez to ryzyko ciężkiego wypadku (US Pat. 2879821).

Przykład

Inny przykład zastosowania zasady „wcześniej podłożonej poduszki” (nr 11) można zidentyfikować w przemyśle farmaceutycznym. Tabletkę nasenną pokryta jest cienką błoną środka wywołującego wymioty. W przypadku połączenia jednorazowo wielu pigułek ilość ww. środka osiąga masę krytyczną i niebezpieczne tabletki są wydalane z żołądka.

W praktyce często bardzo trudne jest w konkretnym zadaniu precyzyjne sformułowanie sprzeczności technicznej za pomocą matrycy sprzeczności. Z tego powodu zalecane jest bezpośrednie zastosowanie (z doświadczenia) najbardziej obiecującej lub wszystkich 40 zasad innowacyjności.

Analiza substancja-pole

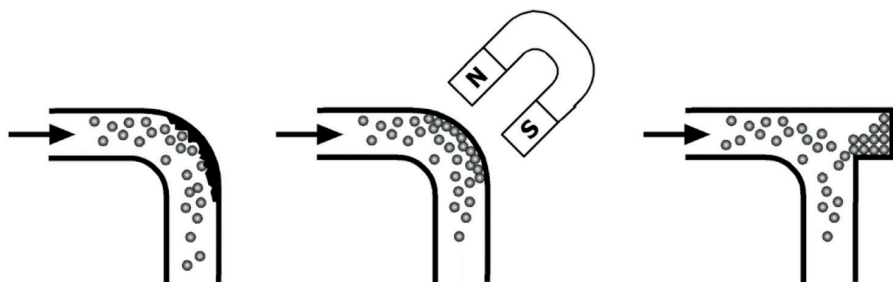
Rozwiązania standardowe operują na wyabstrahowanych modelach systemów technicznych, które można łatwo stworzyć przy pomocy tak zwanej analizy substancja-pole. Każdy system techniczny może zostać przedstawiony w ujęciu dostępnych substancji, pól i ich wzajemnego oddziaływania. Jako substancje określa się obiekty lub części systemu, niezależnie od stopnia ich złożoności. Termin „pole” obejmuje nie tylko cztery klasyczne pola fizyczne, takie jak pole elektromagnetyczne, pole grawitacyjne oraz pola silnych i słabych oddziaływań. W TRIZ termin „pole” zawiera także wszystkie możliwe pola „techniczne”, takie jak pole temperatury (pole ciepła), pole siły odśrodkowej, pole ciśnienia, pole akustyczne itd. Jeżeli został stworzony model substancja-pole systemu, można szybko zaproponować odpowiednie rozwiązania standardowe. Aby to zademonstrować, rozważmy jeden z 76 standardów.

Przykład

W przewodach rurowych z wieloma łukami za pomocą strumienia powietrza transportowane są małe kulki metalowe (rysunek 51). Ze względu na efekt uderzeniowy kulek ścianki rur zużywają się bardzo szybko na zgięciach. Dodatkowe powłoki ochronne (typowe rozwiązanie kompromisowe) mają co prawda zwiększoną żywotność, zużywają się mimo to. Co należy zrobić?

Pomiędzy dwiema substancjami (kulki i rura) systemu technicznego powstaje niepożądane oddziaływanie wzajemne. Takimi problemami zajmują się standardowe rozwiązania klasy 1. Jedno takie rozwiązanie standardowe brzmi:

„Jeżeli w kontakcie dwóch poruszających się względem siebie substancji/obiektów występuje negatywne zjawisko, należy wprowadzić trzecią substancję pomiędzy te substancje/obiekty, która jest modyfikacją jednej lub obu już obecnych substancji”.



Rysunek 51. Graficzne przedstawienie przykładu [1]

Rysunek 51 przedstawia wynik. Pomiędzy ścianką rury i strumieniem kulek umieszczona została warstwa takich samych kulek. Kulki leżą albo w zaułku przewodu rury albo utrzymywane są w inny sposób z wykorzystaniem magnesu trwałego. Poruszające się kulki nie uderzają już o ścianki, ale o inne kulki. Jeżeli którakolwiek z utrzymywanych kulek zostanie wybita, jej miejsce zostanie zajęte przez następną. Sprzeczność techniczna jest rozwiązana: nie następuje zużycie w zgięciach rur. Zgodnie z takim samym standardem można rozwiązać problem z innej branży.

Przykład

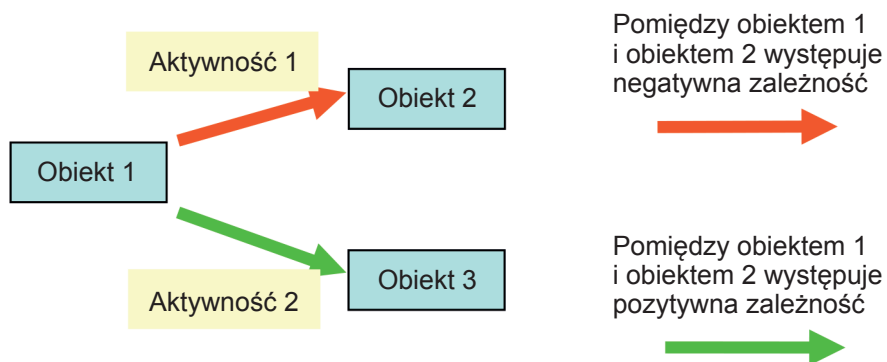
Powierzchnie nośne szybkich łodzi często narażone są na efekt kawitacji (erozja hydrodynamiczna) przepływu wody. Małe implodujące pęcherzyki powietrza stopniowo niszczą podwodne skrzydła łodzi nawet o dużej wytrzymałości. Występuje oczywiście szkodliwe oddziaływanie wzajemne pomiędzy dwiema substancjami: woda i metal, które zgodnie z ww. standardem może być rozwiązane za pomocą modyfikacji jednej z dostępnych substancji. Biorąc pod uwagę „zmodyfikowaną wodę” (np. lód lub parę), powstaje następujące rozwiązanie: część podwodna powierzchni nośnej zostanie schłodzona, tak aby powstała cienka, ale stale odnawiająca się warstwa ochronna z lodu.

Przykłady wyjaśniają wyraźnie, dlaczego modyfikacja jednej z istniejących substancji powinna zostać wykorzystana jako trzecia substancja. Substancji „obcej” często nie da się bez komplikacji dopasować do „obcego” dla niej systemu technicznego.

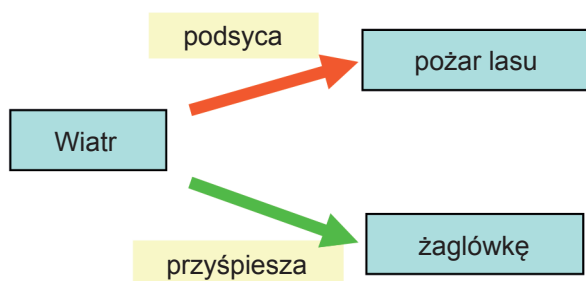
Modelowanie obiektowe

Przedstawienie pozytywnych i negatywnych zależności pomiędzy uczestniczącymi obiektami (elementami systemu) i pokazanie punktów ciężkości szczególnie dobrych lub złych elementów.

Przedstawienie pozytywnych i negatywnych zależności pomiędzy uczestniczącymi obiektami



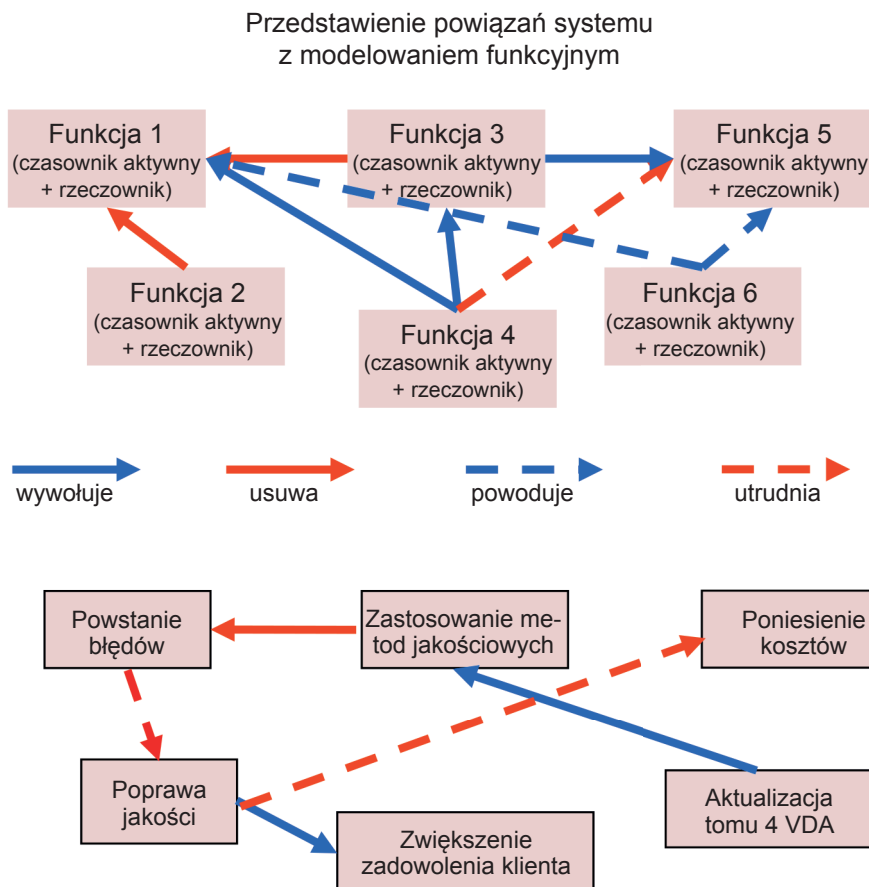
Przykład:



Rysunek 52. Modelowanie obiektowe [3]

Modelowanie funkcyjne

Modelowanie funkcyjne rozkłada cały system lub cały problem na jego poszczególne funkcje (sieć funkcji) i w sposób ustandaryzowany opisuje połączenia tych funkcji. Funkcja w rozumieniu TRIZ jest scharakteryzowana przez aktywny czasownik i rzeczownik.



Rysunek 53. Modelowanie funkcyjne [2]

Reguły separacji

Fizyczne sprzeczności rozwiązywane są dzięki separacji wymagań. W tym celu TRIZ udostępnia 4 reguły separacji:

1. Separacja w przestrzeni
Podstawową myślą tej zasady jest przestrzenne rozdzielenie sprzecznych wymagań. System dzieli się przestrzennie na systemy częściowe lub podsystemy, a sprzeczne funkcje są przyporządkowywane do różnych części.
2. Separacja w czasie
Kiedy system lub proces musi sprostać sprzecznym wymaganiom, wypełnić przeciwstawne funkcje lub pracować w przeciwstawnych warunkach, należy spróbować, aby sprzeczne wymagania, funkcje lub warunki były potrzebne lub pojawiały się w różnym czasie.
3. Separacja wewnątrz obiektu lub jego części
Kiedy system powinien spełnić sprzeczne funkcje lub musi pracować w przeciwstawnych warunkach, można (o ile to możliwe), podzielić system na podsystemy. Jedna ze sprzecznych funkcji zostanie przypisana do jednego lub wielu podsystemów a pozostałe funkcje zostaną pozostawione tak jak do tej pory w całym systemie.
4. Separacja poprzez zmianę warunków
Podstawową ideą jest oddzielenie sprzecznych wymagań dzięki modyfikacji warunków, w których przebiega jednocześnie korzystny i niepotrzebny lub szkodliwy proces. System lub otoczenie może zostać zmodyfikowane w taki sposób, aby mógł przebiegać tylko użyteczny proces.

Przykłady

Sprzeczność: Wyciąg krzesełkowy powinien poruszać się bardzo szybko, aby czas przejazdu był krótki, powinien poruszać się wolno, aby bezpiecznie i komfortowo można było wsiąść i wysiąść. Rozwiązanie dzięki

separacji w czasie: przeniesienie krzesła z liny transportowej (szybkiej) na linę załadowniczą (wolną).

Sprzecznosc: Kadłub łodzi powinien być wąski, aby opór wody był mały, ale też powinien być szeroki, aby był stabilny i oferował dużo miejsca.

Rozwiązanie dzięki separacji obiektu: dzięki kombinacji dwóch wąskich kadłubów w katamaranie spełnione zostają obydwa wymagania.

Bionika

Metoda bioniki jest szczególnie przydatna w poszukiwaniu pomysłów dla problemów technicznych. Sprawdza, jak natura rozwiązała problemy materiału lub konstrukcji. Bionika ma na celu przeniesienie na rozwiązania techniczne budowy struktur, mechanizmów lub systemów, które występują w naturze.

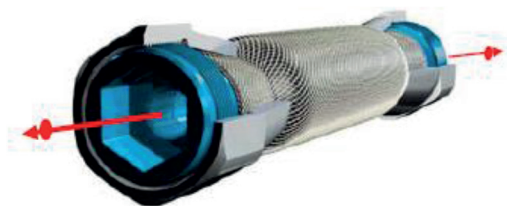
Przykład

Problem: Cylindry pneumatyczne do krótkich precyzyjnych ruchów translacyjnych mają dużą wagę, wykonują gwałtowne ruchy (efekty *stick-slip*) i są często nieszczelne (tłok/cylinder)

Pytanie: Jak w naturze powstają ruchy translacyjne?

Rozwiązanie: Mięsień.

Wdrożenie: Realizacja pracy mięśnia poprzez elastyczny wąż ciśnieniowy w kształcie rombu z opłotem.



Rysunek 54. Pneumatyczny mięsień od Festo

Operatory materiał, koszty, czas (MKZ)

Teoria operatorów MKZ (niem. *Material-Kosten-Zeit*) konfrontuje rozwiązujących problem z dwiema hipotetycznymi sytuacjami: „dowolnie dużo” lub „w ogóle nic”, odnośnie do:

- dostępnych materiałów, takich jak materiał surowy, tworzywo, części, energia itd.,
- dostępnego budżetu na materiały, technologie, urządzenia, personel itd.,
- dostępnego czasu na realizację funkcji, czynności, przemysłu itd.

Ten ekstremalny typ myślenia może prowadzić do rewolucyjnych pomysłów i rozwiązań.

Część 4: Operatory MKZ

- Wyobraź sobie, że masz
 - wszystkie pieniądze świata,
 - wszystkich ekspertów świata,
 - cały czas świata,
 - aby rozwiązać problem.
- Opisz swoje pomysły/rozwiązania.
- Wyobraź sobie, że nie masz
 - żadnych pieniędzy,
 - żadnych ekspertów / żadnej pomocy od innych,
 - żadnego czasu,
 - aby rozwiązać problem.
- Opisz swoje pomysły/rozwiązania.

Rysunek 55. Operatory MKZ [3]

Lista kontrolna innowacji (*Innovation Situation Questionnaire*)

Lista kontrolna innowacji (IC) lub *Innovative Situation Questionnaire* (ISQ) jest kwestionariuszem, który opracowywany systematycznie prowadzi do pełnej analizy aktualnej sytuacji i prawdopodobnie już w tym analitycznie opisanym procesie zapewni oryginalne pomysły.

Podstawowa struktura (nagłówki listy kontrolnej) formułowania problemu może wyglądać w następujący sposób:

- struktura systemu,
- pierwszorzędne przydatne funkcje systemu,
- sposób pracy systemu,
- dostępne zasoby,
- sytuacja problemowa, szkodliwa funkcja pierwszorzędna,
- mechanizm lub sposób działania błędu,
- historia problemu,
- granice zmiany systemu,
- kryteria wyboru koncepcji rozwiązania,
- spontaniczne pomysły,
- analogiczne problemy i pomysły,
- stan idealny.

Lista kontrolna zasobów

W liście kontrolnej ujęte są zasoby dostępne w systemie i jego otoczeniu (zasoby substancji, pola, informacji, czasu, przestrzeni, zasoby funkcjonalne) i ustalona ich przydatność. Dzięki pytaniu o użycie zasobów do rozwiązywania problemów, unikania szkodliwej funkcji lub spełnienia przydatnej funkcji znalezione zostanie podejście do rozwiązywania problemów.

Przykład

a) Zasoby substancji odpad materiały surowe i wyroby części systemu tańsza substancja obieg substancji właściwości substancji	d) Zasoby czasu praca wstępna praca w cyklu praca równoległa przeróbka
b) Zasoby w kształcie pola energia w systemie energia z otoczenia budowa na możliwych źródłach energii odpady z systemu stają się źródłem energii	e) Zasoby informacji informacje przekazywane przez samą substancję informacja jest cechą inherentną ruchoma informacja tymczasowa, ulotna informacja informacja o zmianie stanu
c) Zasoby przestrzeni wolna przestrzeń inny wymiar układ pionowy zagnieżdżenie	f) Zasoby funkcjonalne funkcja pierwszorzędna sama zapewnia zasoby wykorzystanie szkodliwej funkcji wykorzystanie funkcji drugorzędnej i pomocniczej

Rysunek 56. Lista kontrolna zasobów [2]

Antycypacyjne rozpoznawanie błędów

Z następujących pytań uzyskiwane są informacje o konflikcie technicznym:

- Co muszę zrobić, aby wyrób, proces, system doprowadzić do nieprawidłowego działania?
- Jakie czynności w rozwoju, produkcji, transporcie, u klienta, przez klienta prowadzą do nieprawidłowego działania systemu?

Opis	Czynność
Dostarczyć do klienta ciepłą i chrupiącą pizzę	Transport pizzy do klienta bez pudełka
	Transport pizzy w torbie termoizolacyjnej

Tabela 11. Antycypacyjne rozpoznawanie błędów [3]

Osiem praw ewolucji

Według Altschullera wzorce rozwoju systemów technicznych mogą zostać opisane tzw. krzywą S. Przedstawia ona poziom dojrzałości cyklu życia (dzieciństwo, dorastanie, dojrzałość, starość).

Innowacje, które mają miejsce w ramach krzywej S (wynalazki), mogą następować na 5 poziomach:

- Poziom 1: Rozwiązania konwencjonalne, które odwołują się do dostępnych technologii, na przykład zwiększenie stabilności – zwiększenie grubości ścianki.
- Poziom 2: Optymalizacja istniejących systemów dzięki małym ulepszeniom, na przykład ochrona przed zabrudzeniem – nakładka ochronna.
- Poziom 3: Znaczące usprawnienia dzięki aktualnie dostępnej technologii, na przykład łańcuch motocyklowy – wał Kardana.

Poziom 4: Wdrożenie nowej technologii, która dotychczas była stosowana, tylko w innym obszarze, na przykład efekt lotosu dla części ceramicznych – zastosowanie w lakierach samochodowych.

Poziom 5: Kompletnie nowy wynalazek technologiczny, na przykład techniczne zastosowanie efektu lotosu.

Metody TRIZ celują przy tym głównie w poziom 3–4 (sporadycznie 5).

Podstawą wynalazczości i doskonalenia są dwa podstawowe prawa rozwoju:

Prawo 1: Zwiększenie stopnia doskonałości systemu

Wszystkie systemy rozwijają się w kierunku rosnącej doskonałości. Doskonałość jest redukcją nakładów substancji, energii, przestrzeni, czasu i kosztów przy jednoczesnym doskonaleniu pożądaney funkcji. Kryje się za tym podstawowa idea, że celem rozwoju nie jest system techniczny, ale spełnienie funkcji. Idealny system spełnia swoją funkcję nawet bez własnej obecności.

Prawo 2: Niewyczerpalność rozwoju technicznego

Zasadniczo każdy system może być dalej udoskonalany. Zawsze opłaca się zastanowić nad udoskonaleniem.

Aby móc dokonywać wynalazków w kontekście tych dwóch praw, TRIZ oferuje dwa istotne narzędzia:

I. Osiem wzorców rozwoju ewolucji technicznej

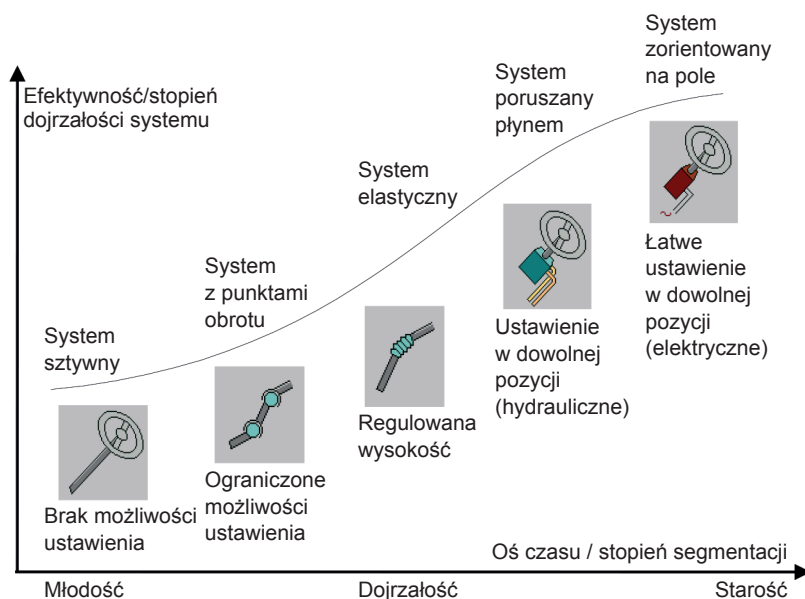
W obrębie krzywej S można w celu rozwoju systemu zaobserwować osiem wzorców rozwoju:

1. Rozbieżny rozwój części systemu

Systemy techniczne składają się z reguły z podsystemów, których rozwój przebiega indywidualnie. Różne podsystemy osiągają dlatego swój limit w różnym czasie. Komponent, który ostatni osiąga fazę dojrzałości, hamuje cały system i staje się słabym ogniwem. Kiedy dla przykładu silnik w systemie pojazdu jest już bardzo cichy, ale skrzynia biegów jeszcze nie, na skrzynię biegów musi być zastosowana izolacja akustyczna.

2. Ewolucja w kierunku większej dynamiki i sterowności

System podstawowy jest optymalizowany, słabe punkty są identyfikowane i eliminowane. Poziom dynamiki systemu jest zwiększany (przykład układ kierowniczy – patrz rysunek 57)



Rysunek 57. Rozwój w kierunku wyższej dynamiki lub sterowności [2]

3. Przebieg ewolucji najpierw poprzez skomplikowane, a później genialnie proste systemy

Ten przebieg rozwoju można wyjaśnić na przykładzie deski rozdzielczej pojazdu (wcześniej wiele pojedynczych urządzeń, dzisiaj projekcja indywidualnych wskazań na szybie czołowej lub na wyświetlaczach).

4. Wzrastająca integracja

Systemy otrzymują coraz więcej właściwości, które są integrowane w systemie. Przykładem w motoryzacji jest integracja funkcji w systemach wspomagających, od stabilizacji dynamiki jazdy aż do autonomicznego prowadzenia wzdłużnego i bocznego.

5. Ewolucja z odpowiednimi lub specjalnie nieodpowiednimi komponentami

Rozszerzenie właściwości systemu poprzez rozbudowę podstawowej funkcjonalności lub właściwości, które nie odpowiadają pierwotnej funkcji systemu. Jednym z przykładów jest rozszerzenie zaopatrzenia w paliwa na stacjach benzynowych o sprzedaż, począwszy od wyposażenia po prowiant na podróż.

6. Miniaturyzacja i zwiększone wykorzystanie pól

Systemy stają się coraz mniejsze, można to łatwo zaobserwować w przypadku telefonów komórkowych/smartfonów. Otrzymują one procesory mające moc obliczeniową, z której jeszcze w latach 90. korzystały komputery stacjonarne.

7. Wzrastająca segmentacja i separacja

Budowa systemów modularnych, które mogą być specjalnie łączone. Przykładowo notebooki, których złącza ze względu na miejsce i wagę można używać tylko ze specjalnymi adapterami.

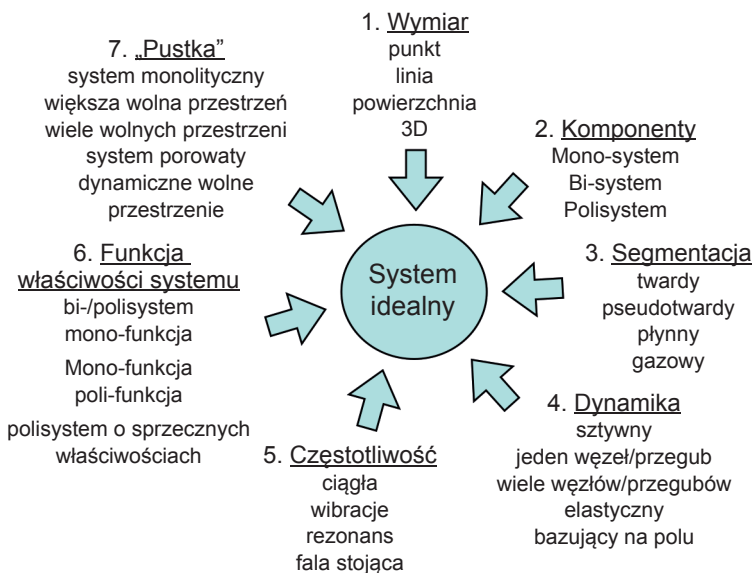
8. Ewolucja w kierunku zredukowanej interakcji ludzkiej

Obsługa przez człowieka nie jest więcej wymagana, ponieważ system sam się kontroluje. Przykładem jest czujnik deszczu, który w zależności od opadu steruje wycieraczkami.

II. Siedem trendów rozwojowych w drodze do idealnego systemu

System idealny to taki, który realizuje swoją funkcję bez swojej obecności. TRIZ wyróżnia siedem trendów rozwoju na drodze do stanu idealnego. Siedmioma trendami są (patrz rysunek 58):

1. Wymiar: od prostokątnego do dopasowanego kształtem zbiornika na paliwo,
2. Komponenty: od tworzenia pisma pisakiem do wielokolorowych wkładów do drukarki,
3. Segmentacja: od łożysk kulowych do łożysk magnetycznych,
4. Dynamika: od drzwi wahadłowych do kurtyny powietrznej,
5. Częstotliwość: od stałe ssącego odkurzacza do rezonatora akustycznego (ang. *resonance beater*),
6. Funkcja: od tabliczki czekolady do jajka niespodzianki,
7. „Pustka”: od odlewu aluminium do pianki magnezowej.



Rysunek 58. Trendy rozwojowe w drodze do idealnego systemu [2]

Trimming

Na zakończenie modelowania obiektowego następuje tak zwany trimming, to znaczy optymalizacja dzięki znalezieniu potencjałów doskonalenia w dostępnym modelu w ujęciu analizy wartości. Celem jest rozszerzenie/poprawa pożytecznych funkcji i uniknięcie/obejście/eliminacja funkcji szkodliwych w systemie dzięki odrzuceniu lub modyfikacji problematycznych komponentów (obiektu), a przez to znaczne i sprawdzalne polepszenie systemu.

Trzy wielkości rang opisują przebieg optymalizacji:

- Ranga funkcji: podaje, jak blisko od przydatnego wyrobu leży obiekt: obiekty, które są bezpośrednio związane z wyrobem, mają wyższą rangę funkcji niż obiekty, które tylko pośrednio (przez więcej stopni pośrednich) mają styczność z wyrobem.
- Ranga problemu: reprezentuje liczbę szkodliwych interakcji, które są powiązane z obiektem.
- Ranga kosztów: dokumentuje, jak drogi jest obiekt.

W ten sposób określa się współczynnik trimmingu, czyli priorytet, z którym komponent powinien zostać poddany trimmingowi, to znaczy poprawiony, zmodyfikowany, wyeliminowany:

$$\text{Współczynnik trimmingu} = \frac{\text{Ranga funkcji} \times \text{Ranga funkcji}}{\text{Ranga problemu} + \text{Ranga kosztów}}$$

Współczynnik trimmingu podaje, dla którego obiektu trimming jest najprawdopodobniej konieczny (najwyższa ranga = 1).

Rozpatrywane wielkości rang (ranga funkcji, problemu, kosztów) są unormowane na relatywnej skali od 1 do 10, aby były porównywalne między sobą, i zostały podsumowane w tabeli 12.

Drugi krok trimmingu bazuje na czterech pytaniach standardowych:

1. Czy inny obiekt (1) może przejąć funkcję/zadanie?
Jeżeli tak, który?
2. Czy obiekt (2) w funkcji, na który oddziałuje funkcja/zadanie, może sam realizować funkcję/zadanie?
3. Czy obiekt (2) w funkcji może zostać wyeliminowany?
4. Czy można zrezygnować z funkcji/zadania?

Tymi pytaniami trimming systematycznie zachęca w rozwiązywaniu problemów lub wynalazczości do przemyślenia usunięcia elementów systemu i dojścia do nowych, poprawionych rozwiązań.

Ocena (ranga)	Funkcjonalność F	Szkodliwy wpływ Problem P	Koszty K
1	niezwykle przydatna, niezbędna	absolutnie szkodliwy/absolutnie niepożądany (PSF)	bezcenny
2	wysoce przydatna	niezwykle szkodliwy/niezwykle niepożądany	ekstremalnie drogi
3	bardzo przydatna	wysoce szkodliwy/wysoce niepożądany	bardzo drogi
4	przydatna	bardzo szkodliwy/bardzo niepożądany	znacznie drogi
5	trochę przydatna, użyteczna	szkodliwy/niepożądany	odrobinę drogi
6	umiarkowanie przydatna	lekko szkodliwy/trochę niepożądany	drogi
7	marginalnie przydatna	mało szkodliwy/bardzo niemile widziany	nie taki drogi
8	mało przydatna	szkodliwy, niekorzystny/niepożądany	tani, niedrogi
9	bardzo mało przydatna	nie jest znacząco szkodliwy/prawie bez skutku	bardzo tani
10	w ogóle nieprzydatna, obojętna	nieszkodliwe, nieskuteczne, obojętne	bezkonkurencyjnie tani

Tabela 12. Katalog oceny rang dla procesu trimmingu

Przykładem procesu trimmingu jest rozwój wskazań na tablicy rozdzielczej pojazdu. Wychodząc od wielu pojedynczych urządzeń wskazujących, użyto mniej zestawów wskaźników. Kolejnym krokiem był pojedynczy wielofunkcyjny wskaźnik, do którego wystarczy jeden ekran. Ostatnim krokiem jest projekcja informacji bezpośrednio na szybie czołowej bezpośrednio w obszarze pola widzenia kierowcy (*head-up display*).

7.4 Wdrożenie

Oprogramowanie TRIZ

Sprzeczność „silne narzędzia TRIZ są pracochłonne w nauczaniu i ich stosowaniu” daje się rozwiązać w sposób TRIZ dzięki zastosowaniu oprogramowania. Pomimo że w dalszym ciągu nie ma wynalazczości jak za przyciśnięciem guzika, oprogramowanie TRIZ może znacznie przyspieszyć przebieg innowacji i zwiększyć jakość rozwiązań. Jego zastosowanie wymaga minimalnej znajomości TRIZ i pomaga dzięki różnym narzędziom TRIZ oraz przykładom w analizie i rozwiązywaniu problemu.

Skuteczne stosowanie oprogramowania

Różne komponenty TRIZ należy stosować rozsądnie w zależności od stopnia trudności zadania. Praktyka pokazuje także, że możliwe do udowodnienia wyniki są osiąmane dopiero wtedy, kiedy użytkownik opanuje przynajmniej 10 do 15% całego potencjału TRIZ, bez konieczności sprawdzania w podręczniku.

Wykwalifikowane użycie zorientowanych na sprzeczności metod myślowych i różnych narzędzi TRIZ przy wsparciu oprogramowania umożliwia szybkie rozwiązywanie problemów i opracowanie nowych przełomowych wyników.

Potencjał sukcesu TRIZ i CAI

Na korzyści i przyszłościowy potencjał TRIZ i CAI (*Computer-Aided Innovation* lub „wspomagane komputerowo zarządzanie innowacjami”) należy spojrzeć z technicznego i psychologicznego punktu widzenia.

Aspekty techniczne:

- Redukcja ryzyk rozwojowych i ograniczenie kosztów rozwoju poprzez szybsze i efektywniejsze rozwiązywanie problemów i innowacje, przez to, że konsekwentnie zrezygnuje się z tradycyjnej metody prób i błędów.
- Prognozowanie kierunków rozwoju systemów technicznych, utworzenie parasolów patentowych, odkrycie niezajętych jeszcze nisz produktowych.
- Zapewnienie jakości i optymalizacja wyrobu dzięki ukierunkowanemu szukaniu wybitnych rozwiązań alternatywnych i zastosowanie antycypacyjnego rozpoznawania błędów.
- Generowanie pomysłów w prawie beznadziejnych sytuacjach, gdzie praktycznie wszystkie możliwe drogi wydają się zamknięte przez konkurencyjne patenty.
- Optymalne wykorzystanie zasobów systemowych: np. usunięcie negatywnego efektu w gotowej maszynie przy tylko minimalnej zmianie systemu technicznego.
- Możliwości integracji z DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), QFD (*Quality Function Deployment*), DoE (*Design of Experiments*), Taguchi (solidny projekt) i innymi metodami.

Aspekty psychologiczne:

- Promuje kreatywność i ducha innowacji wśród inżynierów oraz w zespole projektowym.
- Tłumi ospałość myślową i tak zwaną ślepotę operacyjną.
- Wspiera systematyczne myślenie i wolę poszukiwania nietrywialnych rozwiązań poza własnym obszarem wiedzy.
- Poprawia pracę zespołową: wynalazek staje się kontrolowanym procesem, a nie aktem czystej inspiracji.

Z TRIZ nie jest możliwa realizacja wynalazków jak za naciśnięciem guzika. Nie można zagwarantować, że każdy „twardy orzech” zostanie rozgryziony z użyciem narzędzia TRIZ. Technologia wynalazczości daje jednak do ręki sprawdzone i przekonujące postępowanie, możliwość dojścia jak najbliżej do źródła problemu, i udostępnia interdyscyplinarną wiedzę inżynierską z niemalże wszystkich obszarów technologii i nauki.

7.5 Wdrożenie TRIZ i CAI w przedsiębiorstwie

Od strony praktycznej osoby bez wstępnej znajomości TRIZ i CAI stoją przed dwiema przeszkodami: techniczną i psychologiczną. W tym miejscu szczególnie pomocna wydaje się analogia do wdrożenia CAD do praktyki konstrukcyjnej.

Po pierwsze: nowoczesne stacje robocze CAD nie pomagają, jeżeli użytkownik nie jest zaznajomiony z teorią konstrukcji. To samo tyczy się CAI (*Computer-Aided Innovation*), które powinno zacząć się nie na PC, ale studiowaniem podstaw TRIZ i ćwiczeniem nowych technik pracy.

Po drugie: TRIZ wymaga od użytkownika przy rozwiązywaniu problemów technicznej niekonwencjonalnej, zorientowanej na sprzeczności techniki myślenia i konsekwentnego zrezygnowania z metody prób i błędów.

Nie jest łatwa zmiana sposobu myślenia osób z konstrukcji i rozwoju wyrobu, zakorzenionego przez lata, tak jak na przykład zmiana od deski kreślarskiej do urządzenia CAD.

Doświadczenia w przemyśle

Doświadczenie wielu użytkowników TRIZ potwierdza, że TRIZ (nie bez powodu zwana „teorią wynalazku”) jest zbyt obszerna, aby ją skutecznie wprowadzać własnymi siłami równoległe do codziennych obowiązków.

Systematyczne wsparcie specjalistów tej metody umożliwia skuteczną i zorientowaną na wyniki integrację procesów przedsiębiorstwa i technik roboczych TRIZ z jej bazami pomysłów. W zależności od potrzeb wiedza TRIZ przekazywana jest na praktycznych szkoleniach i wdrażana przez moderację projektów pilotażowych rozwiązujących bieżące zadania.

Trening wewnątrz przedsiębiorstwa

Życzenie wyposażenia własnego kierownictwa i zespołów rozwojowych w techniki systematycznego i wynalazczego rozwiązywania problemów stoi często w konflikcie z wysokim obciążeniem pracą i ogólnym brakiem czasu w codziennej pracy. Wieloetapowy wewnętrzny program treningowy pomaga przezwyciężyć tę sprzeczność. Przedsiębiorstwa otrzymują dzięki temu

- możliwość wykształcenia specjalistów TRIZ poprzez udział na wszystkich poziomach nauki, jak i
- możliwość kwalifikacji większej liczby pracowników na różnych poziomach dzięki zasadzie rotacji.

Treść, liczba i czas trwania poziomów dopasowane są do wewnętrznych potrzeb przedsiębiorstwa. Cały cykl kształcenia może tym samym w zależności od zasobów czasu zająć od 2 do 12 miesięcy.

Struktura wiedzy TRIZ

Nabycie wiedzy TRIZ i doświadczenia to bynajmniej nie kwestia kilku godzin. Rysunek 59 przedstawia zalecaną strukturę piramidy wiedzy TRIZ w przedsiębiorstwie. Dolne poziomy, jak np. myślenie zorientowane na sprzeczności lub zasady innowacyjności, powinny być maksymalnie rozpowszechnione na wszystkich poziomach przedsiębiorstwa. Natomiast zastosowanie specjalnych narzędzi TRIZ jest zadaniem wewnętrznych specjalistów metody. Tutaj przydaje się wybranie drogi od prostych do kompleksowych narzędzi.



Rysunek 59. Struktura wiedzy TRIZ w przedsiębiorstwie

7.6 Załącznik do TRIZ

39 parametrów technicznych, które opisują sprzeczność

1	Ciężar obiektu ruchomego	20	Nakłady energii przy nieruchomym obiekcie
2	Ciężar obiektu nieruchomego	21	Moc
3	Długość obiektu ruchomego	22	Straty energii
4	Długość obiektu nieruchomego	23	Straty substancji
5	Powierzchnia obiektu ruchomego	24	Straty informacji
6	Powierzchnia obiektu nieruchomego	25	Straty czasu
7	Objętość obiektu ruchomego	26	Ilość substancji
8	Objętość obiektu nieruchomego	27	Niezawodność
9	Prędkość	28	Dokładność pomiaru
10	Siła	29	Dokładność wytwarzania
11	Naprężenie, ciśnienie	30	Szkodliwe czynniki działające na obiekt
12	Kształt	31	Szkodliwe czynniki samego obiektu
13	Stabilność obiektu	32	Łatwość wytwarzania
14	Wytrzymałość	33	Łatwość eksploatacji
15	Czas działania obiektu ruchomego	34	Łatwość naprawy
16	Czas działania obiektu nieruchomego	35	Łatwość adaptacji
17	Temperatura	36	Złożoność struktury
18	Jasność	37	Złożoność kontroli i sterowania
19	Nakłady energii na ruch obiektu	38	Stopień automatyzacji
		39	Wydajność

Tabela 13. 39 parametrów technicznych opisujących sprzeczność

Lista 40 zasad innowacyjności

1 Rozdrobnienie	15 Dynamizacja	28 Zastąpienie mechaniki
2 Wyodrębnienie	16 Działanie częściowe lub nadmierne	29 Pneumatyka lub hydraulika
3 Miejscowa jakość	17 Wyższy wymiar	30 Elastyczne powłoki lub błony
4 Asymetria	18 Wibracje mechaniczne	31 Materiały porowate
5 Scalenie	19 Działanie okresowe	32 Zmiana zabarwienia
6 Uniwersalność	20 Ciągłość	33 Homogeniczność
7 Przeplatanie	21 Przeskok	34 Odrzucanie i regeneracja
8 Przeciwwaga	22 Obrócenie szkody w korzyść	35 Zmiana właściwości
9 Wstępne przeciwdziałanie	23 Sprzężenie zwrotne	36 Przejścia fazowe
10 Wstępne działanie	24 Mediator, pośrednik	37 Rozszerzalność termiczna
11 Działania zapobiegawcze	25 Samoobsługa	38 Silne utleniacze
12 Ekwipotencjalność	26 Kopiowanie	39 Środowisko inercyjne/obojętne
13 Na odwrót	27 Tania, krótka żywotność	40 Materiał kompozytowy
14 Krzywizna		

Tabela 14. 40 zasad innowacyjności [3]

Zasada 1: Rozdrobnienie

- Podzielić obiekt na części niezależne od siebie.
- Zaprojektować obiekt łatwy do złożenia/rozłożenia.
- Zwiększyć stopień rozdrobnienia obiektu.

Zasada 2: Wyodrębnienie

- Usunąć lub oddzielić przeszkadzającą część obiektu
- Wyodrębnić tylko niezbędną część lub właściwość obiektu

Zasada 3: Miejscowa jakość

- Przejście z jednolitej struktury obiektu lub środowiska zewnętrznego na strukturę niejednorodną.
- Różne części systemu powinny spełniać różne funkcje.
- Każda część systemu powinna funkcjonować w najdogodniejszych dla siebie warunkach.

Zasada 4: Asymetria

- Zamienić symetryczny kształt na niesymetryczny.
- Jeżeli obiekt już jest asymetryczny, zwiększyć stopień asymetrii.

Zasada 5: Scalenie

- Połączyć ze sobą obiekty podobne lub wykonujące zbliżone operacje.
- Zsynchronizować ze sobą obiekty podobne lub wykonujące zbliżone operacje, tzn. połączyć w czasie.

Zasada 6: Uniwersalność

- System spełnia wiele różnych funkcji, dzięki czemu inne systemy lub obiekty są zbędne.

Zasada 7: Zagnieżdżenie (jedno w drugim, matryoszka – przyp. tłum.)

- Obiekt znajduje się we wnętrzu innego obiektu, który również znajduje się we wnętrzu trzeciego obiektu.
- Obiekt pasuje do innego obiektu lub może przejść przez pustą przestrzeń innego obiektu.

Zasada 8: Przeciwwaga

- Aby zrównoważyć wagę obiektu, należy połączyć go z innym obiektem zapewniającym udźwig.
- Waga obiektu może zostać zrównoważona dzięki siłom aerodynamicznym lub hydraulicznym.

Zasada 9: Wstępne przeciwdziałanie

- Przed wykonaniem działania należy wykonać wymagane działanie przeciwne.
- Jeżeli obiekt musi być naprężony, należy go wcześniej rozprężyć.

Zasada 10: Wstępne działanie

- Przeprowadź działanie z góry – częściowo lub całkowicie.
- Rozmieść obiekty tak, aby mogły pracować bez straty czasu z najbardziej dogodnego miejsca.

Zasada 11: Działania zapobiegawcze

- Zrównoważenie słabej niezawodności systemu dzięki podjętym wcześniej działaniom zapobiegawczym.

Zasada 12: Ekwipotencjalność

- Zmienić warunki w taki sposób, aby obiekt mógł pracować ze stałą energią potencjalną, przykładowo aby nie było potrzeby jego podnoszenia lub opuszczania.

Zasada 13: Na odwrót

- Wykonać działanie dokładnie odwrotne zamiast zdefiniowanego w specyfikacji działania.
- Uruchomić dotychczas nieruchomy obiekt lub unieruchomić ruchomy.
- Postawić system „do góry nogami”, wywrócić go.

Zasada 14: Krzywizna

- Zamienić liniowe części lub płaskie powierzchnie na wygięte, struktury sześciennie na sferyczne.
- Zastosować walce, kule, spirale.
- Zamienić ruch liniowy na obrotowy, wykorzystać siłę odśrodkową.

Zasada 15: Dynamizacja

- Zaprojektować system lub jego środowisko tak, aby automatycznie we wszystkich warunkach pracy zapewnić optymalne działanie.

- Podzielić system na części, które potrafią się ze sobą optymalnie układać.
- Zamienić nieruchomy obiekt na ruchomy, regulowany lub wymienny.

Zasada 16: Działanie częściowe lub nadmierne

- Jeżeli trudno jest osiągnąć 100% funkcji, zrealizować odrobinę mniej lub odrobinę więcej, aby znacznie uprościć problem.

Zasada 17: Wyższy wymiar

- Obejść trudności w poruszaniu się obiektu wzdłuż linii poprzez ruch dwuwymiarowy (w jednej płaszczyźnie). Analogicznie uproszczony będzie problem poruszania się w jednej płaszczyźnie dzięki przejściu na trzeci wymiar.
- Zamiast na jednym, ułożyć obiekt na wielu poziomach.
- Przechylić obiekt lub przewrócić go na bok.
- Wykorzystać projekcję (strumienie światła – przyp. tłum.) w sąsiedztwie lub na odwrotnej stronie obiektu.

Zasada 18: Wibracje mechaniczne

- Wprawić obiekt w drgania.
- Zwiększyć częstotliwość oscylującego już obiektu.
- Wykorzystać częstotliwość(-ści) rezonansową(-we).
- Zamiast wibracji mechanicznych wykorzystać piezoelektryki.
- Wykorzystać połączenie ultradźwięków i pola elektromagnetycznego.

Zasada 19: Działanie okresowe

- Przejść z ciągłego na okresowe działanie.
- Jeżeli działanie już jest okresowe, zmienić jego częstotliwość.

- Wykorzystać przerwy pomiędzy poszczególnymi impulsami, aby wprowadzić inne działanie.

Zasada 20: Ciągłość

- Nieprzerwanie wykonywać dane działanie; wszystkie części powinny pracować ciągle w równomiernym obciążeniu.
- Wyeliminować działania jałowe i przerwy.

Zasada 21: Przeskok (pominięcie – przyp. tłum.)

- Wykonywać szkodliwe lub niebezpieczne działania z bardzo dużą prędkością.

Zasada 22: Obrócenie szkody w korzyść

- Wykorzystać pozytywnie szkodliwe czynniki lub efekty – zwłaszcza z otoczenia.
- Wyeliminować szkodliwy czynnik poprzez dodanie do innego szkodliwego czynnika.
- Wzmocnić szkodliwy czynnik do takiego stopnia, że nie będzie już dłużej szkodliwy.

Zasada 23: Sprzężenie zwrotne

- Wprowadzić sprzężenie zwrotne.
- Jeżeli sprzężenie jest już zastosowane, zmień je lub odwróć.

Zasada 24: Mediator, pośrednik

- Wykorzystać obiekt pośredni, aby przekazać lub przeprowadzić działanie.
- Połączyć czasowo system z innym, dającym się łatwo rozłączyć obiektem.

Zasada 25: Samoobsługa

- Obiekt powinien obsługiwać sam siebie, wykonując samodzielnie funkcje pomocnicze i naprawcze.
- Należy wykorzystać odpady i straty energii.

Zasada 26: Kopiowanie

- Wykorzystać tańszą, prostszą kopię zamiast kompleksowego, drogiego, delikatnego lub trudnego w obsłudze obiektu.
- Zastąpić system lub obiekt kopią optyczną lub ilustracją. W tym miejscu można zmienić skalę (pomniejszyć, powiększyć).
- Jeżeli zastosowano już kopie optyczne, przejść do obrazów w podczerwieni lub ultrafiolecie.

Zasada 27: Tania, krótka żywotność

- Zastąpić drogi system asortymentem tanich części, rezygnując z pewnych właściwości (na przykład z długowieczności).

Zasada 28: Zastąpienie mechaniki

- Zastąpić system mechaniczny optycznym, akustycznym lub opartym na zapachu.
- Wykorzystać pole elektryczne, magnetyczne lub elektromagnetyczne.
- Zastąpić pole: statyczne dynamicznym, stałe cyklicznym, nieustrukturyzowane ustrukturyzowanym.
- Wykorzystać pola w połączeniu z cząsteczkami ferromagnetycznymi.

Zasada 29: Pneumatyka lub hydraulika

- Zastąpić zwarte, ciężkie części systemu gazowymi lub płynnymi. Wykorzystać wodę lub powietrze do nadmuchiwania, poduszki powietrzne, elementy hydrostatyczne.

Zasada 30: Elastyczne powłoki lub błony

- Zastąpić zwykłe konstrukcje elastycznymi powłokami lub cienkimi błonami.
- Oddzielić obiekt od zewnętrznego środowiska, stosując cienkie błony lub membrany.

Zasada 31: Materiały porowate

- Sprawić, aby obiekt był porowaty, lub dodać do niego porowate materiały (wkładki, powłoki itp.).
- Jeżeli obiekt jest już porowaty, wypełnij wcześniej pory pożyteczną substancją.

Zasada 32: Zmiana zabarwienia

- Zmienić kolor obiektu lub jego otoczenia.
- Zmienić stopień przejrzystości obiektu lub jego otoczenia.
- Wykorzystać do obserwacji słabo widzialnych obiektów lub procesów odpowiednich dodatków barwiących.
- Jeżeli takie dodatki już są stosowane, należy użyć luminoforów, substancji luminescencyjnych lub w inny sposób oznaczonych substancji.

Zasada 33: Homogeniczność

- Wytwarzać oddziaływujące obiekty z tego samego lub podobnego materiału.

Zasada 34: Odrzucanie i regeneracja

- Wyeliminować lub odrzucić (odłożyć, rozpuścić się, wyparować) te części systemu, które spełniły już swoją funkcję lub stały się nieużyteczne.
- Zużywające się części systemu powinny się regenerować natychmiast podczas pracy.

Zasada 35: Zmiana właściwości

- Zmienić stan skupienia obiektu: stały, płynny, gazowy, ale także quasi-płynny, lub inne właściwości takie jak stężenie, gęstość, elastyczność, temperatura.

Zasada 36: Przejścia fazowe

- Wykorzystać zjawiska zachodzące podczas przejść fazowych: zmiany objętości, wydzielanie lub pochłanianie ciepła.

Zasada 37: Rozszerzalność termiczna

- Wykorzystać termiczne rozszerzanie lub kurczenie się materiałów.
- Wykorzystać materiały o różnych współczynnikach rozszerzalności termicznej.

Zasada 38: Silne utleniacze

- Zastąpić zwykłe powietrze wzbogaconym w tlen.
- Zastąpić wzbogacone powietrze czystym tlenem.
- Wystawić powietrze lub tlen na promieniowanie jonizujące.
- Wykorzystać ozon.

Zasada 39: Medium obojętne

- Zastąpić zwykłe środowisko obojętnym.
- Przeprowadzić proces w próżni.

Zasada 40: Materiał kompozytowy

- Zastąpić materiały jednorodne kompozytowymi.

TRIZ – 76 standardowych rozwiązań analizy substancja-pole

Według prof. dr. A. Macka TRIZ – 76 Standardlösungen der Stoff-Feld-Analyse nach Altschuller

(Nomenklatura: SFA = Stoff-Feld-Analyse; SFM = Stoff-Feld-Modell)

- 1 Budowa i rozkład pełnego modelu substancja-pole
- 1.1 Budowa SFM
- 1.1.1 Uzupełnij niekompletne SFM

Abby powietrze lub wodę (S_1) oddzielić od cząstek stałych (S_2), należy odwirować (F , siła odśrodkowa).
- 1.1.2 Uzupełnij dodatkami do wewnątrz, jeśli to możliwe

Małe krople płynu są możliwe do łatwego wykrycia poprzez dodanie barwnika fluorescencyjnego.
- 1.1.3 Uzupełnij dodatkami na zewnątrz, jeśli to możliwe

Detekcja wycieku gazu dzięki rozpyleniu mydła w sprayu na zewnątrz rury.
- 1.1.4 Wykorzystaj zasoby do uzupełnienia
- 1.1.5 Generuj więcej zasobów dzięki zmianie otoczenia systemu
- 1.1.6 Wykorzystaj nadmiarowe działania, aby uzupełnić i wyeliminować nadwyżkę
- 1.1.7 Jeżeli nadmiarowe działanie jest szkodliwe, spróbuj przekierować je na inny komponent systemu
- 1.1.8 Wprowadź dla kompensacji lokalnie ochronne substancje

Szklane ampułki są chłodzone od dołu w kąpeli wodnej podczas roztopiania, aby zapobiec przegrzaniu wrażliwej termicznie zawartości.

- 1.2 Rozkład SFM
 - 1.2.1 Wyeliminuj szkodliwe interakcje dzięki wprowadzeniu trzeciej substancji S_3
 - 1.2.2 Wyeliminuj szkodliwe interakcje dzięki wprowadzeniu trzeciej substancji S_3 , przy czym S_3 może być modyfikacją obydwu substancji S_1 i/lub S_2

Powierzchniowego niszczenia kadłubów szybkich łodzi poprzez kawitację wody można uniknąć dzięki ochłodzeniu kadłuba i utworzenie warstwy lodu.
 - 1.2.3 Skieruj szkodliwy skutek na mniej ważną substancję S_3

Ścianki pojemnika (S_1), schłodzonego w wodzie (S_2), wykłada się elastycznym materiałem (S_3), aby powstrzymać rozszerzalność cieplną (F , siła) i wykluczyć uszkodzenie ścianek pojemnika.
 - 1.2.4 Wprowadź nowe pole w celu kompensacji szkodliwego efektu

W celu zapylenia kwiatów używa się strumienia powietrza, które skutkuje także niestety zamykaniem kwiatostanu. Negatywny efekt można wyeliminować dzięki elektrostatycznemu naładowaniu kwiatów, dzięki czemu pozostają otwarte.
 - 1.2.5 Wykorzystaj możliwość włączania i wyłączania pól magnetycznych
- 2 Ulepszenie SFM
 - 2.1 Przejście do bardziej złożonego SFM
 - 2.1.1 Powiązanie wielu SFM

Zasada Hilti, napęd uderza w ciężkie dłuto pośrednie, to uderza w rzeczywiste dłuto, a to uderza w przedmiot, który ma zostać zmiażdżony (przeniesienie impulsu i wzmocnienie na wielu poziomach).

- 2.1.2 Sparuj SFM
- 2.2 Dalszy rozwój SFM
 - 2.2.1 Wprowadź lepiej kontrolowalne pola
 - 2.2.2 Fragmentuj S2

Nóż >> nóż z ząbkami >> ostrzenie laserowe >> celowo szorstkie ostrze
 - 2.2.3 Wprowadź kapilarne lub porowate substancje

Wiele małych dysz dozuje klej precyzyjniej niż jeden duży otwór.
 - 2.2.4 Zwiększ stopień dynamiki

Podziel skrzydło drzwiowe na więcej elastycznie połączonych segmentów, brama rolowana, roleta.
 - 2.2.5 Ustrukturyzuj pola
 - 2.2.6 Ustrukturyzuj substancje
- 2.3 Koordynacja rytmu
 - 2.3.1 Wprowadź rytm (częstotliwość) oddziałującego pola w zgodność (lub celową niezgodność) z jedną z dwóch substancji

Podczas masażu dąży się do doprowadzenia zgodności rytmu zewnętrznego oddziaływania z pulsem pacjenta. Celowa asymetria w skrzyniach biegów zapobiega głośnemu hałasowi, względnie własnemu rezonansowi.
 - 2.3.2 Synchronizuj rytm, częstotliwość pól
 - 2.3.3 Doprowadź niezależne działania w związek rytmiczny

Wykorzystaj przerwy w przebiegu przydatnej funkcji, aby wykonać inną funkcję.

- 2.4 Kompleksowo ulepszone SFM
- 2.4.1 Wykorzystaj substancje ferromagnetyczne i pola magnetyczne
- 2.4.2 Wykorzystaj ferromagnetyczne cząstki, granulaty, proszki
Kontakt magnetyczny i kontaktronowy.
- 2.4.3 Wykorzystaj ferromagnetyczne płyny
- 2.4.4 Wykorzystaj struktury kapilarne w połączeniu z ferromagnetyzmem
- 2.4.5 Wykorzystaj złożone ferromagnetyczne SFM, np. zewnętrzne pola magnetyczne, dodatki ferromagnetyczne itp.
- 2.4.6 Popraw kontrolowalność systemów ferromagnetycznych dzięki wykorzystaniu efektu bazy danych
- 2.4.7 Zwiększ poziom dynamiki w złożonym SFM
- 2.4.8 Ustrukturyzuj i podziel pola i substancje w złożonym SFM
- 2.4.9 Popraw kontrolowalność systemów ferromagnetycznych dzięki wykorzystaniu efektu bazy danych
- 3 Przejście w super- i podsystem (poziom makro i mikro)
- 3.1 Przejście do bi- i polisystemów
- 3.1.1 Połącz systemy w bi- i polisystemy
Aby obrobić krawędzie płyty szkła, łączy się wiele płyt tymczasowo w stabilny stos.
- 3.1.2 Stwórz lub pogłęb połączenie pomiędzy pojedynczymi elementami w bi- i polisystemach
- 3.1.3 Popraw wydajność bi- i polisystemów dzięki powiększeniu różnic poszczególnych komponentów

Oznaczenie kolorystyczne podobnych części w procesie montażu, aby uniknąć pomyłek.

- 3.1.4 Uprość bi- i polisystemy dzięki eliminacji nadmiarowych, zbędnych lub podobnych funkcji

Jeden LED, który może świecić w 2 lub 3 kolorach

- 3.1.5 Popraw wydajność bi- i polisystemów poprzez rozdzielenie utrudniających lub szkodliwych skutków na różne komponenty

- 3.2 Przejście do mikrosystemów

- 3.2.1 Miniaturyzuj komponenty lub całe systemy

- 4 Wykrywanie i pomiar

- 4.1 Metody pośrednie

- 4.1.1 Obejdz wykrywanie i pomiar

W celu ochrony silnika elektrycznego przed przegrzaniem czujnik temperatury musi mierzyć temperaturę i zainicjować działanie. Jeśli bieguny silnika są wykonane ze stopu z punktem Curie, w dokładnej temperaturze, w której zaczyna się przegrzewanie, silnik sam się zatrzyma.

- 4.1.2 Wykonaj wykrywanie i pomiar na kopii

Mierzenie długości węży jest niebezpieczne. Lepszy jest pomiar na podstawie zgodnego ze skalą zdjęcia węża.

- 4.1.3 Zamień pomiar na dwa następujące po sobie procesy wykrywania

Aby zmierzyć temperaturę, można użyć substancji termochromatycznych, które w zależności od temperatury mają inny kolor.

- 4.2 Budowa pomiarowego SFM

- 4.2.1 Wykryj lub zmierz przy użyciu dodatkowego pola

W celu wykrycia gotowania wody przepływa przez nią prąd elektryczny. Na początku wrzenia z powodu tworzenia się pęcherzyków pary rośnie znacznie opór elektryczny.

4.2.2 Wprowadź łatwo wykrywalne/mierzalne dodatki, substancje

W celu wykrycia wycieku w obwodzie chłodzenia chłodziarki dodaje się do środka chłodzącego barwnika luminescencyjnego.

4.3 Ulepszenie systemów pomiarowych

4.3.1 Wykorzystaj efekt bazy danych w celu poprawy systemów pomiarowych

4.3.2 Wykorzystaj fenomen rezonansu w pomiarze

Aby ustalić masę ciała w zamkniętym pojemniku, wprowadza się mechaniczne drgania, których częstotliwość zależy od masy (efekt Coriolisa).

4.3.3 Wykorzystaj fenomen rezonansu połączonych obiektów do pomiaru pośredniego

4.4 Przejście do systemów ferromagnetycznych

4.4.1 Wprowadź substancje ferromagnetyczne i pola magnetyczne

4.4.2 Zastąp substancje substancjami ferromagnetycznymi i wykrywaj lub mierz przez pole magnetyczne

4.4.3 Twórz złożone, powiązane SFM z częściami ferromagnetycznymi

4.4.4 Wprowadź substancje ferromagnetyczne do otoczenia systemu

4.4.5 Wykorzystaj efekt bazy danych (punkt Curie, efekt Hopkina i Barkhausena, efekty magnetoelastyczne itp.)

4.5 Ewolucja w wykrywaniu i pomiarze

4.5.1 Twórz bi- i polisytemy

- 4.5.2 Wykrywaj i mierz (matematycznie) pochodną lub całkę zamiast pierwotnej funkcji
- 5 Metody pomocnicze przy zastosowaniu standardów
 - 5.1 Wprowadzenie substancji
 - 5.1.1 Metody pośrednie

Wprowadź puste przestrzenie, ubytki jako substancję, wykorzystaj wysoko aktywne dodatki w małych ilościach lub tylko lokalnie, wytwarzaj wymaganą substancję dopiero w razie potrzeby (na miejscu, np. poprzez elektrolizę, katalizę itp.).
 - 5.1.2 Podziel substancję, wykorzystaj fragmenty
 - 5.1.3 Wykorzystaj ograniczenia własne substancji

Wprowadzona czasowo substancja rozkłada się po udanym działaniu lub ulega rozkładowi chemicznemu.
 - 5.1.4 Wykorzystaj substancję w nadmiarze

Stosując pianki, można uwzględnić zarówno wymagania dotyczące małej masy, jak i dużej ilości substancji (objętości) (pusta przestrzeń w nadmiarze).
 - 5.2 Wprowadzenie pól
 - 5.2.1 Wykorzystaj jako zasoby wszystkie dostępne pola
 - 5.2.2 Wykorzystaj pola z otoczenia systemu
 - 5.2.3 Wykorzystaj substancje wytwarzające pole

Substancje magnetyczne.
 - 5.3 Przejścia fazowe
 - 5.3.1 Zmień stan fizyczny lub fazę substancji
 - 5.3.2 Wykorzystaj dwa stany fizyczne lub fazy substancji

Woda i lód ustalają wspólnie temperaturę na 0° Celsjusza.

- 5.3.3 Wykorzystaj efekty fizyczne towarzyszące przejściu fazowemu
Użyj niskiej temperatury podczas odparowywania do chłodzenia.
- 5.3.4 Wykorzystaj efekt wynikający z jednoczesnego występowania dwóch faz
- 5.3.5 Popraw interakcję pomiędzy dwoma fazami
- 5.4 Zastosowanie efektu bazy danych
- 5.4.1 Wykorzystaj samokierowane odwracalne przekształcenia fizyczne
Przejścia fazowe, dysocjacja – asocjacja, jonizacja i rekombinacja.
- 5.4.2 Wykorzystaj efekty magazynowania i wzmacniania.
Katalizator, enzymy.
- 5.5 Częsteczki substancji
- 5.5.1 Twórz cząsteczki substancji (np. jony), wykorzystując rozkład wyżej zorganizowanej substancji
Molekuły.
- 5.5.2 Twórz cząsteczki substancji (np. jony) wykorzystując kombinacje niżej zorganizowanych substancji
Cząsteczki elementarne.
- 5.5.3 Zastosuj podczas rozkładu lub kombinacji cząsteczek substancji substancję o podobnym stopniu podziału (rób małe kroki)
Proszek zamiast ciała stałego.

Aktualna matryca sprzeczności dostępna jest do pobrania na stronie:

<https://vda-qmc.de/publikationen/download/>

Tabela 15. Matryca sprzeczności

Parametr porównujący się				Przykład/wynik					Wynik			
				1	2	3	35	36	37	38	39	
Matryca sprzeczności												
1	Ciepłota obiektu ruchomego						29,5	15,6	26,3	30,3	34	Wydajność
2	Ciepłota obiektu nieruchomego	8,15	29,34				19,15	29	1,10	6,3	39	Stopień automatyzacji
3	Długość obiektu ruchomego						14,15	1,16	1,19	26,24	15	
4	Długość obiektu nieruchomego	35,28	40,29				1,35	1,26	26	30,14	7,26	
5	Powierzchnia obiektu ruchomego	2,17	29,4				15,30	14,11	3	2,5	2,6	
6	Powierzchnia obiektu nieruchomego	30,2	14,18				15,15	1,16	1,19	26,24	15	
7	Objętość obiektu ruchomego	2,26	29,40				15,29	1,31	4,2	2,3	1,17	
8	Objętość obiektu nieruchomego	16,14	19,35	14,19			10,15	2,6	4,10	2,3	1,17	
9	Prędkość	2,13	28,35	8,13	14		10,15	2,6	4,10	2,3	1,17	
10	Sila	1,8	16,37	1,13	18,28	9,17	15,17	18,20	10,18	26,35	3,16	10,18
11	Napięcie, ciśnienie	10,35	37,40	10,13	18,29	10,35	35	1,19	35	2,36	37	3,28
12	Kierunek	8,10	29,40	5,10	15,25	5,4	1,15	2,9	1,16	2,8	13	1,15
13	Stabilność struktury obiektu	2,21	35,39	1,26	39,40	1,13	2,34	35,30	2,22	6,35	22,3	35,39
14	Wyrównanie	1,8	15,40	1,26	27,40	1,8	1,35	2,3	2,3	2,3	2,3	15
15	Czas zasilania obiektu ruchomego	5,19	31,34	2,9	19		1,13	35	4,10	15,29	19,29	35,39
16	Czas zasilania obiektu nieruchomego						2	2,46	2,46	17	2,46	17
17	Temperatura	6,22	35,38	2,26	38		1,15	16,17	2,27	38	2,26	38
18	Właściwość	1,15	16,17	2,26	38		1,15	16,17	2,27	38	2,26	38
19	Napięcie energii na ruch obiektu	12,13	3,28	2,26	38	12,28	1,15	16,17	2,27	38	2,26	38
20	Napięcie energii przy nieruchomym obiekcie						17,13	34	16,19	35	16,19	35
21	Moc	8,31	35,38	17,15	26,27	1,10	35,37	7,23	3,16	23,35	2	10,24
22	Straty energii	6,15	19,28	6,9	16,19	2,6	7,13	2,10	15	10,24	28,35	10,24
23	Straty substancji	6,23	35,40	6,22	32,35	14,10	29,39	2,10	15	10,24	28,35	10,24
24	Straty informacji	10,24	35	5,10	35	1,26	28,35	6,29	10,18	28,32	24,28	30,35
25	Straty czasu	10,20	35,37	5,10	20,26	2,15	29,35	3,15	29	3,10	1,27	3,15
26	Ilość substancji	6,18	31,35	1,26	27,35	14,18	29,35	8,13	24,35	1,13	27	8,13
27	Nezawodność	3,8	10,40	3,8	10,28	4,9	14,15	2,13	35	10,27	34,35	24,26
28	Dobrostanność pomiaru	2,26	32,35	2,26	29,35	5,16	28,28	2,13	35	10,27	34,35	24,26
29	Dobrostanność wywarowania	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26	29,37	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26
30	Sobowzajemne przemieszczanie się obiektu	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26	29,37	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26
31	Właściwość wywarowania	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26	29,37	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26
32	Właściwość wywarowania	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26	29,37	1,15	26,23	9,27	26,35	10,26
33	Właściwość adaptacji	2,11	27,35	2,11	27,35	1,10	26,28	1,15	16,34	12,17	26,32	1,15
34	Właściwość naprawy	2,11	27,35	2,11	27,35	1,10	26,28	1,15	16,34	12,17	26,32	1,15
35	Właściwość adaptacji, uniwersalność	1,6	15,8	1,15	29,16	35,12	2,9	1,6	15,8	1,15	29,16	35,12
36	Właściwość ustroju	26,30	34,37	2,16	35,39	1,19	26,24	29	15,28	37	28	1
37	Właściwość kontroli pomiaru	27,26	28,13	6,13	28,1	16,17	26,24	1,15	16,10	37,28	16,124	36,18
38	Stopień automatyzacji	28,26	18,35	28,26	35,10	14,13	17,29	27,4	135	16,24	34,27	25
39	Wydajność	35,26	24,37	28,27	15,3	18,4	28,38	1,35	28,37	12,17	28,24	35,18

Kompletna matryca dostępna jest na stronie VDA QMC:

www.vdaqmc.de/download/

7.7 Literatura

- [1] Livotov, P. & Petrov, V. (2002). *Innovationstechnologie TRIZ*. TriSolver Consulting.
- [2] Gimbel, B., Herb, R. & Herb, T. (2002). *Ideen finden, Produkte ent-wickeln mit TRIZ*. Carl Hanser Verlag.
- [3] Ried, H. (o. J.) *TRIZ Problemlösungsmethode, kreativ Probleme lösen*. Schulungsunterlage. <http://www.horstried.de/>.
- [4] Koltze, K. & Suchkov, V. (2017). *Systematische Innovation: TRIZ-Anwendung in der Produkt- und Prozessentwicklung* (2. Aufl.). Carl Hanser Verlag.

8 Ekonomiczne projektowanie i bezpieczeństwo procesu

8.1 Wprowadzenie

Zastosowanie metod statystycznych jest kluczowym aspektem w ramach systemu zarządzania jakością. Widać to na przykład w odpowiednich rozdziałach narodowych i międzynarodowych standardów jakościowych – na przykład IATF 16949, które zawierają nadzór i pomiar procesów produkcyjnych. Między innymi zawsze podkreśla się znaczenie statystycznej kontroli procesu (SPC).

W tym dokumencie przedstawione są niektóre procedury kwalifikacji, sterowania i oceny procesu, które często wykorzystywane są w dzisiejszej praktyce. Uwzględnione będą tylko procesy z mierzalnymi (ilościowymi), ciągłymi charakterystykami.

Charakterystyki jakościowe są rozumiane jako inherentne charakterystyki wyrobu, procesu lub systemu. Charakterystyki jakościowe są z reguły również charakterystykami kontrolnymi.

Z powodu rosnącej presji kosztowej coraz ważniejsze staje się planowanie procesów z ekonomicznego punktu widzenia. Szczególnie ważne dla planowania procesu w związku z rozrzutem procesu są małe tolerancje, które jako konstrukcyjna konieczność często wynikają z funkcji wyrobu. Im mniejsza jest tolerancja, tym bardziej kosztowne są z reguły przynależące procesy obróbki i kontroli. Ponadto podczas ustalania tolerancji konieczne może być uwzględnienie aspektów takich jak:

- niezawodność/bezpieczeństwo,
- wymiennność,
- czas życia,
- wygląd,
- testowalność.

Aby osiągnąć odpowiednią ekonomiczność wyrobu, wymagania dla wyrobu muszą współgrać z kosztami wytwarzania. W planowaniu i realizacji produkcji na pierwszym planie jest oczywiście wykonalność i możliwość kontroli charakterystyk wyrobu.

Procesy powinny być skuteczne i ekonomiczne. Oznacza to, że procesy wytwarzają wyroby spełniające zadane wymagania z większą efektywnością, czyli możliwie najmniejszym nakładem zasobów.

Przewodnik ten nie może być traktowany jako kompletny. Opisane procedury bazują na wynikach badania empirycznego w przemyśle motoryzacyjnym (QZ, Jahrg. 44, s. 761–765), w którym krytycznie zakwestionowano dotychczasowe procedury w związku z oceną procesów produkcyjnych.

Przewodnik ten uwzględnia w szczególności aktualny rozwój narodowych i międzynarodowych norm (patrz punkt 8.8 Załącznik: „Obszary zastosowania parametrów statystycznych, procedury i narzędzia”).

8.2 Procesy

Wpływy na proces

Na każdy proces oddziałuje wiele czynników, których zsumowane oddziaływanie powoduje rozrzut odpowiedniej charakterystyki wyrobu. Rozróżnia się przy tym wpływy przypadkowe i systematyczne.

Przykłady wpływów przypadkowych:

- Wahania temperatury narzędzia odlewniczego w stanie roboczym (rozgrzanym).
- Dokładność pozycjonowania narzędzia obróbczego przy powtarzającym się pozycjonowaniu.

Przykłady wpływów systematycznych:

- zmiany temperatury podczas fazy rozgrzewania narzędzia odlewniczego,
- zużycie narzędzi obróbczych,
- wymiana narzędzia w przypadku narzędzi nieregulowanych,
- awaria chłodzenia w procesie odlewania,
- uszkodzenie narzędzia w maszynie.

W ramach wyżej wymienionych analiz stwierdzono, że tylko ok. 5% wszystkich badanych procesów podlega wyłącznie wpływom przypadkowym. Oznacza to, że procesy wytwarzania obciążone są z reguły wpływami systematycznymi, dlatego też wynikowi procesu nie można przypisać rozkładu normalnego.

Poza niewieloma wyjątkami badanym procesom przyporządkowywany jest zależny od czasu model rozkładu D (patrz rozdział 8.5), niezależnie od tego, jak powstały odpowiednie rozkłady mieszane. Obliczenie wskaźników wydajności i zdolności zgodnie z „klasycznymi” formułami dla charakterystyk o rozkładzie normalnym przy użyciu parametrów wartości średniej i odchylenia standardowego może nie uwzględniać szczególnego charakteru takiego rozkładu charakterystyki i mogłoby prowadzić do błędnych wniosków.

Alternatywną, możliwą do uniwersalnego zastosowania metodą jest metoda kwantylowa, która wyjaśniona jest w rozdziale 8.7. Odnośnie do wskaźników wydajności i zdolności obliczonych tą metodą z powyższego badania patrz także rozdział 8.7.

Systematyczne wpływy na proces są zauważalne często dzięki charakterystycznym wzorcom w czasowym przebiegu parametrów charakterystyki jakościowej. Często zmiany te spowodowane są prawami fizycznymi lub warunkami wytwarzania (np. procedura rozruchu po przestojach).

Typowe są na przykład trendy przy zużywających się narzędziach i skoki przebiegu wartości przy operacjach regulacyjnych, zmianie partii lub z powodu różnych gniazd formy wtryskowej. Jeżeli wzorzec jest znany dzięki wystarczająco długiej obserwacji, można w ten sposób ująć odpowiednie zachowanie procesu w ocenie i uwzględnić przy obliczeniu wskaźników wydajności i zdolności. Charakterystyki procesu wymagają wtedy szczególnej obserwacji, np. przy zużywaniu się narzędzia poprzez ustalenie maksymalnej ilości, która może zostać wyprodukowana do następnego serwisu lub wymiany narzędzia.

W celu ciągłej kontroli procesu stosuje się w tych przypadkach kartę kontrolną Shewharta z rozszerzonymi granicami (patrz rozdział 8.6).

Definicje

Proces

Procesem jest „zbiór działań wzajemnie powiązanych lub wzajemnie oddziałujących, które wykorzystują wejścia procesu do dostarczenia zamierzonego rezultatu” (PN EN ISO 9000).

Proces zdolny

Pod pojęciem „zdolność procesu” rozumie się przydatność procesu do realizacji wyrobu w celu spełnienia wymagań jakościowych wyrobu. Zdolność procesu jest tym samym zdolnością jakościową procesu. Proces jest uznany jako zdolny, kiedy wskaźniki wydajności lub zdolności osiągają lub przewyższają zadane wartości graniczne.

Dla procesów niestabilnych ustalane są wskaźniki wydajności procesu (*process performance indices*) P_p i P_{pk} . Jeżeli stabilność procesu jest dowiedziona, za pomocą takich samych formuł obliczane są wskaźniki zdolności procesu (*process capability indices*) C_p i C_{pk} .

Proces opanowany i stabilny

Jeżeli parametry statystyczne charakterystyki jakościowej nie zmieniają się praktycznie lub tylko w znany sposób lub w znanych granicach, określa się taką charakterystykę jako „opanowaną”. „Proces opanowany” jest zawsze wtedy, gdy jego charakterystyki są opanowane.

Tylko opanowany proces umożliwia wypowiedź o zdolności procesu. Proces opanowany jest opisany za pomocą metod statystycznych, przez co możliwa jest wypowiedź nie tylko o chwilowo występującej, ale także o przyszłej oczekiwanej zdolności jakościowej. Obok pojęcia „opanowany” używa się do opisu procesów stabilnych także synonimu „pod statystyczną kontrolą”.

Proces uważany jest za „stabilny”, kiedy w określonym okresie obserwacji podlega wyłącznie wpływom przypadkowym. Stabilność wykazywana jest zwykle z pomocą karty kontrolnej Shewharta.

DIN ISO 22514 definiuje proces stabilny jako proces „pod statystyczną kontrolą”. W związku z tym tylko zależne od czasu modele rozkładu A1 i A2 w rozdziale 8.5 są stabilne.

8.3 Projektowanie procesu

Uwzględnienie w planowaniu jakości

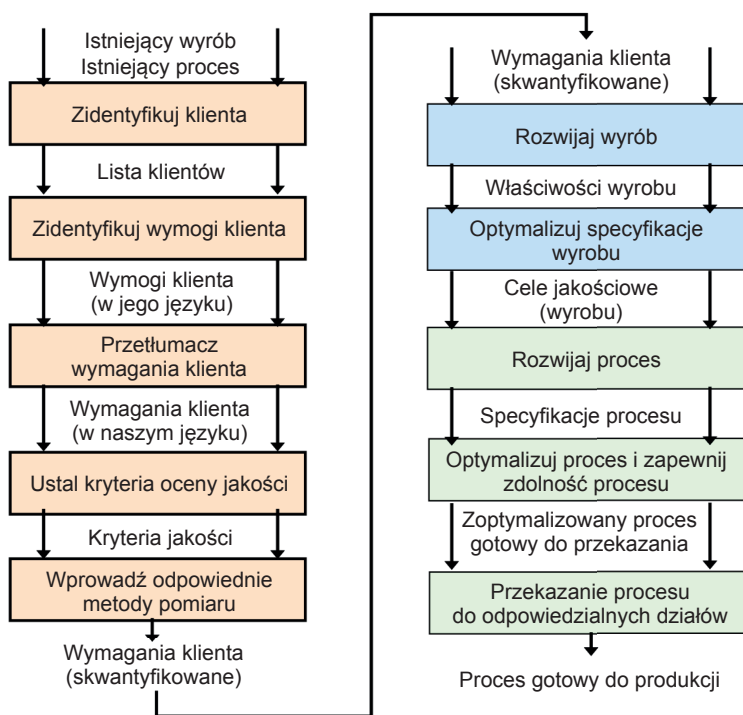
Planowanie jakości jest częścią systemu zarządzania jakością, który ukierunkowany jest na ustalenie celów jakości, procesów realizacji, jak i przynależnych zasobów dla spełnienia celów jakościowych.

Rozumie się pod tym wybór i wagę charakterystyk wyrobu lub usług, jak i przetłumaczenie tych wymagań jakościowych wyrobu w wymagania dla procesów realizacji.

Podsumowując, planowanie jakości oznacza taki rozwój wyrobu i procesu, aby spełniały one potrzeby klientów. Tym samym do planowania jakości należą następujące podstawowe aktywności:

- identyfikacja klienta i jego potrzeb,
- rozwój wyrobu, który odpowiada tym potrzebom,
- rozwój procesu, który jest zdolny do wytwarzania tego wyrobu.

Celem planowania jakości jest wdrożenie pożądaných przez zewnętrznego/wewnętrznego klienta charakterystyk wydajności do wewnętrznych procesów przedsiębiorstwa w ten sposób, aby potrzeby klientów były zaspokajane w zależności od nadrzędnych celów korporacyjnych oraz warunków konkurencyjnych i środowiskowych z dużą solidnością i bezbłędными procesami wewnętrznymi. Z tego celu wynikają zadania dla planowania jakości.



Rysunek 60. „Mapa drogowa” planowania jakości wg Juran

Dla każdego kroku obowiązuje:

1. Przebieg liniowy – wynik jednego kroku jest jednocześnie bazą dla następnego kroku.
2. Potrójna rola w każdym kroku – jako klient, przetwórcza i dostawca.
3. Ustalenie ogólnie obowiązujących kryteriów do oceny jakości.
4. Instalacja systemu pomiarowego (sensora) do oceny jakości na podstawie ustalonego kryterium.

Podstawa komunikacji

Tylko poprzez współpracę obszarów planujących i przeprowadzających możliwe jest ekonomiczne wytwarzanie wyrobu, który uwzględni po pierwsze wymagania klienta, a po drugie koszty wytwarzania.

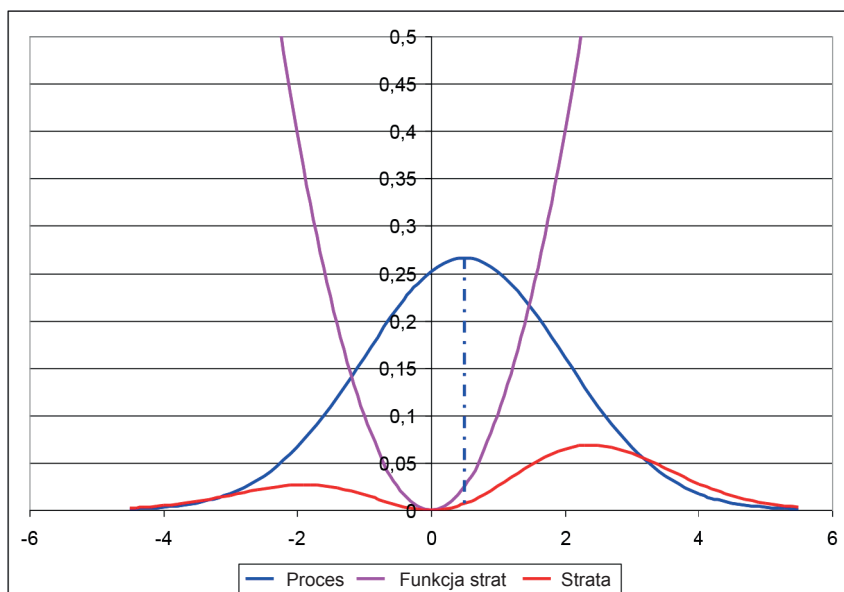
Całościowe uwzględnienie wymagań klienta i zależnych od konstrukcji tolerancji jest podstawą dla projektowania ekonomicznego procesu.

W znaczeniu „inżynierii symultanicznej” komunikacja pomiędzy planującymi i produkującymi wydziałami musi rozpocząć się na wczesnym etapie. Dzisiaj realizowane jest to często poprzez nowoczesne zarządzanie projektem.

Bardzo dobrą platformą komunikacji są regularne uzgodnienia pomiędzy konstrukcją i produkcją, w trakcie których dyskutowane jest ekonomiczne wdrożenie wymagań. W takiej dyskusji w równym stopniu w optymalne zaprojektowanie wyrobu zaangażowane muszą być obydwie strony. Znalezione przy tym musi zostać kompromis pomiędzy wymaganiami klienta i ekonomicznym wdrożeniem.

Specyfikacja tolerancji i rozrzut procesu

Wytyczne tolerancji bazują na wymaganiach dla charakterystyk jakościowych i wychodzą z wymagań klienta odnośnie do funkcjonalności. Często rozrzut produkcji charakterystyki wyrobu jest decydującą wielkością dla ustalenia tolerancji. Każde ustępstwo, niemożliwość utrzymania dokładnej wartości oczekiwanej i tolerowanie odchyłeń stoi w sprzeczności z pełną funkcjonalnością. Związek ten przedstawiony jest funkcją strat wg Taguchiego.



Rysunek 61. Funkcja strat wg Taguchiego

Uwzględnienie rozrzutów procesu przy ustaleniu tolerancji jest wymaganiem ekonomicznego procesu wytwarzania. Z reguły zakres zmienności procesu w fazie rozwoju nie jest znany i może być z tego powodu oszacowany tylko na podstawie doświadczenia z istniejącymi podobnymi procesami.

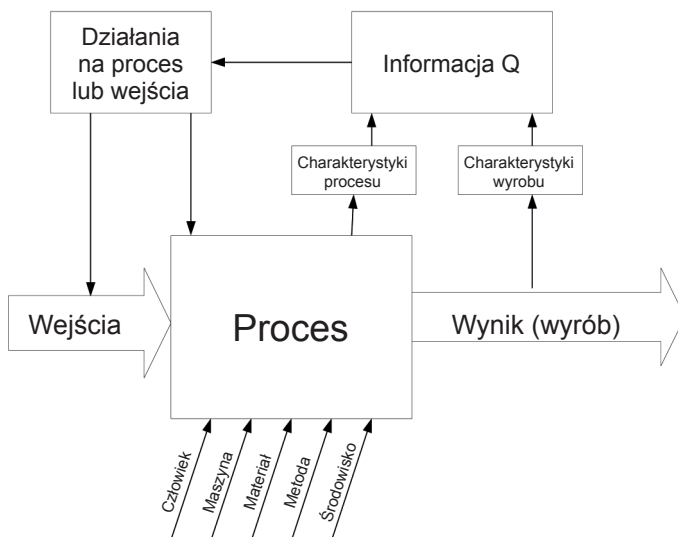
Podejścia dla zorientowanego na proces ustalenia tolerancji takie jak:

- tolerowanie statystyczne,
- stopniowe / etapowe ustalanie wartości granicznych,
- tolerowanie zorientowane na funkcję i
- ustalenie tolerancji z uwzględnieniem skutków przekroczeń (krzywa jakości)

opisane są w VDA Tom 4, Część 4: *Tolerowanie procesów w aspekcie ekonomicznym*.

Konwersja wymagań dla wyrobu w charakterystyki procesu

Kompleksowe zrozumienie związków pomiędzy charakterystykami wyrobu i procesu jest wymaganiem dla ekonomicznego sterowania procesem.



Rysunek 62. Schemat sterowania procesem

Regulacja procesów i sterowanie nimi następują poprzez zmianę charakterystyk procesu. W tym celu wartości graniczne wyrobu muszą być przeniesione tak szeroko, jak to możliwe, do wartości granicznych procesu. W celu regulacji procesu znany musi być związek pomiędzy charakterystyką wyrobu i charakterystyką procesu.

Związek ten może zostać ustalony na przykład z pomocą statystycznego planowania eksperymentów (*Design of Experiments* – patrz rozdział *Metodyka projektowania doświadczeń*).

Planowanie kontroli

Planowanie kontroli ma za zadanie między innymi ustalenie metod oraz środków kontroli (procesu pomiaru), jak i odpowiednich dla procesu interwałów kontroli oraz liczby kontrolowanych części. Celem jest osiągnięcie skutecznej i efektywnej strategii kontroli w całym łańcuchu procesów.

Powinny być przy tym zredukowane do minimum koszty:

- procesów produkcji,
- procesów kontroli i
- procesów przeróbek.

Kryteriami dla ustalenia interwałów kontroli są m.in.:

- ustalone wcześniej, względnie na podstawie podobnych procesów znane częstotliwości wpływających zakłóceń,
- częstotliwość kontroli (w odniesieniu do czasu lub ilości, na przykład 5–7 próbek pomiędzy dwiema kontrolami),
- nowe technologie produkcji,
- czas przestoju narzędzia, zmiana lub czas regulacji narzędzia,
- nakład na kontrolę,
- czas cyklu, wielkość partii,
- nakład na sortowanie,
- zdolność procesu (wskaźniki zdolności procesu),
- ...

Poprzez częstotliwość kontroli należy zapewnić, że będzie jeszcze możliwy dostęp do części wyprodukowanych pomiędzy dwiema próbkami, aby uniknąć przekazania wadliwych części do montażu lub wysyłki do klienta.

Interwał kontroli może być dynamicznie dopasowywany na podstawie doświadczeń z procesem (dynamizacja kontroli).

8.4 Kwalifikacja procesu

Przydatność procesów pomiaru i kontroli oraz niepewność pomiarowa

Zastosowane w badaniach wydajności i zdolności przyrządy i procesy pomiarowe muszą być odpowiednie, aby spełnić wymagania odnośnie do poprawności wyników pomiarowych wynikające z konkretnego zastosowania.

Pojęcia i przebiegi określania dokładności, liniowości, stabilności, powtarzalności i odtwarzalności procesów pomiaru i kontroli są tak samo jak metody określania niepewności pomiarowej opisane w VDA Tom 5.

Badanie krótkoterminowe

W ramach odbioru urządzeń produkcyjnych ustalana jest z reguły przy ich wytwarzaniu wydajność krótkoterminowa – zwana również badaniem wydajności maszyny. W badaniu tym staramy się, aby oddziaływały tylko wpływy rozrzutu wynikające z samego urządzenia produkcyjnego. W tym celu utrzymywane są możliwie stałe warunki ramowe, tak aby uniknąć (lub zminimalizować możliwy) wpływ człowieka, materiału i otoczenia lub przynajmniej utrzymać go na stałym poziomie w czasie trwania badania.

Wynikiem badania wydajności maszyny jest tymczasowa wypowiedź o potencjalnej przydatności urządzenia produkcyjnego do spełnienia zadanych wymagań.

Z reguły wyprodukowanych będzie 50 części w nieprzerwanej kolejności. Interesujące charakterystyki jakościowe są mierzone, a wyniki pomiarów zapisywane są zgodnie z kolejnością produkcji oraz oceniany jest statystycznie rozkład ich wyników procesu. Na końcu obliczane są wskaźniki wydajności maszyny P_m i P_{mk} , które muszą osiągnąć lub przekroczyć zadaną wartość minimalną.

W przypadkach szczególnych realizacja lub pomiar 50 części mogą oznaczać nieuzasadnienie wysoki nakład (np. w przypadku badania niszczącego), co czyni koniecznym porządzenie sobie z mniejszą liczbą części. Prowadzi to jednak do obniżenia pewności wypowiedzi, tzn. konieczności podwyższenia zakresu ufności wskaźnika wydajności. Aby skompensować ten efekt, minimalne wymaganie dla P_m lub P_{mk} może zostać odpowiednio zwiększone. Przedstawione jest to w tabeli 16. Przykładowo wymaganie 1,67 dla 50 wartości może wzrosnąć do 1,9, kiedy ocenionych zostanie tylko 20 części. Wartości dla P_m lub P_{mk} są obliczone w ten sposób, że dla mniejszego zakresu próbki n podstawą jest taki sam poziom ufności 95 lub 99%, tak jak dla $n = 50$.

Liczba	P_m/P_{mk} – zalecenie	
	$P_A = 95\%$	$P_A = 99\%$
50	1,67	1,67
40	1,72	1,74
30	1,78	1,84
20	1,91	2,03
15	2,03	2,23

Tabela 16. Zalecenie dla P_m , P_{mk} dla 50 lub mniej niż 50 wartości wyniku z poziomu ufności wskaźnika wydajności jakości

Ponieważ rzeczywisty rozrzut obserwowanej charakterystyki nie może być w pełni określony przy użyciu tylko 50 kolejno wyprodukowanych części, krótkoterminowe badanie wydajności pozwala wyłącznie na tymczasową statystyczną wypowiedź o zachowaniu procesu.

Badania długoterminowe

Badania długoterminowe muszą następować w warunkach seryjnych, aby możliwe było oddziaływanie wszystkich nieuniknionych czynników rozrzutu.

Badanie to przeprowadza się, pobierając z procesu z reguły przynajmniej 125 badanych jednostek. Podział tych 125 części na poszczególne próbki, a także interwały czasowe ich pobierania należy ustalić specyficznie dla procesu i nie mogą one być podane ogólnie. Zwykle jest to 25 próbek zawierających 5 części.

Badania długoterminowe następują z reguły z użyciem kart kontrolnych. Dane przypisywane są do rozkładu wyników procesu, który opisuje je jak najlepiej (patrz rozdział 8.5).

Ocena stabilności

Ocena stabilności procesu może następować z pomocą karty kontrolnej jakości, siatki prawdopodobieństwa lub analizy wariancji.

W tym kontekście oceniana jest na przykład liczba ingerencji, rzeczywisty przebieg procesu oraz wskaźniki.

Konieczny do tego czas obserwacji jest ustalany przez właściciela procesu specyficznie dla procesu (np. w zależności od czasu cyklu). Okres 20 dni produkcyjnych powinien być brany jako podstawa.

Jak już opisano, rozkład statystyczny parametrów charakterystyki wyrobu jest punktem wyjścia do określenia wskaźników wydajności lub zdolności procesu. Obliczenie wskaźnika wydajności, jak i zdolności bazuje na rozrzucie i położeniu wartości charakterystyki w odniesieniu do tolerancji.

Tak długo jak stabilność badanego procesu nie jest dowiedziona, obliczane są wskaźniki wydajności procesu P_p i P_{pk} .

Jeżeli proces jest stabilny, mogą zostać przypisane wskaźniki zdolności C_p i C_{pk} . Równania są takie same jak dla odpowiednich wskaźników wydajności.

8.5 Analiza procesu

Modele rozkładu zależne od czasu (zgodnie z DIN ISO 22514)

Model rozkładu zależny od czasu jest opisem matematycznym rzeczywistego zachowania procesu poprzez chwilowy rozkład stałych w czasie lub zmieniających się parametrów. Rozkład wynikowy powinien odpowiadać rzeczywistemu zachowaniu procesu; oznacza to, że obraz lub funkcja gęstości teoretycznie wynikowego rozkładu pasuje całkiem dobrze do histogramu danych pomiarowych.

W zależności od rozkładu chwilowego i jego zachowania w czasie można rozróżnić osiem modeli rozkładu zależnych od czasu, które opisane są w DIN ISO 22514 (oznaczenia A do D, tak jak pokazano na rysunkach na następnych stronach).

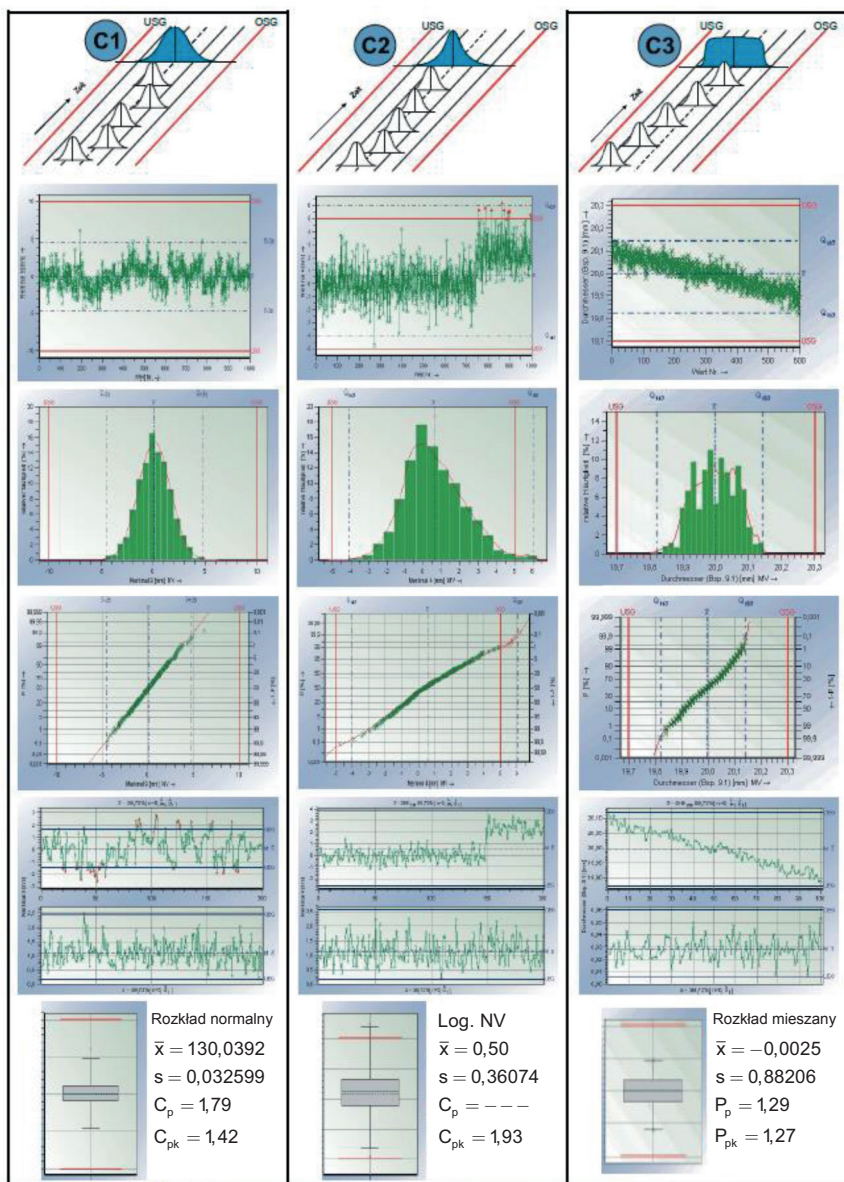
Często ze względu na naturę procesu i tolerancji (np. jednostronnie ograniczona charakterystyka) można wyciągnąć wnioski na temat powstałego modelu rozkładu zależnego od czasu. Praktycznie nieuniknionymi wpływami są na przykład:

- systematyczne zużywanie się narzędzia podczas pracy,
- użycie nowego narzędzia,
- zmiana partii.

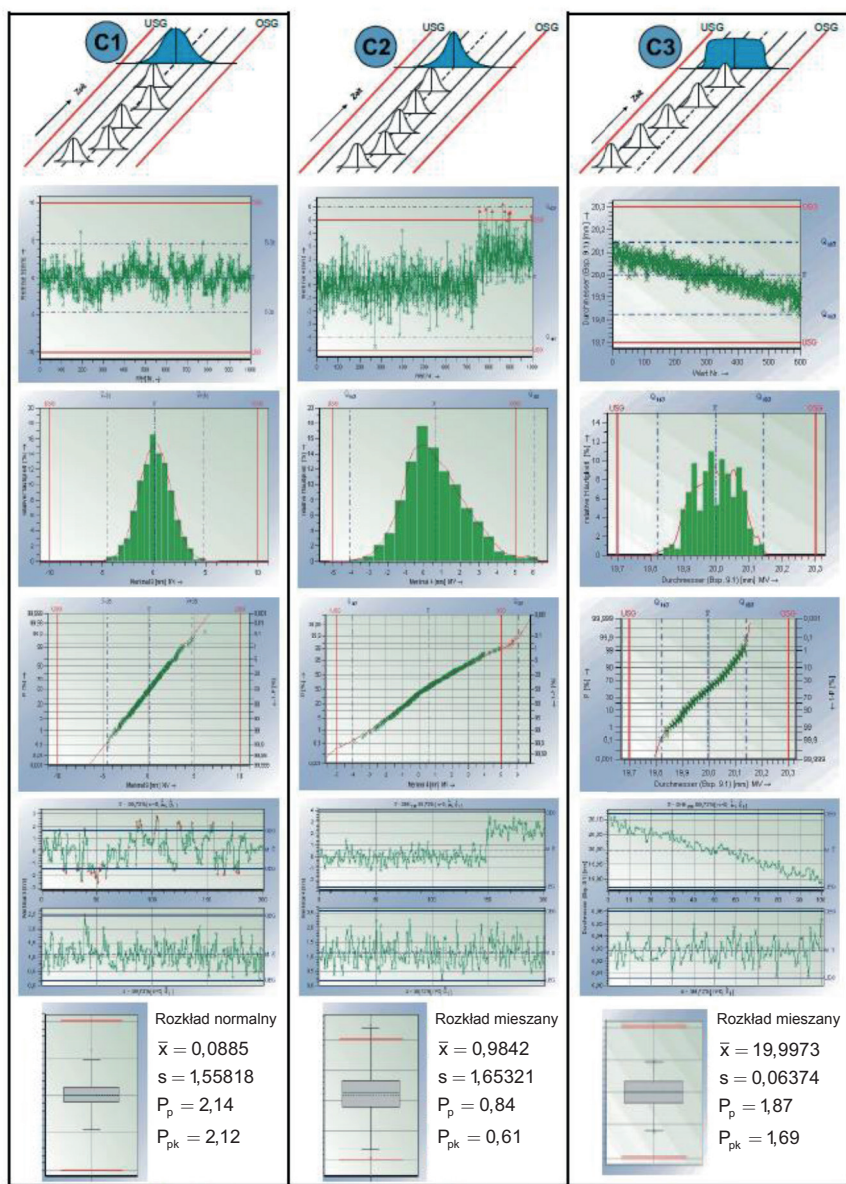
Wskazówka: przyporządkowanie modelu rozkładu zależnego od czasu do badanego procesu nie ma nic wspólnego ze zdolnością jakościową procesu, ze względu na brak odniesienia do zakresu tolerancji.

Obrazy na następnych stronach pokazują przykłady dla wyżej wymienionych procesów i przynależących modeli rozkładu, przy czym poniższe grafiki zawierają:

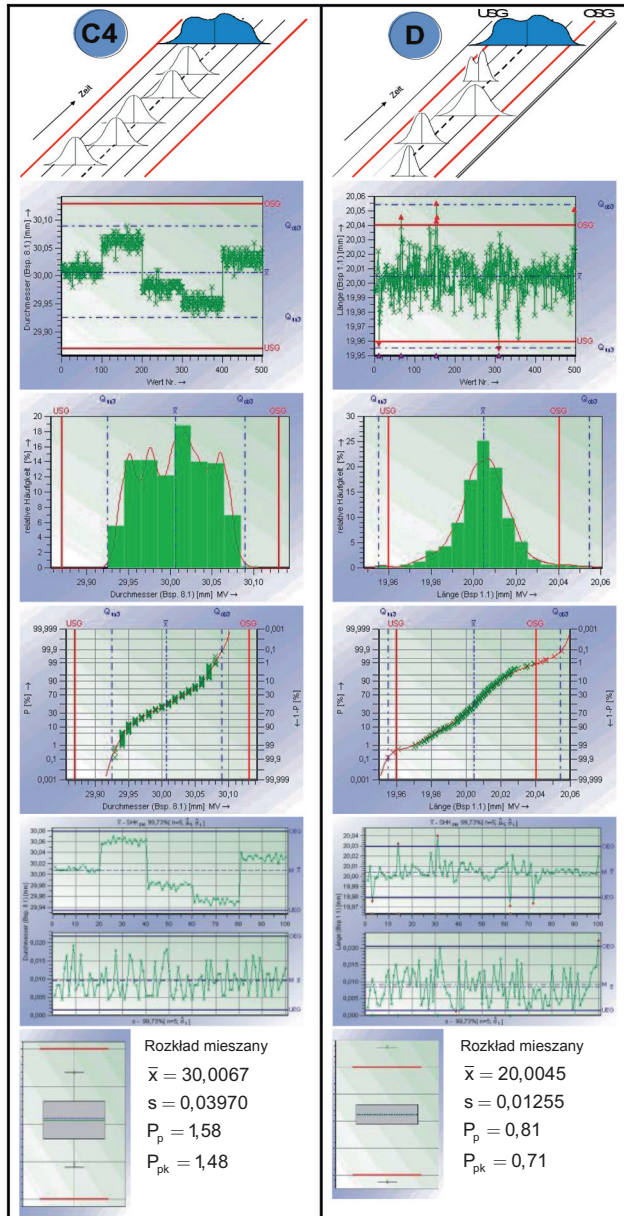
- schematyczne przedstawienie modelu rozkładu zależnego od czasu,
- przebieg w czasie pojedynczych wartości (diagram wartości pojedynczych),
- histogram,
- przedstawienie pojedynczych wartości w siatce prawdopodobieństwa rozkładu normalnego,
- kartę kontrolną $\bar{x} - s$,
- wykres pudełkowy (*Box-Plot*).



Rysunek 63. Zależne od czasu modele rozkładu i przykłady – część 1



Rysunek 64. Zależne od czasu modele rozkładu i przykłady – część 2



Rysunek 65. Zależne od czasu modele rozkładu i przykłady – część 3

Doskonalenie procesu

Żaden proces nie doskonali się sam. Aby otrzymać wskazówki dotyczące punktów wyjścia dla możliwych usprawnień procesu, konieczna jest analiza procesu. Pomocne są w tym na przykład graficzne przedstawienia – tak jak we wcześniejszym rozdziale – i testy statystyczne (patrz tabela w rozdziale 8.8). Ponadto pomocna jest możliwość sięgnięcia do dokumentacji warunków ramowych i charakterystyk procesu, takich jak np. zmiana partii czy narzędzia lub zmiany w otoczeniu procesu, ponieważ często korelują one bezpośrednio z istotnymi zmianami w danych pomiarowych. Przyjrzyjmy się dokładniej powyższym przykładowym rysunkom:

B: Położenie środka procesu jest stabilne w czasie, jednakże z czasem zmienia się rozrzut. To ostatnie jest szczególnie widoczne na wykresie pojedynczych wartości, jak i w śladzie s karty kontrolnej jakości.

C2: W ostatniej trzeciej wykresu pojedynczych wartości, jak i karty średnich można zauważyć przeskok do wyższych wartości. Kilka wartości leży poza obszarem tolerancji. W efekcie otrzymujemy asymetryczny histogram.

C3: Wykres pojedynczych wartości i karta średnich odzwierciedlają typowy proces trendu. Charakterystyką jest w tym przypadku średnica wewnętrzna, która wzrasta wraz ze zużyciem narzędzia.

C4: Przebiegi obserwowane na wykresie pojedynczych wartości i w karcie średnich są charakterystyczne dla procesu ze skokami partii.

D: Zarówno położenie procesu, jak i rozrzut procesu są niestabilne.

W celu ustalenia możliwych przyczyn obserwowanego zachowania procesu sprawdza się zastosowanie ustrukturyzowanego podejścia, które zyskuje na znaczeniu pod pojęciem metody „Six Sigma” (por. także VDA Tom 4, Rozdział 4: *Modele postępowania*).

Proces rozwiązywania problemów podzielony jest na następujące fazy:

- Definiowanie
- Pomiar
- Analizowanie
- Doskonalenie
- Kontrola

Ze względu na pierwsze litery odpowiadających im słów z języka angielskiego: Define, Measure, Analyze, Improve, Control, mówi się w tym przypadku o modelu DMAIC. Każdej fazie przyporządkowane są odpowiednie metody, które wspierają daną część. Należą do tego procedury statystyki opisowej i matematycznej, jak również niestatystyczne metody rozwiązywania problemów. Zespół optymalizacyjny nie jest związany konkretną procedurą podczas opracowania, ale sam decyduje o zastosowaniu danej metody w zależności od określonego problemu. Ważnym elementem tego postępowania jest konsekwentne i pełne opracowanie każdego kroku.

8.6 Kontrola procesu

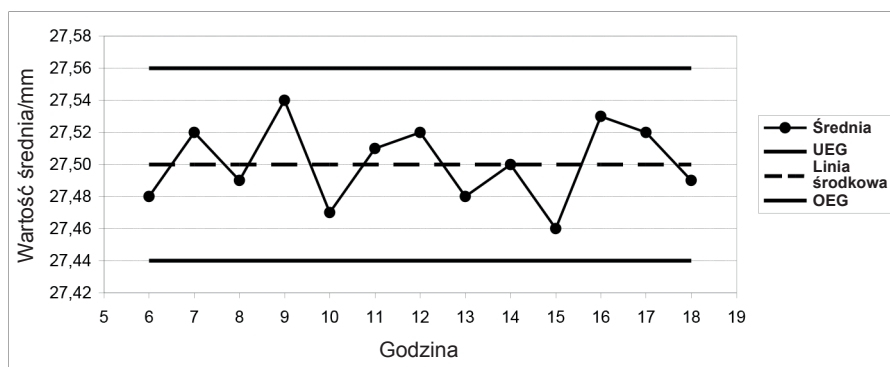
Karty kontrolne jakości (QRK, niem. *Qualitätsregelkarten*)

Karty kontrolne jakości są graficznym środkiem pomocniczym do zbierania i przedstawienia wartości zmierzonych (wyników próbek) lub wielkości statystycznych (lub wyników obliczeń) i do ich porównania z wcześniej ustalonymi granicami kontrolnymi. W tym celu wykorzystywane są podręczne formularze, ale coraz częściej także wspierane oprogramowaniem implementacje tego narzędzia zapewniania jakości.

Granice kontrolne, które zwykle oznaczane są jako UEG i OEG dla dolnej lub górnej granicy kontrolnej, nie mogą być mylone z określonymi przez konstruktora w rysunku granicami tolerancji (dolna granica specyfikacji USG i górna granica specyfikacji OSG). Granice kontrolne są granicami rozrzutu parametrów statystycznych (np. wartości średniej), które są śledzone przy pomocy karty kontrolnej. Dlatego granice tolerancji nie są zasadniczo wrysowane w kartach kontrolnych procesu. Granice tolerancji obowiązują dla poszczególnych wartości charakterystyk, a nie dla przedstawionych na kartach kontrolnych wartości próbek.

W przypadku przekroczenia granic kontrolnych przyjmuje się, że te spowodowane są przez „nieprzypadkowe wpływy” oraz wdrożone zostaną działania, aby usunąć zakłócenie procesu.

Granice kontrolne zależą od rozkładu obserwowanego parametru statystycznego i rodzaju karty. Przykładowo wartości średnie z powodu centralnego twierdzenia granicznego statystyki są zbliżone do rozkładu normalnego. W zależności od rozkładu charakterystyki i wielkości próbki stosowane są typowo karty Shewharta lub Pearsona (patrz poniżej).



Rysunek 66. Przykład karty średnich (schematycznie)

Karty kontrolne jakości do kontrolowania położenia procesu

W celu kontrolowania położenia procesu stosowane są zasadniczo trzy rodzaje kart kontrolnych:

1. karta Shewharta lub karta Shewharta z rozszerzonymi granicami,
2. karta Pearsona dla jednostronnie ograniczonych charakterystyk,
3. karta przyjęcia.

Do kontrolowania rozrzutu procesu służy dodatkowa linia wykresu, która przedstawia na przykład odchylenie standardowe lub rozpiętość próbki.

Karta Shewharta

Ten rodzaj karty pochodzi od A.W. Shewharta, który rozwinął technikę kart kontrolnych w latach dwudziestych minionego stulecia.

Granice kontrolne ustalane są specyficznie dla procesu, to znaczy symetrycznie do położenia środka procesu, przy wykorzystaniu wyłącznie naturalnej zmienności procesu. Mogą one być również ustalone symetrycznie do odpowiedniej wartości oczekiwanej charakterystyki. Wartością szacunkową dla rozrzutu procesu jest odchylenie standardowe σ , które obliczone jest z wcześniej zaobserwowanych wyników próbek.

Karta Shewharta z rozszerzonymi granicami

Jeżeli chodzi o proces z systematycznie zmieniającą się wartością średnią (proces niestabilny), uwzględniony musi zostać dodatkowy systematyczny udział rozrzutu w obliczeniu granic kontrolnych.

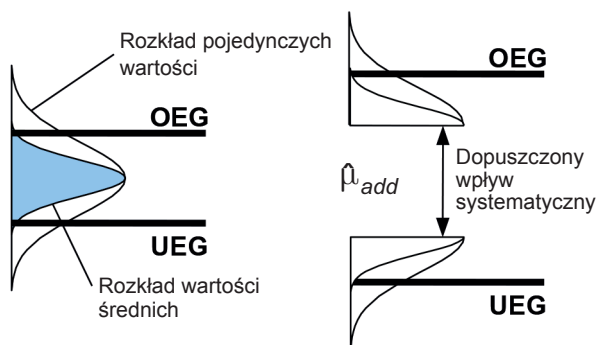
Istnieje wiele możliwości ustalenia dodatkowej części związanej z rozrzutem $\hat{\mu}_{add}$, na przykład:

- Obliczenie za pomocą odchylenia standardowego wartości średniej próbki $s_{\bar{x}}$:

$$\hat{\mu}_{add} = 1,5 \cdot s_{\bar{x}}$$

Współczynnik 1,5 jest empirycznie ustalonym współczynnikiem rozszerzenia.

- Obliczenie w ramach analizy wariancji (ANOVA)



Rysunek 67. Położenie granic kontrolnych dla rozkładu normalnego i dodatkowego systematycznego i znanego rozrzutu wartości średnich

Ewentualnie ustalone w ten sposób granice kontrolne mogą zostać rozszerzone w interesie ekonomicznych rozważań, o ile wymagania zdolności jakościowej (lub wydajności) dopuszczają taką sytuację.

Karta przyjęcia

W karcie przyjęcia używane są granice kontrolne, które ustalone są na podstawie wartości granicznych zakresu tolerancji. Jest to uzasadnione, kiedy proces wykazuje nieuniknioną zmianę wartości średniej spowodowaną zużywaniem się narzędzia:

$$UEG = USG + k \cdot \hat{\sigma}$$

$$OEG = OSG - k \cdot \hat{\sigma}$$

Przy czym $\hat{\sigma}$ określa najlepszą wartość szacunkową nieznanego odchylenia standardowego populacji, wskaźnik „wewnętrznego rozrzutu procesu” (wcześniej ustalony rozrzut chwilowy), a współczynnik k oznacza czynnik ograniczający (np. $k = 3$). Współczynnik k ustala tak zwaną odległość bezpieczeństwa pomiędzy OEG i OSG lub UEG i USG. Odległość bezpieczeństwa jest większa, im większe jest k – oznacza to, że zmniejsza się ryzyko niezgodnej charakterystyki wyrobu. Jednocześnie zmniejsza się także odstęp OEG – UEG granic kontrolnych i tym samym dostępny dla procesu „zakres luzu”.

Przy ustaleniu czynnika ograniczającego k należy zawsze brać pod uwagę aspekty bezpieczeństwa procesu i jego ekonomiczności.

Współczynnik k może zostać obliczony również na podstawie statystycznej przy uwzględnieniu pożądanej kombinacji „prawdopodobieństwa nieingerencji” i chwilowego udziału przekroczeń. Zadany musi być „dopuszczalny” udział przekroczeń; udział przekroczeń oznacza część poza tolerancją. Nie jest to do pogodzenia z celem ciągłego doskonalenia i nowoczesnej strategii zera błędów oraz przedstawia znaczącą wadę tego rodzaju karty.

Karta Pearsona

W przypadku karty Shewharta granice kontrolne odpowiadają zakresowi rozrzutu przypadkowego wartości średnich rozkładu normalnego. Dla jednostronnie ograniczonej charakterystyki (lub ogólnie krzywo rozłożonej) i małego zakresu próbki wartości średnie próbki nie odpowiadają automatycznie rozkładowi normalnemu. Sensowne może być użycie karty Pearsona. Ma ona w przeciwieństwie do karty Shewharta tę zaletę trochę szerszej od siebie leżących granic kontrolnych. Wadą jest jednakże to, że obliczenie granicy kontrolnej jest skomplikowane i praktycznie możliwe tylko z wykorzystaniem komputera.

Karta kontrolna jakości z ruchomą wartością średnią

Z reguły przy stosowaniu kart kontrolnych do sterowania położeniem procesu zalecana jest wielkość próbki $n = 5$. W zależności od okoliczności wielkość ta może powodować problemy, na przykład w przypadku:

- kontroli z większym nakładem (badania niszczące),
- procesów, dla których wyrób jest homogenicznym medium (proces chemiczny),
- procesów z wysokim czasem cyklu,
- procesów z małym rozrzutem krótkoterminowym.

W takich przypadkach w grę wchodzi użycie ruchomej wartości średniej jako wielkości kontrolnej. Do tego celu zbierane są każdorazowo wyniki wielu pojedynczych próbek (np. 5 sztuk). Dla każdej dochodzącej wartości mierzonej nowej próbki pomija się wartość „najstarszej” części ostatniej grupy pięciu sztuk i oblicza nową wartość średnią (patrz przykład w rozdziale 8.8).

Obliczenie granic kontrolnych dla ruchomej średniej następuje w ten sam sposób jak dla „normalnej” karty wartości średnich.

Karty kontrolne jakości do kontrolowania rozrzutu procesu

Biorąc pod uwagę zdolność procesu, rozrzut procesu jest tak samo ważny jak położenie środka procesu. Jako wskaźnik rozrzutu używane jest z reguły odchylenie standardowe s . W tym miejscu zrezygnowano z przedstawienia karty rozstępu.

Sensowne jest prowadzenie karty s nie jako oddzielnej karty, lecz w celu przedstawienia drugiego wykresu w kombinacji z kartą wartości średnich. Taką kombinację nazywa się kartą $\bar{x} - s$ (por. przykłady w rozdziale 8.5 i 8.8).

Równolegle do przedstawienia wartości średniej \bar{x} każdej próbki dodatkowo naniesione zostaje jej odchylenie standardowe s_i .

Wielkość aktualnej wartości odchylenia standardowego s_i zależy od średniego rozrzutu procesu oszacowanego przez $\hat{\sigma}$ i może od próbki do próbki być przypadkowo nieco większa lub mniejsza niż długoterminowa średnia wartość \bar{s} .

Jeżeli odchylenie standardowe aktualnej próbki leży poza granicami kontrolnymi, interpretuje się to jako wskazówkę znaczącej zmiany rozrzutu procesu.

UEG_s i OEG_s są granicami obszaru rozrzutu przypadkowego s . Mogą one być obliczone za pomocą rozkładu χ^2 (chi-kwadrat) (por. formuły w rozdziale 8.8). Dla uproszczenia odpowiednie stałe dla n podano w formie tabelarycznej.

Przykład dla $n = 5$: $\text{OEG}_s = 1,927 \cdot \hat{\sigma}$

$$\text{UEG}_s = 0,227 \cdot \hat{\sigma}$$

Prowadzenie karty kontrolnej jakości

Po wprowadzeniu wartości średniej i odchylenia standardowego próbki do karty kontrolnej sprawdzane jest, czy leżą one wewnątrz przynależących granic kontrolnych, czy nie. Przekroczenie OEG lub UEG wskazuje na systematyczną zmianę procesu, na którą należy zareagować odpowiednimi działaniami (interwencja regulująca). Ingerencja jest także wtedy konieczna, kiedy pojedyncze wartości charakterystyki (mierzonej części) leżą poza zakresem tolerancji.

Przyczyny muszą zostać ustalone, a działania korygujące przeprowadzone i udokumentowane oraz musi zostać podjęta decyzja o postępowaniu z częściami wyprodukowanymi od czasu ostatniej próbki (np. akcja sortująca).

Ocena karty kontrolnej jakości

Karty kontrolne oceniane są w ustalonych odstępach czasowych. W tym celu obliczane są wskaźniki statystyczne, które przeznaczone są do oceny długoterminowego zachowania procesu. Doskonalenie procesu może być osiągnięte tylko dzięki odpowiednim działaniom. Do SPC w szerokim sensie zaliczają się działania, które przeznaczone są do korekty procesu w pożądaný sposób, stabilizacji lub polepszenia wiedzy o procesie i jego zachowaniu.

Wdrożenie karty kontrolnej jakości przed początkiem produkcji seryjnej

Nawet przed rozpoczęciem produkcji seryjnej (np. w ramach badania wydajności maszyny) można użyć QRC jako prostego graficznego narzędzia do zbierania informacji o potencjalnym zachowaniu procesu oraz do zapisywania i oceny wyników pomiarowych.

Responsywność QRC

Wprowadzenie wyników próbki do karty kontrolnej z późniejszą oceną położenia rozważanego wskaźnika dla próbki (np. wartości średniej), względnie granic kontrolnych, odpowiada testowi statystycznemu, który tylko z pewnym prawdopodobieństwem reaguje na wyniki próbki niewyjaśnione przez przypadek. Jeżeli na przykład granice kontrolne polegają na 99% zakresie rozrzutu przypadkowego, prawdopodobieństwo pomyłki wynosi 1%. Responsywność karty kontrolnej zależy szczególnie od zakresu próbki i może w przypadku karty \bar{x} być przedstawiona jako funkcja przesunięcia położenia środka procesu. To przedstawienie nazywa się linią kontrolną lub charakterystyką operacyjną (patrz przykłady w rozdziale 8.8).

8.7 Ocena procesu

W zależności od czasu trwania badania i zachowania procesu używane są różne parametry oceny procesu. Rozróżnia się z jednej strony badania krótkoterminowe/długoterminowe oraz z drugiej strony stabilne/niestabilne zachowanie procesu. Parametry można przypisać w następujący sposób:

Oznaczenie	Wymaganie standardowe	Znaczenie	Kryterium rozróżniające
P_m, P_{mk}	$\geq 1,67$	Wskaźnik wydajności maszyny (<i>machine performance index</i>)	Badanie krótkoterminowe
C_p, C_{pk}	$\geq 1,33$	Wskaźnik zdolności procesu (<i>process capability index</i>)	Badanie długoterminowe, proces stabilny
P_p, P_{pk}	$\geq 1,33$	Wskaźnik wydajności procesu (<i>process performance index</i>)	Badanie długoterminowe, proces niestabilny

Tabela 17. Wskaźniki zdolności i wydajności jakości

Procesy, które nie odpowiadają zależnym od czasu modelom rozkładu A1 lub A2, są zgodnie z definicją i klasyfikacją w DIN ISO 22514 niestabilne. Można wtedy określić tylko wskaźniki wydajności procesu P_p i P_{pk} . Z powodu niestabilności może być sensowne ustalenie wyższej wartości minimalnej P_p i P_{pk} .

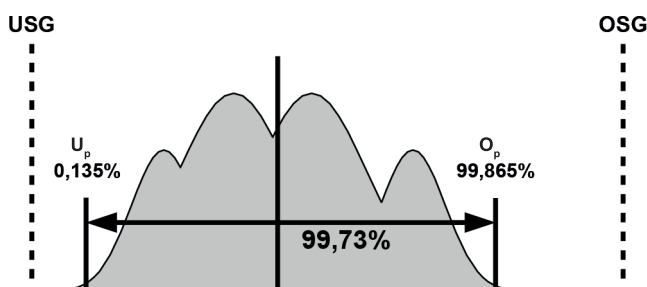
Metoda kwantylowa

Obserwowanemu (empirycznemu) rozkładowi charakterystyki musi być najpierw przypisany odpowiedni zależny od czasu model rozkładu zgodnie z rozdziałem 8.5. Następnie z wykorzystaniem metody kwantylowej (metody percentylowej) mogą zostać obliczone parametry wydajności i zdolności.

W tym celu określany jest kwantyl 0,135% (U_p), jak i kwantyl 99,865% (O_p) rozkładu. Ich ustalenie może następować ze wsparciem oprogramowania lub przy pomocy siatki prawdopodobieństwa. Kwantyle zamykają 99,73% rozkładu charakterystyki i definiują tym samym szerokość rozrzutu procesu.

W przypadku rozkładu normalnego odpowiada to obszarowi $\pm 3 s$. Dzięki metodzie kwantylowej przeniesione są tym samym procedury rozwijane pierwotnie w związku z rozkładem normalnym wiernie na dowolne rozkłady. Ich uniwersalne zastosowanie dla dowolnych rozkładów wyników procesu jest znaczącą zaletą tej metody. Alternatywne metody obliczeń przedstawione są w DIN ISO 22514.

Wielkości P_m , C_p i P_p wyznaczają tak obliczoną szerokość rozrzutu w odniesieniu do zakresu tolerancji. Położenie rozkładu charakterystyki relatywnie do wartości granicznych USG/OSG nie jest przy tym uwzględnione.



Rysunek 68. Schemat metody kwantylowej

Wskazówka: w przypadku badania wydajności maszyny problematyczne jest przyporządkowanie odpowiedniego rozkładu procesu najczęściej z powodu małej liczby dostępnych próbek. Szczególnie rozróżnienie pomiędzy zdolnością i wydajnością wydaje się wtedy niesensowne.

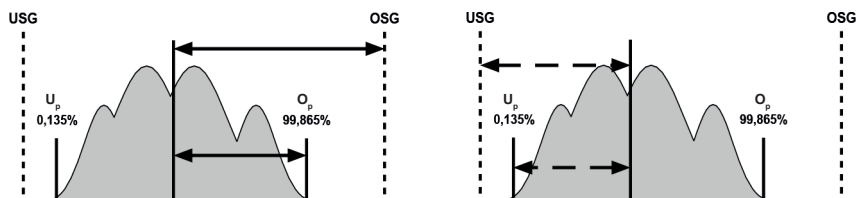
Obliczenie wskaźników zdolności jakościowej związanych z rozrzutem:

Oznaczenie	Formuła
P_m , C_p lub P_p	$\frac{OSG - USG}{O_p - U_p}$
w zależności od modelu rozkładu	

Przypadek szczególny: tylko dla charakterystyk z rozkładem normalnym szerokość rozrzutu może być oszacowana poprzez parametr rozrzutu $\hat{\sigma}$.

Efektywne parametry (minimalna zdolność/wydajność procesu)

Wielkości P_{mk} , C_{pk} i P_{pk} odzwierciedlają położenie kwantyla w odniesieniu do wartości granicznych:



Rysunek 69. Schemat obrazujący efektywne parametry

Oznaczenie	Formuła
P_{mk} , C_{pk} lub P_{pk} w zależności od modelu rozkładu	$\min \left\{ \frac{OSG - \hat{\mu}}{O_p - \hat{\mu}}; \frac{\hat{\mu} - USG}{\hat{\mu} - U_p} \right\}$

$\hat{\mu}$ jest wartością szacunkową położenia środkowego. Może ona być całkowitą wartością średnią lub medianą (50% kwantyl) rozkładu.

Wskazówka: Wartości U_p i O_p zależą od konkretnego statystycznego modelu rozkładu. W celu automatycznego przyporządkowania rozkładu musi zostać zastosowany w programie filtr rodzaju w formie testów statystycznych. W zależności od strategii oceny wybrany rozkład może być różny. Na przykład przypisanie rozszerzonego rozkładu normalnego byłoby również możliwe w ocenie zgodnie z przykładem w rozdziale 8.8, wynikłoby z tego nieco inne kwantyle i tym samym różne wartości dla P_{mk} , C_{pk} lub P_{pk} .

Zdolność procesu i tolerancje

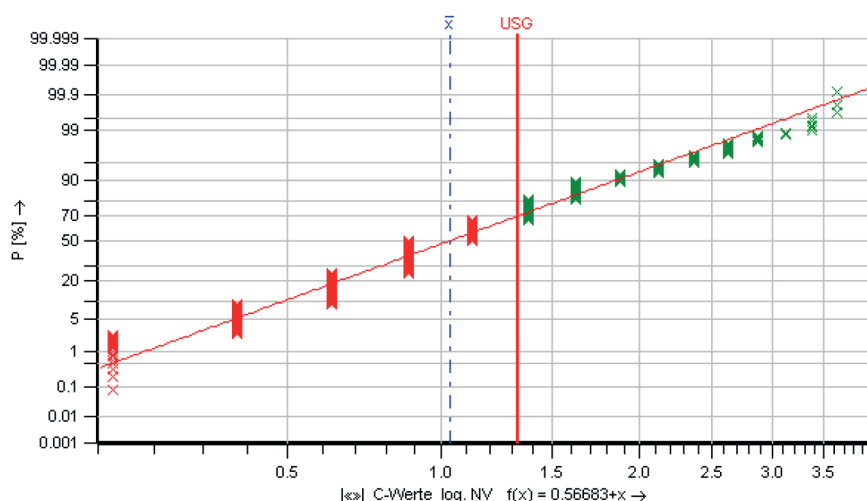
Jeżeli we wcześniej wymienionym badaniu 850 procesów (patrz rozdział 8.2) zastosowano by metodę kwantylową do obliczenia wskaźników zdolności jakościowej, wynikiem w przybliżeniu byłby rozkład tej wielkości logarytmicznie normalny.

Okolo 70% badanych procesów ma tym samym wskaźniki zdolności, które są mniejsze niż 1,33 – czyli leżą poniżej powszechnie przyjętej wartości minimalnej dla procesu zdolnego.

Dla okolo 50% badanych procesów wskaźniki zdolności leżą nawet poniżej wartości krytycznej 1,0.

Taki proces produkuje pewien odsetek części, których wartości charakterystyki leżą poza obszarem tolerancji.

Kiedy te formalnie wadliwe części zostaną wprowadzone do montażu dzięki specjalnemu dopuszczeniu i „naruszenia tolerancji” pozostaną ostatecznie nieszkodliwe dla zapewnienia funkcjonalności wyrobu końcowego, można będzie wywnioskować, że tolerancje przynajmniej w tych przypadkach od początku mogły być wybrane jako większe.



Rysunek 70. Rozkład wskaźników zdolności 850 badanych procesów

8.8 Załącznik

Formuły do obliczenia granic kontrolnych

$\bar{x} - s$ karta kontrolna jakości (karta Shewharta; proces stabilny)

Granice kontrolne dla położenia procesu (wartość średnia \bar{x}):

$$OEG = \mu + u_{1-\alpha/2} * \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad UEG = \mu + u_{1-\alpha/2} * \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

Granice kontrolne dla rozrzutu procesu (odchylenie standardowe s):

$$OEG = \sqrt{\frac{\chi^2 f; 1-\alpha/2}{f}} * \hat{\sigma} \quad UEG = \sqrt{\frac{\chi^2 f; \alpha/2}{f}} * \hat{\sigma}$$

\bar{x} karta przyjęcia

Granice kontrolne dla położenia procesu (wartość średnia \bar{x}):

$$OEG = OSG - \left(u_{1-p} + \frac{u_{1-Pa}}{\sqrt{n}} \right) * \hat{\sigma}$$

$$UEG = USG + \left(u_{1-p} + \frac{u_{1-Pa}}{\sqrt{n}} \right) * \hat{\sigma}$$

Obliczenie granic kontrolnych dla rozrzutu procesu tak jak dla karty kontrolnej Shewharta

Dalsze formuły obliczeń można znaleźć w literaturze fachowej.

Symbole

P_m, P_{mk}	Wskaźnik wydajności maszyny (<i>machine performance index</i>)
C_p, C_{pk}	Wskaźnik zdolności procesu (proces stabilny)
$\chi^2 f; 1 - \alpha/2$	Kwantyl rozkładu chi-kwadrat o f stopniach swobody dla wartości $1 - \alpha/2$
$\chi^2 f; \alpha/2$	Kwantyl rozkładu chi-kwadrat o f stopniach swobody dla wartości $\alpha/2$
m	Liczba pojedynczych próbek
$\hat{\mu}$	Wartość szacunkowa średniej populacji
$\hat{\mu}_{add}$	Rozszerzenie granic interwencji (systematyczna zmiana wartości średniej)
k	Czynnik ograniczający w karcie przyjęcia
n	Liczba wartości pojedynczych próbek
OEG	Górna granica kontrolna
OSG	Górna granica tolerancji (górna granica specyfikacji)
OGW	Górna wartość graniczna (synonim do OSG)
P_A	Pewność oceny / Pewność oszacowania
P_p, P_{pk}	Wskaźnik wydajności procesu (<i>process performance index</i>)
U_p	Wartość szacunkowa dla 0,135% kwantyla rozkładu charakterystyki
O_p	wartość szacunkowa dla 99,865% kwantyla rozkładu charakterystyki

s	empiryczne odchylenie standardowe
s_i	odchylenie standardowe próbki numer i
$\overline{s^2}$	średnia wariancja; wartość średnia kwadratów odchyłeń standardowych
$s_{\bar{x}}$	odchylenie standardowe wartości średniej
$\hat{\sigma}$	odchylenie standardowe populacji
$\hat{\sigma}$	wartość szacunkowa odchylenia standardowego populacji
T	tolerancja charakterystyki
$u_{1-\alpha/2}$	kwantyl rozkładu normalnego dla wartości $1 - \alpha/2$
u_{1-p}	kwantyl rozkładu normalnego dla wartości $1 - p$
UEG	dolna granica kontrolna
USG	dolna granica tolerancji (dolna granica specyfikacji)
UGW	dolna wartość graniczna (synonim do USG)
\bar{x}	średnia arytmetyczna
$\overline{x_i}$	wartość średnia próbki numer i
$\overline{\overline{x}}$	wartość średnia ze średnich
\tilde{x}	mediana; wartość centralna

Przykłady

Karta kontrolna dla ruchomej wartości średniej

64,5	63,3	5,1	64,7	5,4	65,1	65,9	66,1	62,8	63,3
64,1	65,8	65,9	66,9	64,2	63,7	62,8	65,2	64,4	63,3
65,6	66,1	64,0	63,3	65,1	63,6	64,5	64,5	65,5	65,8
66,0	65,4	64,6	64,9	66,5	66,2	65,5	64,6	65,7	
63,0	66,5	65,2	64,9	63,4	65,1	62,8	65,1	63,4	
65,5	66,4	63,2	65,7	64,3	65,8	66,3	64,6	65,2	
65,0	63,6	65,0	64,1	65,3	64,5	65,5	66,8	63,8	
65,9	63,3	65,3	65,4	64,6	62,0	64,6	64,7	66,1	
65,7	66,8	65,8	65,2	64,0	65,3	64,6	64,9	65,4	
65,8	65,5	63,6	67,9	66,4	64,3	65,2	65,2	65,1	
64,4	63,8	64,4	65,5	64,9	65,7	62,6	64,5	67,1	

Tabela 18. Studium przypadku

Poprzez zgrupowanie każdorazowo 3 wartości pojedynczych otrzymujemy „pseudopróbki” o zakresie $n = 3$.

$$1. \text{ Próbka: } (64,5; 64,1; 65,6) \quad \bar{x}_1 = \frac{64,5 + 64,1 + 65,6}{3} = 64,7$$

$$2. \text{ Próbka: } (64,1; 65,6; 66,0) \quad \bar{x}_2 = \frac{64,1 + 65,6 + 66,0}{3} = 65,2$$

$$3. \text{ Próbka: } (65,6; 66,0; 63,0) \quad \bar{x}_3 = \frac{65,6 + 66,0 + 63,0}{3} = 64,9$$

itd.

Z danych (tabela 18) wynika

$$\hat{\mu} = \bar{x} = 64,916 \quad \text{ i } \quad \hat{\sigma} = s_{\text{całkowite}} = 1,109$$

Wskazówka: $\hat{\mu} = \bar{x}$ jest średnią wszystkich pojedynczych wartości.

Nie jest dopuszczalne obliczenie wartości średniej całkowitej $\bar{\bar{x}}$ ze średnich kroczących \bar{x}_i , ponieważ każda wartość pojedyncza byłaby wielokrotnie uwzględniona. Odpowiednio $\hat{\sigma}$ nie może zostać obliczone z pojedynczych odchyleń standardowych s_i .

Granice kontrolne dla ruchomych wartości średnich są obliczane jak te dla „normalnych” wartości średnich (por. formuły w załączniku do tego rozdziału):

Karta położenia:

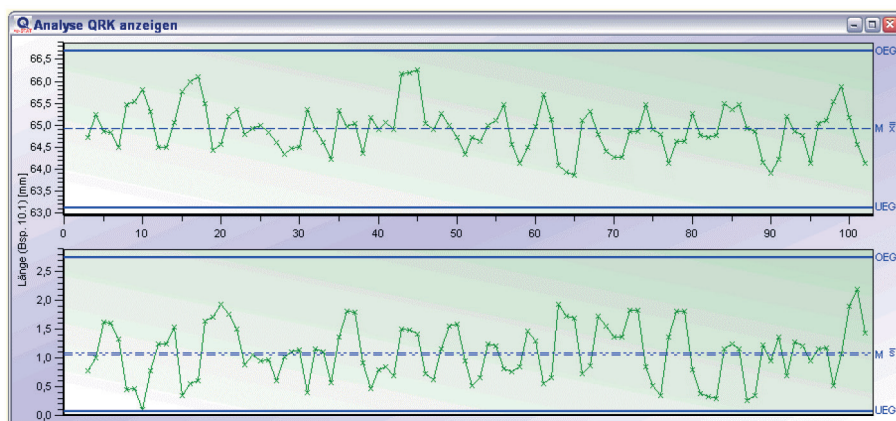
$$\text{OEG}_{\bar{x}} = \hat{\mu} + 2,578 \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{3}} = 64,916 + 2,578 \cdot \frac{1,109}{\sqrt{3}} = 66,567$$

$$\text{UEG}_{\bar{x}} = \hat{\mu} - 2,578 \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{3}} = 64,916 - 2,578 \cdot \frac{1,109}{\sqrt{3}} = 63,265$$

$$\text{OEG}_s = 2,302 \cdot \hat{\sigma} = 2,302 \cdot 1,109 = 2,55$$

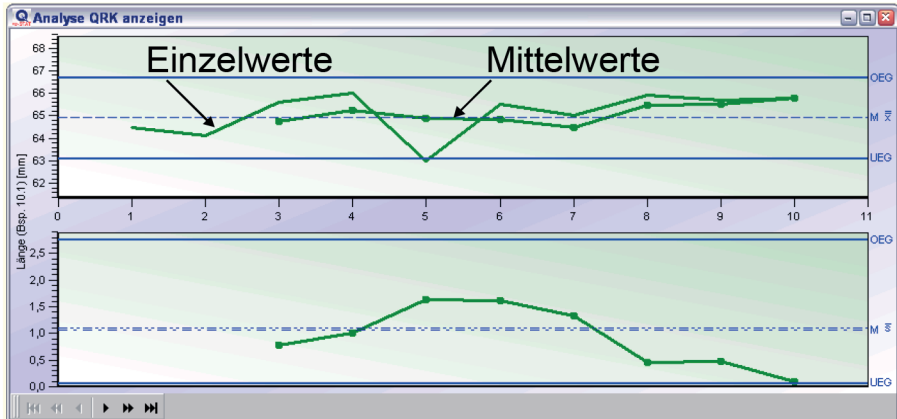
Karta rozrzutu:

$$\text{UEG}_s = 0,071 \cdot \hat{\sigma} = 0,071 \cdot 1,109 = 0,08$$



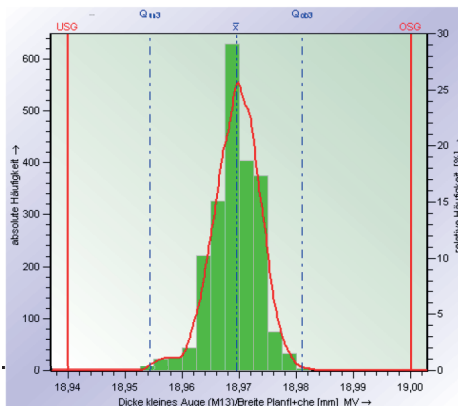
Rysunek 71. Karta Shewharta $\bar{x} - s$ z ciągłymi wartościami do danych z tabeli 18

Rysunek 72 pokazuje tylko pierwszych 10 próbek (wartości pojedyncze i parametry próbek). Ponieważ pierwsza wartość średnia i pierwsze odchylenie standardowe może być obliczone dopiero po trzeciej próbce, przynależące krzywe zaczynają się z odpowiednim opóźnieniem.



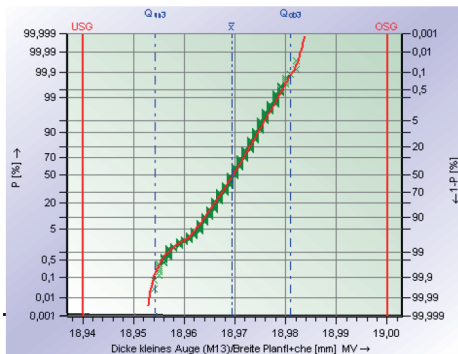
Rysunek 72. Karta kontrolna Shewharta $\bar{x} - s$ z ciągłymi wartościami dla pierwszych 10 próbek

Analiza procesu i ocena zdolności długoterminowej

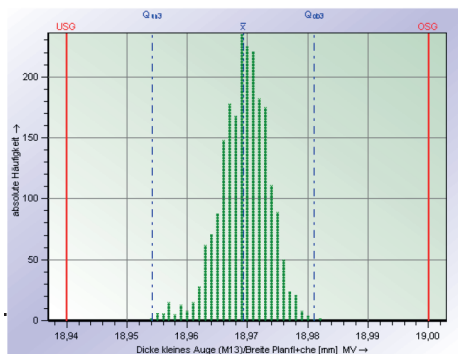


Odpowiednio skonfigurowane programy obliczeniowe są w stanie, za pomocą testów statystycznych, wybrać z dostępnych możliwości najlepiej pasujący do danych model rozkładu i przedstawić graficznie histogram; w obecnym przykładzie jest to rozkład mieszany.

Rysunek 73. Histogram



Rysunek 74. Siatka prawdopodobieństwa



Rysunek 75. Wykres słupkowy

Za pomocą siatki prawdopodobieństwa może zostać oceniona jakość dopasowania modelu. Rozkład mieszan danych wykazuje w siatce prawdopodobieństwa przebieg nieliniowy. Jakość dopasowania ukazuje się na podstawie zgodności danych pomiarowych z teoretycznym przebiegiem krzywej.

Na wykresie słupkowym przedstawiona jest częstość pojedynczych wartości przez ułożone strzałki. Obraz rozkładu jest w przeciwieństwie do histogramu niezależny od podziału na klasy. Szczególnie rozpoznawalna jest rozdzielczość systemu pomiarowego. W tym przypadku wynosi 1 μm i jest mniejsza niż 2% tolerancji, i tym samym jest wystarczająca.

Teilnr.	A1660300320	Teilebez.	/
Merkm.Nr.	130	Merkm.Bez.	Dicke kleines Auge (M13)/Breite Planfl+0
Modell-Verteilung		Mischverteilung	
Mittelwert	\bar{x}	18,969418	
Medianwert	\tilde{x}	18,97000	
Kleinstwert	x_{min}	18,9540	
GrößtWert	x_{max}	18,9820	
Spannweite	R	0,0280	
-3s Quantil	Q_{03}	18,954255	
+3s Quantil	Q_{97}	18,980979	
3s Quantilabstand	$Q_{97}-Q_{03}$	0,026724	
In Toleranz	$n_{<T>}$	2161	
zu erwartender Anteil	$p_{<T>}$	100,00000 %	
Anzahl der Werte > OSG	$n_{>OSG}$	0	
zu erwartender Anteil >OSG	$p_{>OSG}$	0,00000%	
Anzahl der Werte < USG	$n_{<USG}$	0	
zu erwartender Anteil <USG	$p_{<USG}$	0,00000%	
Anzahl Werte gesamt	n_{ges}	2162	
Anz. Werte ausgewertet	n_{eff}	2161	
potentieller Fähigkeitsindex	P_p	2,18 ≤ 2,25 ≤ 2,31	
kritischer Fähigkeitsindex	P_{pk}	1,88 ≤ 1,94 ≤ 2,00	
Die Anforderungen sind erfüllt (P_p, P_{pk})			
DaimlerChrysler (03/2004)			

Rysunek 76. Wyniki oceny

Przegląd ważnych właściwości zbioru danych i jego statystycznych parametrów uzupełnia analizę procesu.

W przykładzie powyżej podane są także parametry zdolności jakościowej P_p i P_{pk} .

Odpowiednie wymagania są spełnione.

Ocena 2160 wartości pokazuje, że położenie i rozrzut procesu nie są stabilne. Wynikiem jest rozkład mieszany z:

$$U_p = 18,954 \text{ mm} \quad \hat{\mu} = \bar{x} = 18,969 \text{ mm} \quad O_p = 18,981 \text{ mm}$$

Obliczenie wydajności procesu (*process performance*) za pomocą metody kwantylowej:

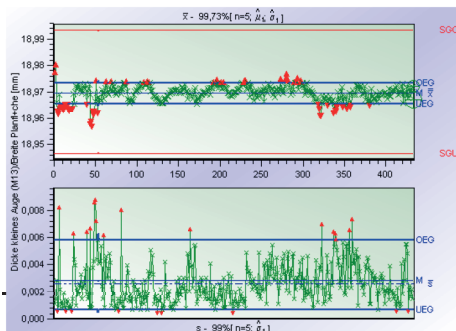
$$P_p = \frac{OSG - USG}{O_p - U_p} = \frac{19,00 - 18,94}{18,981 - 18,954} = 2,22$$

$$\frac{OSG - \hat{\mu}}{O_p - \hat{\mu}} = \frac{19,00 - 18,969}{18,981 - 18,969} = 2,58$$

$$\frac{\hat{\mu} - USG}{\hat{\mu} - U_p} = \frac{18,969 - 18,94}{18,969 - 18,954} = 1,93$$

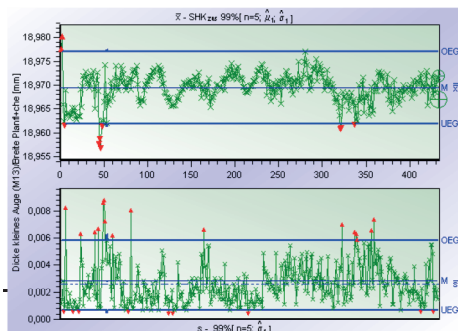
$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{OSG - \hat{\mu}}{O_p - \hat{\mu}}; \frac{\hat{\mu} - USG}{\hat{\mu} - U_p} \right\} = 1,93$$

Z powodu obliczeń z zaokrąglonymi wartościami wyniki odbiegają nieznacznie od rezultatów ustalonych z wykorzystaniem oprogramowania.

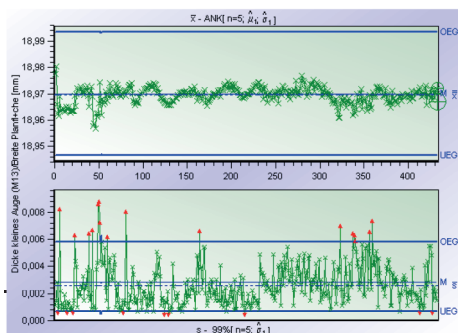


Rysunek po lewej stronie demonstruje skutek nieprawidłowego obliczenia limitu kontrolnego. Pokazana karta $\bar{x} - s$ (dla $n = 5$) pokazuje w obydwu śladach liczne naruszenia granic kontrolnych, ponieważ do ich obliczenia założono rozkład normalny.

Rysunek 77. Nieprawidłowe granice kontrolne



Rysunek 78. Prawidłowo obliczone specyficzne dla procesu granice kontrolne

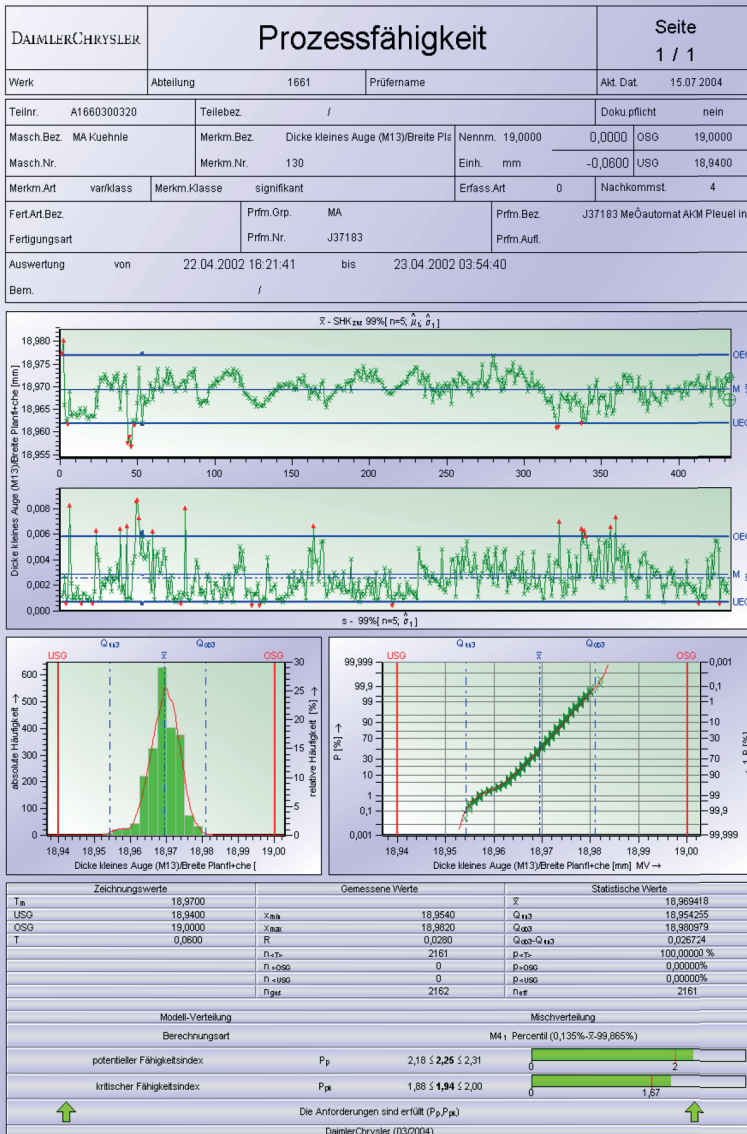


Rysunek 79. Karta przyjęcia

W celu komunikacji wyników analizy procesu uzasadnione jest wspólne przedstawienie grafik i wyników oceny na jednej stronie (patrz przykład na rysunku 80).

Jeżeli granice kontrolne obliczono przy uwzględnieniu dodatkowego rozrzutu wartości średnich, ślad średniej reaguje znacznie rzadziej.

Dla niestabilnych procesów może zostać użyta również karta przyjęcia. Granice kontrolne mają wtedy jeszcze większy odstęp od siebie niż na rysunku 77; „luz” przyznany procesowi jest znacznie większy. Jednakże zmniejszą się przez to wartości P_p i P_{pk} .



Rysunek 80. Zestawienie wyników badania

Obszary zastosowania parametrów statystycznych, procedury i narzędzia:

	Procedury	Obszar zastosowania
Parametry	<p>Wartość średnia, mediana</p> <p>Odchylenie standardowe, rozstęp</p> <p>Skośność, kurtosa, przekroczenia, wypukłość</p> <p>Współczynnik regresji</p> <p>Wskaźnik wydajności, zdolności, udział przekroczeń</p>	<p>Wartość szacunkowa położenia procesu</p> <p>Wartość szacunkowa rozrzutu procesu</p> <p>Ocena formy rozkładu</p> <p>Wypowiedź o jakości dopasowania modelu</p> <p>Wydajność i zdolność procesu</p>
Grafiki	<p>Przebieg wartości pierwotnych</p> <p>Wykres aktualnych wartości</p> <p>Histogram</p> <p>Siatka prawdopodobieństwa (pojedyncze wartości/ sklasyfikowane)</p> <p>Dystrybuenta</p> <p>Karta kontrolna jakości</p> <p>Charakterystyka operacyjna</p> <p>Siatka prawdopodobieństwa (wartości średnie)</p> <p>Siatka CHI^2</p> <p>Wykres xy</p> <p>Wykres pudełkowy (<i>Box-Plot</i>)</p>	<p>Rozpoznanie cech szczególnych, jak: przekroczenia, trendy, okresowości, wahania wartości średniej, wartości poza zakresem tolerancji</p> <p>Oszacowanie formy rozkładu, rozdzielczość środka pomiarowego, liczba wartości poza zakresem tolerancji</p> <p>Oszacowanie formy rozkładu, oszacowanie wskaźników wydajności i zdolności</p> <p>Odpowiedni model rozkładu, oszacowanie udziału przekroczeń</p> <p>Odpowiedni model rozkładu</p> <p>Ocena stabilności procesu odnośnie do położenia i rozrzutu: rozpoznanie przekroczeń przebiegów, trendów, tercji środkowej i limitów kontrolnych</p> <p>Wrażliwość kart kontrolnych jakości</p> <p>Rozpoznanie zakłóceń procesu odnośnie do położenia</p> <p>Rozpoznanie zakłóceń procesu odnośnie do rozrzutu</p> <p>Przedstawienie tolerancji pozycji; rozpoznanie zależności pomiędzy dwiema charakterystykami</p> <p>Szybki przegląd na podstawie parametrów statystycznych</p>

Procedura testowa	<p>Przypadkowość</p> <ul style="list-style-type: none"> – Swed Eisenhart – Trend 	Rozpoznanie nieprzypadkowych sekwencji wartości pojedynczych i średnich; rozpoznanie cech szczególnych takich jak trendy
	<p>Test dopasowania</p> <ul style="list-style-type: none"> – Shapiro-Wilka – χ^2 – d'Agostino – Kołmogorowa-Smirnowa – rozszerzony Shapiro-Wilka – kurtoza – asymetria 	Kryteria oceny, czy występują odchylenia od rozkładu modelu
	Matryca korelacji	Ustalenie, czy istnieją powiązania pomiędzy charakterystykami i parametrami lub pomiędzy charakterystykami
	Autokorelacja	Ustalenie, czy wewnątrz szeregu pomiarowego jednej charakterystyki występuje wpływ systematyczny w kolejnej serii pomiarów
	<p>Przekroczenia</p> <ul style="list-style-type: none"> – David, Hartley, Pearson – Grubbs 	Ustalenie, czy występują przekroczenia
	<p>Analiza wariancji</p> <ul style="list-style-type: none"> – F-test 	Ustalenie, czy istnieje rozrzut pomiędzy próbkami; oszacowanie jego wielkości
	<p>Równość wariancji</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bartlett 	Wykrywanie zmian w wariancji

8.9 Literatura

DIN – Deutsches Institut für Normung:

ISO 3534-1 Statistik, Begriffe und Formelzeichen; Teil 1:

Wahrscheinlichkeitsverteilungen und allgemeine Statistik, Beuth-Verlag.

ISO 3534-2 Statistik, Begriffe und Formelzeichen; Teil 2:

Statistische Prozesslenkung, Beuth-Verlag.

ISO 3534-3 Statistik, Begriffe und Formelzeichen; Teil 3:

Versuchsplanung, Beuth-Verlag.

DIN ISO 22514-2:2019-07, Statistische Verfahren im Prozessmanagement – Fähigkeit und Leistung – Teil 2: Prozessleistungs- und Prozessfähigkeitskenngrößen von zeitabhängigen Prozessmodellen (ISO 22514-2:2017).

DIN EN ISO 9000:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe.

Verband der Automobilindustrie (VDA e. V.). VDA-Tom 5 Prüfprozess-eignung.

Dietrich, E. & Schulze, A. (2009). *Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation* (6. Aufl.). Carl Hanser Verlag.

Geiger, W. (2013). *Qualitätslehre*. Springer Vieweg.

Pfeifer, T. & Schmitt, R. (2014). *Masing Handbuch Qualitätsmanagement*. Carl Hanser Verlag.

Timischl, W. (2012). *Qualitätssicherung*. Carl Hanser Verlag.

Magnusson, K., Kroslid, D. & Bergman, B. (2001). *Six Sigma umsetzen*. Carl Hanser Verlag.

Breyfogle, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma*. Wiley.

9 Metoda 8D

Wprowadzenie do rozwiązywania problemów w 8 dyscyplinach

W przemyśle stosuje się różne podejścia do rozwiązywania problemów. Poniżej opisano rozwiązywanie problemów w 8 dyscyplinach (8D).

Metoda może zostać zastosowana, gdy przyczyna źródłowa problemu nie jest znana. Tworzące proces rozwiązywania problemów 8 dyscyplin opiera się na całościowym usunięciu problemu, poczynawszy od jego opisu, aż po skuteczne unikanie ponownego wystąpienia jego przyczyny źródłowej.

Można w niej wyróżnić trzy uzupełniające się aspekty. Pojęcie „8D” opisuje:

- standardową metodę rozwiązywania problemów,
- proces rozwiązywania problemów,
- formę raportu.

Skuteczne i efektywne rozwiązywanie problemów bazuje na interdyscyplinarnym podejściu i wymaga zaangażowania koniecznych dla rozwiązywania problemów kompetencji całej organizacji.

Rodzaj metod i narzędzi użytych w ramach rozwiązywania problemów w 8 dyscyplinach oraz zakres ich zastosowania są dobierane przez zespół w zależności od stopnia złożoności problemu, który ma zostać rozwiązany.

Metoda 8D

Pod pojęciem metody 8D definiuje się 8 elementów, które nazwano dyscyplinami:

- D1 – Zespół ds. rozwiązywania problemów
- D2 – Opis problemu
- D3 – Działania natychmiastowe
- D4 – Analiza przyczyn źródłowych

- D5 – Wybór i weryfikacja działań korygujących
- D6 – Realizacja i walidacja działań korygujących
- D7 – Zapobieganie ponownemu wystąpieniu błędu
- D8 – Zakończenie i uznanie sukcesu zespołu

Metoda 8D bazuje w szczególności na następujących zasadach:

Zorientowanie na fakty

Rozwiązywanie problemów, podejmowanie decyzji oraz planowanie bazują na rzeczywistych liczbach, danych i faktach (FDF; ang. *figures, data and facts* – przyp. tłum.), a nie na przypuszczeniach.

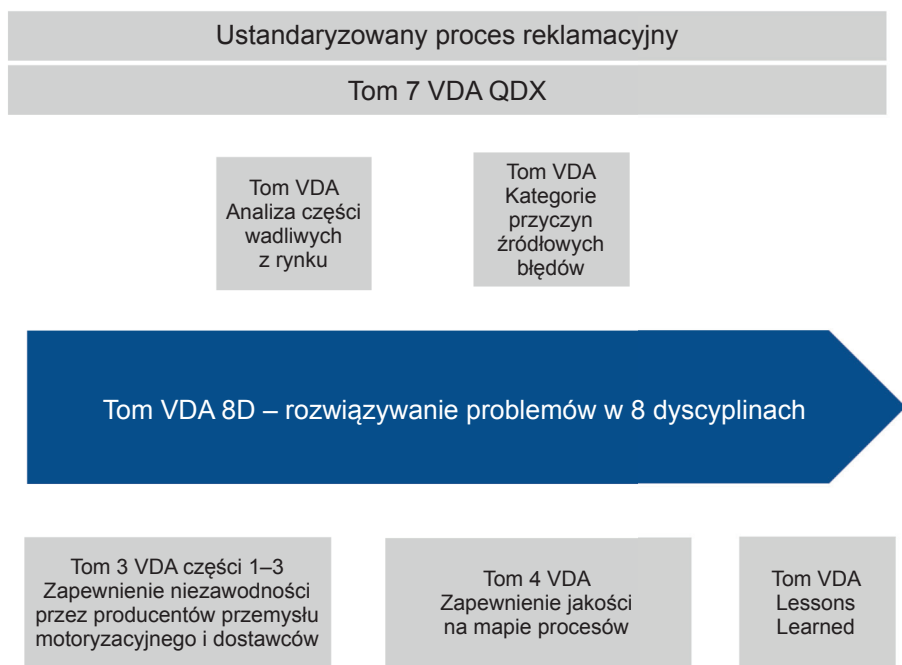
Zorientowanie na przyczynę źródłową

Rozwiązywanie problemów charakteryzuje się tym, że ich przyczyny źródłowe zostają przeanalizowane i trwale usunięte za pomocą odpowiednich działań.

Zorientowanie na zespół

Rozwiązywanie problemów bazuje na podejściu interdyscyplinarnym.

W ramach rozwiązywania problemów za pomocą metody 8D w zależności od rodzaju lub złożoności problemu stosuje się dalsze metody.

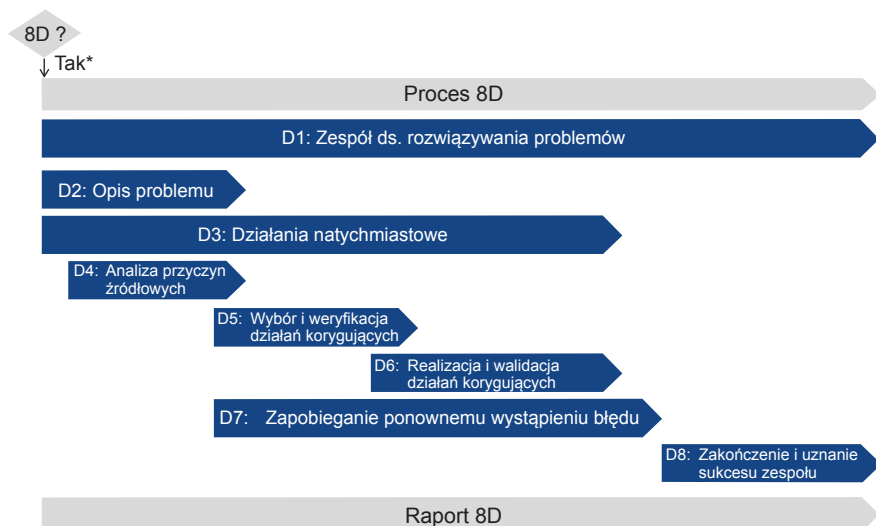


Rysunek 81. Związek pomiędzy tomem VDA 8D a innymi podręcznikami VDA

Proces 8D

Jako proces 8D należy rozumieć współdziałanie i wzajemne oddziaływanie dyscyplin, które przebiegają po części równolegle. Rozwiązywanie problemów metodą 8D często wymaga interakcji między poszczególnymi krokami procesu 8D.

Tym samym wyłącznie sekwencyjne rozpatrywanie 8 dyscyplin nie jest wystarczające dla skutecznego i efektywnego rozwiązywania problemów.



Rysunek 82. Przegląd procesu 8D

Raport 8D

Raport 8D to szczegółowa, ciągła dokumentacja procesu trwałego rozwiązywania problemów na jego poszczególnych krokach.

Raport 8D obejmuje dokumentację postępu rozwiązywania problemów oraz plany dotyczące jeszcze niedokończonych działań.

Biorąc pod uwagę relację klient–dostawca, wymiana informacji za pomocą raportu 8D zapewnia każdorazowo transparentność statusu systematycznego i ustrukturyzowanego opracowywania problemów z trwałym rozwiązywaniem problemów.

VDA udostępnia zalecane szablony raportu 8D oraz pozostałych metod (diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy, metoda 5x dlaczego, analiza jest/nie jest, macierz decyzyjna) jako dokumenty PDF na stronie internetowej: <https://8d.vda-qmc-tools.de>.

Wymiana raportu 8D może następować w wersji papierowej, jak i w formie elektronicznej (np. QDX).

Zastosowanie metody 8D do rozwiązywania problemów

Rozwiązywanie problemów 8D ma ogólne zastosowanie. Jej przykładowe obszary zastosowania to:

- reklamacje 0 km,
- reklamacje z fazy użytkowania,
- reklamacje wewnętrzne i zewnętrzne,
- problemy ze sprzętem/oprogramowaniem,
- niespełnienie umowy o gwarantowanym poziomie świadczenia usług (*Service-level-agreements*),
- niezgodności dotyczące bezpieczeństwa,
- niezgodności z audytu,
- niedostępność usług (przestój).

Metoda 8D służy do zespołowego rozwiązywania złożonych problemów i dlatego nie jest zalecana w każdym przypadku.

Przed rozpoczęciem rozwiązywania problemów za pomocą metody 8D należy zdecydować o jej użyciu na podstawie dostępnych informacji. Jeżeli nie są dostępne żadne informacje dotyczące problemu lub dostępne informacje są niewystarczające, zastosowanie metody nie jest skuteczne.

Niezbędne kryteria decyzyjne dotyczące zastosowania metody 8D

1. Dostępny jest pełny i zrozumiały opis stwierdzonych niezgodności
ORAZ
2. Znalezienie rozwiązania problemu wykracza poza możliwości pojedynczej osoby

Wymagania w organizacji

Zawartość i zakres procesu rozwiązywania problemów musi być częścią składową systemu zarządzania w organizacji. Informacje i wnioski

uzyskane w procesie rozwiązywania problemów powinny być uwzględniane w ocenie ryzyka i w procesach eskalacji. Należy ustalić specyficzne dla organizacji wytyczne dotyczące dokumentacji (łącznie z raportami 8D).

Opis kroków procesu w 8 dyscyplinach

D1 Zespół ds. rozwiązywania problemów

Celem kroku procesu D1 jest wyznaczenie sponsora, kierownika zespołu oraz jak najlepszego zespołu ds. rozwiązywania problemów, dostosowanego do specyficznego przypadku.

D2 Opis problemu

Celem kroku procesu D2 jest zrozumienie problemu w jego powiązaniach oraz zastosowanie wykrytej niezgodności w konkretnym, opartym na faktach opisie problemu.

Opis problemu to proste, precyzyjne stwierdzenie na temat obiektu i niezgodności, których przyczyna źródłowa jest nieznana.

Opis powinien być jak najdokładniejszy, a w razie potrzeby należy w nim również uwzględnić otoczenie problemu (np. procesy/komponenty będące częścią złożonego systemu). Istotę problemu należy zidentyfikować i określić ilościowo. Wszystkie wymagane dane są dostępne i podane analizie pozwalającej na zrozumiałe opisanie skali problemu (liczba zainfekowanych części, wersji, pojazdów itp.).

D3 Działania natychmiastowe

Celem kroku D3 jest zdefiniowanie działań natychmiastowych, mających doprowadzić do pełnej eliminacji skutków problemu w stosunku do klientów zewnętrznych i wewnętrznych. Należy wdrożyć działania natychmiastowe i zapewnić ich skuteczność aż do czasu walidacji wdrożonych działań korygujących (D6). Wszystkie działania natychmiastowe służą bezwłócznemu ograniczeniu szkód i zależą od specyficznych wymagań (oprogramowanie, usługi, sprzęt itp.).

D4 Analiza przyczyn źródłowych

W kroku procesu D4 ustalane i weryfikowane są faktyczne przyczyny będące podstawą problemów – przyczyny źródłowe. Dzieje się to na podstawie opisu problemu (D2) i analizy jest/nie jest oraz przy uwzględnieniu wiedzy z działań natychmiastowych (D3). Celem jest zidentyfikowanie zarówno technicznych, jak i systemowych przyczyn źródłowych wystąpienia błędu oraz jego niewykrycia.

D5 Wybór i weryfikacja działań korygujących

Celem kroku procesu D5 jest opracowanie, wybór i weryfikacja działań korygujących dla zidentyfikowanych w D4 (analiza przyczyn źródłowych) technicznych i systemowych przyczyn źródłowych występowania i niewykrycia.

Działania korygujące są dobierane na podstawie ich udowodnionej skuteczności oraz przy uwzględnieniu efektywności. Dowód skuteczności należy udokumentować.

Powinno się wybrać optymalne, trwałe działania korygujące. Należy udowodnić, np. w drodze testów, że działania te usuwają problem trwale oraz nie powodują żadnych niepożądanych skutków.

W ten sposób uzyskuje się zatwierdzony plan działań z ustalonymi docelowymi terminami, planem zasobów oraz odpowiedzialnościami dla wybranych działań korygujących.

D6 Realizacja i walidacja działań korygujących

Celem kroku D6 jest realizacja wybranych, trwałych działań korygujących. Ocenia się trwałe działania korygujące oraz obserwuje się długoterminowe wyniki. Działania natychmiastowe są usuwane/anulowane po wdrożeniu i walidacji trwałych działań korygujących.

D7 Zapobieganie ponownemu wystąpieniu błędu

Cel kroku D7 polega na zidentyfikowaniu i udokumentowaniu działań, które długofalowo zapewniają trwałe unikanie ustalonych przyczyn źródłowych dla porównywalnych wyrobów lub procesów, dostosowując system w myśl standaryzacji.

Wynik stanowi przygotowanie i przekazanie pozyskanej wiedzy do innych procesów, takich jak Lessons Learned.

D8 Zakończenie i uznanie sukcesu zespołu

Celem kroku procesu D8 jest zakończenie pracy zespołowej, uznanie osiągnięć indywidualnych oraz całego zespołu, a także jego rozwiązanie.

Wynikiem jest ukończony raport 8D.

10 Metoda 5x dlaczego (5-Why)

10.1 Wprowadzenie

Metoda 5-Why służy identyfikacji obok technicznych przyczyn problemu także powodów niewykrycia problemu, jak i umożliwieniu systemowego spojrzenia na problem. Metoda 5-Why jest narzędziem, które uzupełnia metodę rozwiązywania problemów 8D.

Podobnie jak inne narzędzia w analizie problemów, pochodzenie metody 5-Why jest powszechnie postrzegane w Japonii i przypisywane Sakichiemu Toyodzie. Technika pytań 5x dlaczego stała się znana w latach czterdziestych, między innymi dzięki systemowi produkcyjnemu Toyoty (TPS; ang. *Toyota Production System*).

Zasadniczo metoda 5-Why analizuje, począwszy od opisu problemu i poprzez badanie za pomocą pytania „Dlaczego?”, źródłowe przyczyny problemu. Znalezione przyczyny (techniczne i systemowe przyczyny źródłowe dla wystąpienia i niewykrycia) są zamieniane na ulepszenia jakości i procesu. Postępowanie to umożliwia skuteczne rozwiązywanie problemu i zapobiega jego ponownemu wystąpieniu.

Metoda 5-Why może być stosowana zarówno samodzielnie, jak i w połączeniu z metodą 8D, przy czym faworyzowana jest ta ostatnia. W obydwu przypadkach należy przestrzegać podstawowych reguł, zanim rozpoczęta zostanie analiza 5-Why. Wewnątrz metody rozwiązywania problemów 8D stosowana jest metoda 5-Why na podstawie opisu problemu z kroku D2 i używana jako narzędzie identyfikacji przyczyn źródłowych w kroku D4 [1].

10.2 Podstawy

W celu właściwego i skutecznego stosowania metody 5-Why muszą być przestrzegane następujące podstawowe zasady:

1. Jasny i zrozumiały opis problemu

Analiza 5-Why następuje na podstawie jasnego i zrozumiałego opisu problemu. W opisie problemu powinny zostać wyjaśnione następujące kwestie:

- Co dokładnie się stało?
- Gdzie wystąpił problem?
- Kiedy lub w jakim czasie zauważono problem?
- Kto był zaangażowany? Kto odkrył problem?
- Jakie były skutki problemu?
- Być może wykonany został szkic lub zdjęcie, które wyjaśnia problem.

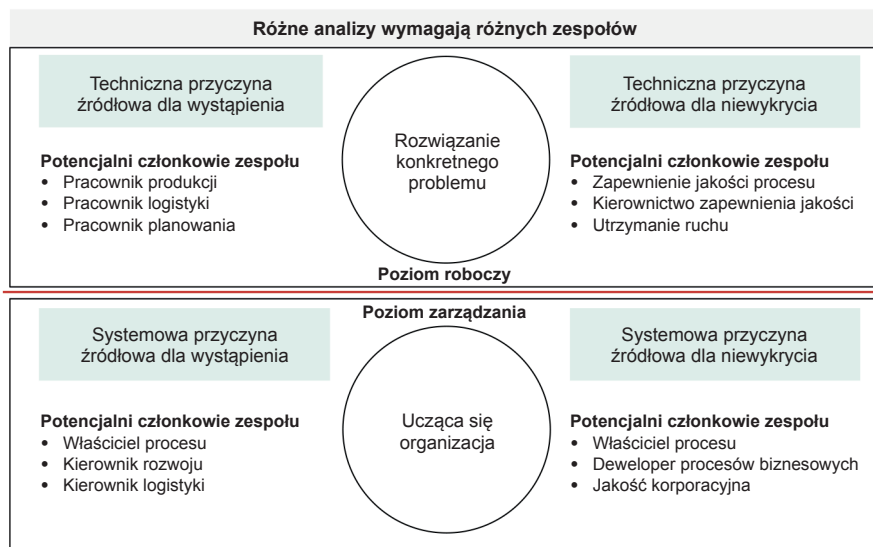
Jasny opis problemu, wspierany przez cały zespół, określa zakres analizy.

2. Znajomość punktu wyjściowego problemu w procesie

Wiedza na temat dokładnego wystąpienia problemu i powodującego go procesu, ustalona w idealnym przypadku na miejscu za pomocą „Gemba”, umożliwia pewne wejście w łańcuch przyczynowy 5-Why i określa wymagany skład zespołu. Określenie „Gemba” pochodzi z języka japońskiego i oznacza „właściwe/rzeczywiste miejsce”. „Go to Gemba” lub „Gemba walk” oznacza proces zbierania informacji bezpośrednio tam, gdzie ma miejsce tworzenie wartości. Tylko tam można zaobserwować zarówno aktywności tworzenia wartości, jak i błędy bezpośrednio w procesie. Problemy odkryte podczas obserwacji mogą być dzięki temu szybko i prosto analizowane. Aby możliwa była szczegółowa analiza, informacje powinny być zbierane podczas Gemba w małych krokach, tak aby odtwarzalne było połączenie pomiędzy poszczególnymi krokami procesu.

3. Specjaliści w zespole 5-Why

Niezbędne do przeprowadzenia analizy metodą 5-Why są osoby zaangażowane w problem. W ten sposób w dyskusji mogą zostać uwzględnione wszystkie istotne perspektywy. W zależności od sytuacji potrzebni są specjaliści, którzy potrafią ocenić możliwe przyczyny i konsekwencje problemu.



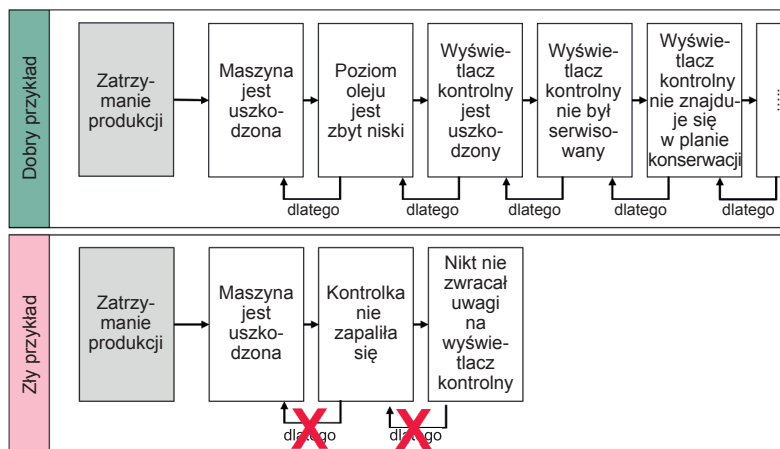
Rysunek 83. Możliwi członkowie zespołu w zależności od poziomu analizy

4. Nie rób założeń – tylko dane i fakty

Ciąg logiczny musi bazować na faktach – założenia, przypuszczenia lub niejasne sformułowania nie są dozwolone. Fakty lub zestawy danych zbierane są bezpośrednio od pracowników, którzy są zaangażowani w proces.

5. Sprawdzenie łańcucha przyczynowego

Łańcuch przyczynowy musi być zamknięty, tzn. „pozostać na obiekcie i jego zależnościach” i nie pomijać przy tym żadnych logicznych kroków (zapewnić związek z problemem). Przejście do następnego kroku dlaczego wymaga tego, że faktycznie znaleziona została odpowiedź na poprzedzające dlaczego. Na końcu jest to możliwe tylko przy logicznym, niewątpliwym odwróceniu i może być sprawdzone za pomocą „dlatego”



Rysunek 84. Przykład logicznego i nielogicznego łańcucha przyczynowego

10.3 Techniczne i systemowe przyczyny źródłowe

Kompletna analiza przyczyn źródłowych określa techniczne i systemowe przyczyny wystąpienia i niewykrycia problemu.

W ujęciu technicznym zadaje się pytanie, dlaczego mógł powstać problem i dlaczego nie został wykryty.

W ujęciu systemowym zadaje się pytanie, dlaczego system zarządzania dopuścił ustalone techniczne przyczyny źródłowe (pozwolił, nie uniknął).

Opracowanie przyczyn systemowych następuje po identyfikacji technicznych przyczyn źródłowych dla wystąpienia i niewykrycia. Techniczne przyczyny źródłowe stanowią tym samym punkt wyjściowy analizy przyczyn systemowych (patrz rysunek 85).

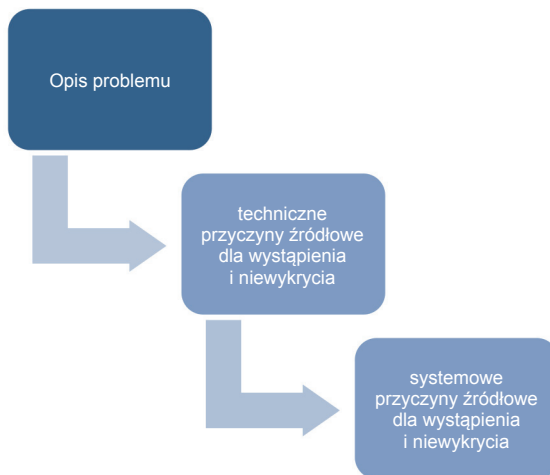
Ogólnie systemowa przyczyna źródłowa jest błędem definicji, tzn. błędem lub słabością w definicji. Może on bazować na opisie, instrukcji pracy lub podręczniku.

W przeciwieństwie do tego techniczna przyczyna źródłowa dla wystąpienia i niewykrycia jest błędem wykonania. Odwołuje się ona do użycia, zastosowania definicji.

Można zatem powiedzieć, że systemowe przyczyny źródłowe tworzą warunki brzegowe dla przyczyn technicznych, tak aby te mogły wystąpić i pozostać niezauważone. Jasne zarządzanie i strategia zarządzania są niezbędne do rozwiązywania tych problemów. Metoda 5-Why wspiera powiązania systemowe.

10.4 Opis przebiegu analizy

Metoda 5-Why pomaga określić związek przyczynowo-skutkowy powstałego problemu. Identyfikacja przyczyn za pomocą pytania „Dlaczego wystąpił problem?” jest istotą trwałego rozwiązania problemu. Punktem wyjściowym jest opis problemu, który bada się za pomocą metody 5-Why. Każde kolejne pytanie „dlaczego” prowadzi do źródła w łańcuchu procesu albo przebiegu i tym samym głębiej w organizację i jej zachowanie. Tak więc pytania o warunki, które spowodowały wystąpienie problemu i nie zostały wykryte, prowadzą do pytań o przyczyny systemowe, które dopuściły do wystąpienia problemu.



Rysunek 85. Przebieg analizy 5-Why

Liczba 5 jest tylko wartością empiryczną, której użyto w nazwie metody. Konieczna liczba kroków „dlaczego” zależy między innymi od punktu wyjściowego, złożoności problemu, jak i doświadczenia oraz dyscypliny użytkownika.

Ogólny przebieg obejmuje trzy kroki:

1. W pierwszym kroku do przeprowadzenia metody 5-Why konieczny jest jasny i zrozumiały opis problemu. Bazuje on na analizie szczegółowych danych i analizie procesu, dostarczając wymaganego punktu wyjścia w powodującym błąd przebiegu procesu, jak i w obserwowanych warunkach brzegowych. Bez tej wiedzy metoda 5-Why nie będzie skuteczna.
2. Bezpośrednio po następuje analiza przyczyn. Metoda 5-Why wykorzystuje pytanie „Dlaczego?”. Po odpowiedzi na pierwsze „Dlaczego?” następuje kolejne „Dlaczego?”. Odpowiedzi nie zawierają przypuszczeń, ale są oparte na zweryfikowanych danych i faktach. To postępowanie jest powtarzane tak długo, aż znalezione zostaną techniczne przyczyny źródłowe problemu dla wystąpienia i niewykrycia.

3. Po tym, jak techniczne przyczyny źródłowe zostaną ustalone, pozostaje znaleźć systemowe przyczyny źródłowe problemu dla wystąpienia i niewykrycia.

Pierwsze dwa kroki przeprowadzane są zwykle przez specjalistów. Krok trzeci wymaga aktywnej współpracy zarządzających odpowiedzialnych za proces.

Jeżeli analiza jest zakończona, tworzone są działania do zidentyfikowanych przyczyn. Możliwe działania rozwiązywania problemu są bardzo różne odnośnie do rodzaju i zasięgu po każdym kroku dlatego – zwiększając głębokość analizy przyczyn źródłowych. Im głębsza staje się analiza, tym bardziej rozległe są działania. Decydujące w poszukiwaniu przyczyny jest pytanie, czy odpowiednie działanie wykluczy niebezpieczeństwo powtórzenia się problemu. Tylko kiedy odpowiednie działanie zapobiegnie także podobnym przyczynom zasadniczo i systematycznie pod kątem wystąpienia i niewykrycia, znaleziona została faktyczna przyczyna źródłowa i łańcuch 5-Why może być zakończony.

10.5 Mocne i słabe strony

Wyzwania

Głównym wyzwaniem w metodzie 5-Why jest zwrócenie uwagi na określenie prawdziwego powodu (właściwe „dlaczego”). Wymaga to myślenia w kontekście. Dlatego konieczna jest konsekwentna próba uchwycenia prawdziwych powodów (i włączenia dodatkowych danych lub osób) [3].

Mocne strony

Metoda 5-Why jest nieskomplikowana, szybko przyswajalna i możliwa do zastosowania. Metoda może zostać użyta niezwłocznie i wszędzie. Oferuje ona szybką i skuteczną pomoc w poszukiwaniu przyczyn problemu. Zachęca również do pracy zespołowej, podczas której wspólnie zadaje się pytania i na nie odpowiada. Metoda wymusza uzyskanie całościowego obrazu procesu, który automatycznie wyodrębnia widok zależności [3].

Słabe strony

Podczas gdy prostota metody jest jej najmocniejszą stroną, jest jednocześnie jej słabością. Metoda 5-Why nie jest wystarczająca przy złożonych problemach, aby kompleksowo wyjaśnić zależności, ponieważ często do problemu prowadzi więcej przyczyn. Metoda 5-Why pokrywa każdorazowo tylko jedną przyczynę. Odpowiedzi jednego ciągu 5-Why nie mogą być często uznawane jako jedyne odpowiedzi. W tym przypadku konieczne jest prześledzenie wielu „korzeni” analizy przyczyn [3].

10.6 Literatura

- [1] VDA (2018). *8D – rozwiązywanie problemów w 8 dyscyplinach. Metoda, proces, raport* (wydanie pierwsze). Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA).
- [2] Wichert, O. (2012). *5-Why-Methode*.
- [3] Sondalini, M. (2013). *Understanding How to Use The 5-Whys for Root Cause Analysis*.

11 Wybór zapobiegawczych metod zarządzania jakością

11.1 Wprowadzenie

Zapobiegawcze metody zarządzania jakością (metody QM) są ważnym składnikiem każdego systemu zarządzania jakością. Przyczyniają się one znacząco do skutecznego zarządzania przedsiębiorstwem w celu spełnienia oczekiwań klienta, realizacji solidnych procesów i wprowadzania na rynek niezawodnych wyrobów.

Celem spełnienia narodowych i międzynarodowych wymagań normatywnych i prawnych metody QM wnoszą znaczący wkład w całym cyklu życia wyrobu (np. FMEA dla kontroli homologacyjnych).

Zalecenia i wymagania zastosowania zapobiegawczych metod QM prowadzą w przedsiębiorstwie często do pytania o efektywność ich stosowania.

W przypadku metod stosowanych od dawna w codziennej praktyce takich jak FMEA czy SPC ich użycie ocenione jest empirycznie jako skuteczne ze względu na wykryte błędy lub wykryte odchylenia w procesie.

Jednakże brakuje dla nich, jak i dla wielu opisanych w tym podręczniku zalecanych zapobiegawczych metod QM wskaźników obiektywnej oceny ich przydatności.

Aby zachować wysoką niezawodność wyboru i zastosowania metod zapobiegawczych, przeprowadzone zostały obszerne badania międzynarodowe. Z wyników tych badań grupa robocza VDA rozwinęła procedurę, która pozwala zarówno wybrać najbardziej odpowiednią metodę do zastosowania lub rozwiązania problemu, jak i określić korzyści.

Przy wyborze metod i podczas rozwoju oceny przydatności założono, że metoda jakości lub podstawowe narzędzie (ang. *tool*) przyporządkowane jest w ramach opisanych poniżej trzech kategorii prewencji i zalecane jest w opisie procesu podczas realizacji wyrobu, jest zatem brane pod uwagę w mapie procesów.

Prewencja oznacza zapobieganie. Większości błędów i problemów nie można rozpoznać wyraźnie od razu, ale powstają one w czasie cyklu życia wyrobu lub pojawiają się dopiero po pewnym czasie. Należy unikać tych błędów poprzez aktywne zapobieganie.

Oprócz podejścia indywidualnego ryzyka mogą być zidentyfikowane i zminimalizowane także dzięki zmianom w przedsiębiorstwie, przykładowo poprzez użycie metod, ustawienie procesów i przestrzeganie ustalonych norm i wytycznych.

W ten sposób uniknąć można powstania błędów i problemów. Znalezione jest to pod określeniem „prewencja pierwszego rzędu” (np. użycie FMEA w rozwoju wyrobu koła pojazdu Formuły 1, aby uniknąć uszkodzenia zawieszenia koła). Jeżeli błąd lub problem zostanie wcześniej rozpoznany, szczególnie duże są możliwości usunięcia i uniknięcia błędu.

Natomiast „prewencja drugiego rzędu” opisuje przeprowadzanie regularnych kontroli i tym samym spójne wykrywanie i korygowanie błędów, zanim klient otrzyma wyrób do przetworzenia lub użytkowania (np. intensywny nadzór nad charakterystykami i kontrola w trakcie produkcji koła pojazdu Formuły 1 w celu zapewnienia jakości wyrobu; w produkcji seryjnej poprzez SPC).

Nawet z poważnymi błędami i problemami można zrobić wiele w ramach „prewencji trzeciego rzędu” (np. linka przy kole pojazdu Formuły 1 w celu ochrony widzów), celem uniknięcia zwiększenia ryzyka i szkód następnych. Dzięki zastosowaniu solidnych wyrobów i procesów konsekwencje błędów można utrzymać w akceptowalnych granicach, nawet w przypadku wystąpienia błędu.

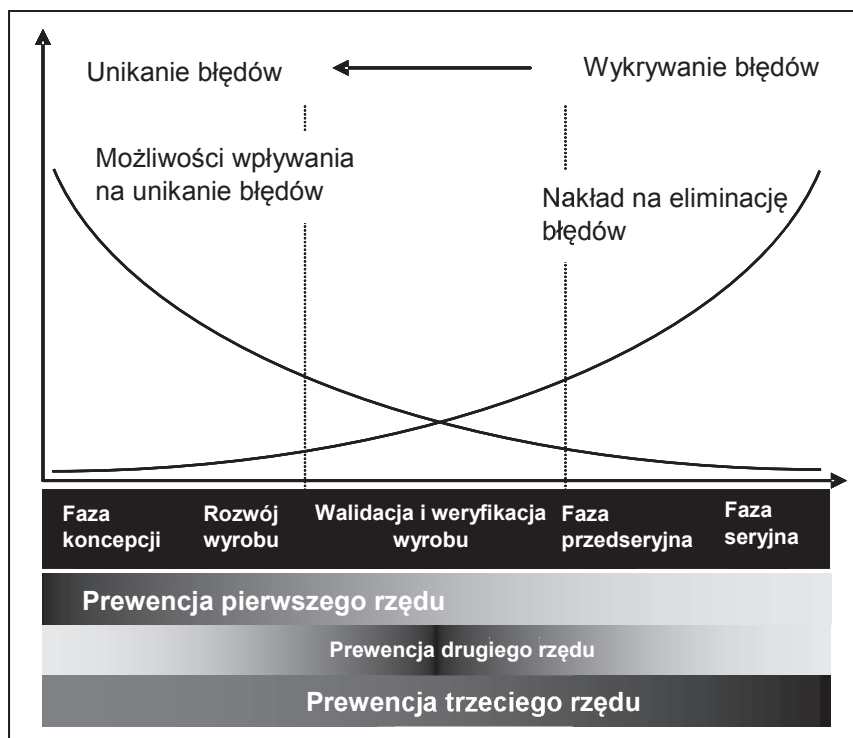
W metodach podstawowych stosowanych do wyboru i rozważania korzyści wymienione zostały oprócz klasycznych metod prewencji pierwszego rzędu także metody drugiego i trzeciego rzędu. Poza tym opisane zostały podstawowe narzędzia, które służą do bezpośredniego wsparcia w stosowaniu ogólnych metod prewencyjnych (np. obliczenie regresji, ANOVA).

Te elementarne narzędzia stosowane są często w mapie procesów i opisane są w poprzednich rozdziałach.

W opisanym postępowaniu wyboru prewencyjnych metod QM należy założyć, że ostateczne ustalenie stosowanej metody według rodzaju i zakresu leży w odpowiedzialności osoby, która go używa.

Oznacza to, że stosowane mogą być także specyficzne dla przedsiębiorstwa definicje i procedury w pracy metodycznej, gdy odpowiadają one zawartości opisanych metod.

Ten rozdział dzięki wskazówkom sprawdzającym ekonomiczność powinien jeszcze bardziej przekonać czytelnika do regularnego stosowania prewencyjnych metod zarządzania jakością tam, gdzie wskazują na to niniejsze wytyczne.

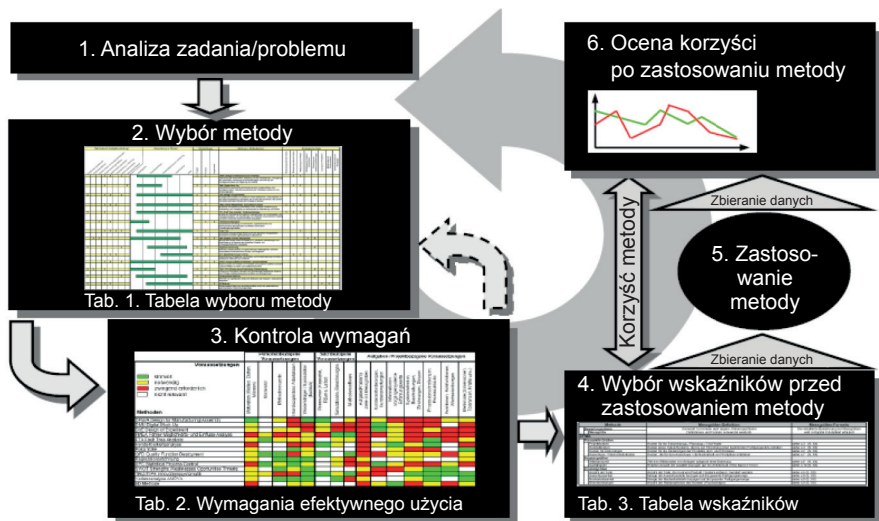


Rysunek 87. Związek pomiędzy możliwością wpływania na unikanie błędów i nakładem na usuwanie błędów

11.2 Proces wyboru metod i ocena korzyści

W celu wyboru odpowiednich metod prewencyjnych QM stworzony został proces 6 kroków. Należy go stosować ze świadomością, że ocena korzyści metody prewencyjnej QM może następować w wielu przypadkach tylko pośrednio. W niektórych przypadkach ocena korzyści odnosi się do wyników, które można osiągnąć, stosując metodę, w innych przypadkach poniesione podczas stosowania nakłady uwzględnione są w ocenie wyników.

Wybór, ocena i ustalenie korzyści prewencyjnej lub towarzyszącej procesowi metody QM są przedstawione i opisane na poniższym rysunku.



Rysunek 88. Przedstawienie procesu 6 kroków

Krok 1: Analiza zadania/problemu

Najważniejszym krokiem wyboru metody jest najpierw dokładna analiza istniejącego zadania lub problemu.

Tylko wtedy można zapewnić, że wybrana metoda będzie użyta na prawdę efektywnie i korzyść będzie odpowiednio wysoka.

Zasadniczymi pytaniami analizy zadania/problemu są:

O jaki rodzaj zadania/problemu chodzi lub jaki cel powinien zostać osiągnięty przy zastosowaniu danej metody?

- Rozwiązanie problemu
- Metoda kreatywności
- Wdrożenie wymagań klienta
- Zapobieganie błędom
- Oszczędności
- Sterowanie i bezpieczeństwo procesu
- Osiągnięcie solidności
- Metoda symulacji

W jakiej fazie procesu powstawania wyrobu występuje zadanie/problem i czy wymagane jest zastosowanie metody?

- Faza koncepcji
- Rozwój wyrobu
- Walidacja i weryfikacja wyrobu
- Faza przedseryjna
- Faza seryjna

Na co powinien być ukierunkowany efekt w istniejącym zadaniu/problemie?

- wyrób
- proces
- system (procesy biznesowe, organizacja...)

Poszukiwania odpowiedniej metody lub kilku wchodzących w grę metod (tzn. jaki cel powinien zostać osiągnięty przy stosowaniu danej metody) wspierają poniższe cele strategiczne.

- Redukcja kosztów zewnętrznych
- Redukcja kosztów wewnętrznych
- Dotrzymanie celów kosztowych/klienta
- Dotrzymanie wymagań funkcyjnych
- Rozwiązanie problemów

- Wykrycie przyczyn problemu
- Standaryzacja procesów

Po uzyskaniu odpowiedzi na pytania z powyższych punktów następuje krok drugi: wybór jednej z wymienionych poniżej metod przy użyciu tabeli wyboru metody (tabela 19, strona 232).

- DFMA
- DMU
- DoE
- FMEA
- FTA
- Analiza wykonalności
- Poka-Yoke
- QFD
- Obliczenie regresji
- SPC
- Analiza mocnych/słabych stron (SWOT)
- TRIZ
- Analiza wariancji (ANOVA)
- Metoda 8D

Krok 2: Wybór metody

Tabela wyboru metody przedstawia wymagania z kroku 1 w przejrzystej formie i prowadzi do wyboru jednej lub więcej opisanych tutaj metod, które nadają się do rozwiązania zadania. Należy przy tym przestrzegać skrótego opisu metody, aby wyjaśnić, czy wybrana metoda (wybrane metody) jest faktycznie użyteczna (są faktycznie użyteczne) w realizacji zadania.

Jeżeli zgodnie z tabelą do wyboru jest więcej wchodzących w grę metod, zaleca się wykorzystanie analizy korzyści metody, która z pomocą skali punktowej ustala wartość korzyści metody. Wartość ta pozwala na ustalenie hierarchii metod odnośnie do ocenionych kryteriów.

Krok 3: Kontrola warunków wstępnych

Aby osiągnąć efektywność użycia metody, konieczne jest spełnienie zdefiniowanych specyficznych dla metody warunków wstępnych.

Warunki te wymienione są w rozdziale 11.3.3 i przynależącej tabeli 21 oraz powinny być koniecznie uwzględnione przed zastosowaniem metody.

Tabela ta podzielona jest na trzy główne kategorie:

- Warunki związane z personelem
- Warunki rzeczowe
- Warunki związane z zadaniem/projektem

Szczegółowo do tych trzech kategorii należą:

- Warunki związane z personelem
 - motywacja (chcieć, móc, musieć)
 - moderator
 - ekspert metody
 - zespół interdyscyplinarny
 - nośniki wiedzy/specjaliści (techniczni)
- Warunki rzeczowe
 - zasoby (wydajność, pomieszczenia, laboratoria)
 - symulacje, obliczenia
 - oprogramowanie metod
- Warunki związane z zadaniem/projektem
 - zadanie/problem (cele ze wskaźnikami)
 - wymagania klienta, oczekiwania klienta
 - informacje, systemy poprzedzające, doświadczenie
 - definicja systemu, opisy, rysunki, szkice

- opisy procesu, przebiegi procesu
- funkcje, błędy funkcji, oddziaływania wzajemne
- charakterystyki (wymiały, tolerancje, siły itd.)

Jeżeli z tej tabeli wynika, że (obligatoryjne) niezbędne wymagania nie mogą zostać spełnione, niezbędny jest krok wstecz do punktu 2 lub ponowne przeprowadzenie analizy korzyści metody.

Krok 4: Wybór wskaźników przed zastosowaniem metody

W tym miejscu zostaną przedstawione wskaźniki, które powinny pomóc w ustaleniu korzyści wymienionych metod (por. tabela 22: Tabela wskaźników).

Przed zastosowaniem metody następuje zbieranie danych dla przyporządkowanych do wybranych metod wskaźników. Ze względu na zbieranie danych przed zastosowaniem metody i porównanie tych wartości z wartościami zebranymi po zastosowaniu metody możliwe jest ustalenie korzyści przeprowadzonej metody.

Należy przy tym uwzględnić, że podczas zbierania danych przed zastosowaniem metody i po jej zastosowaniu obowiązują takie same warunki brzegowe w celu zapewnienia porównywalności.

Krok 5: Zastosowanie metody

Podczas stosowania wybranej metody należy uwzględnić warunki wstępne wymienione w rozdziale 11.3.3. Obowiązują warunki z trzech grup:

- warunki związane z personelem,
- warunki techniczne,
- warunki związane z zadaniem/projektem.

Metody opisane zostały szczegółowo w poprzednich rozdziałach.

Jeżeli ma zostać przeprowadzona analiza pod względem ekonomicznym, wydatki na przeprowadzenie metody muszą zostać odnotowane.

Krok 6: Ocena przydatności po zastosowaniu metody

Po zastosowaniu metody następuje ponowne zbieranie danych dla wybranych wskaźników.

Za pomocą oceny danych przed zastosowaniem metody i po jej zastosowaniu można wykazać ustalone potencjały i ocenić, czy zostały osiągnięte zdefiniowane cele.

Na zakończenie powinna nastąpić generalna ocena całościowego zastosowania metody, aby wyciągnąć wnioski ze zgodności/rozwiązania istniejącego problemu.

W tym celu przeprowadzone zostanie z jednej strony porównanie wskaźników i ew. rozpatrzenie pod kątem ekonomicznym, z drugiej strony ogólna ocena metody:

- Czy problem/zadanie zostało rozwiązane w zadowalającym stopniu?
- Czy udało się osiągnąć oczekiwaną efektywność?
- Czy jakość została znacznie poprawiona?

Jeżeli metoda nie dała pożądanых/wymaganych wyników, może być konieczne ew. powtórzenie procedury.

Pewną rolę mogłyby tu odegrać następujące punkty:

- Problem/zadanie nie zostało właściwie przeanalizowane, tak że doszło do zastosowania błędnych warunków wstępnych przy wyborze metody.
- Konieczne warunki wstępne nie zostały uwzględnione przed zastosowaniem metody.
- Wybór wskaźników doprowadził do nieprzekonujących wyników.

11.3 Wyjaśnienia, tabele wyboru metod i oceny korzyści

11.3.1 Analiza zadań i problemów

Podstawą każdej systematycznej pracy z metodami QM jest ustalenie dotkniętego lub rozpatrywanego systemu (wyrób, proces, organizacja lub podobne) z:

- opisem systemu (nazwa systemu),
- granicami systemu (łącznik, interfejsy),
- wejściem systemu (energia, materiał, informacje),
- wyjściem systemu (energia, materiał, informacje),
- zawartością systemu (struktura systemu, procesy, zmiany, rysunki lub podobne).

Następnym krokiem jest wyprowadzenie zadania/opisu problemu z

- pytaniami, które stawiane są systemowi, i
- celami, które powinny zostać osiągnięte.

Pomocne w tym celu mogą być listy kontrolne, katalogi pytań, zlecenie projektu lub podobne. Dopiero z tymi informacjami możliwy jest wybór metody QM, która wspiera pełne i długotrwałe opracowanie zadania.

11.3.2 Wybór metody

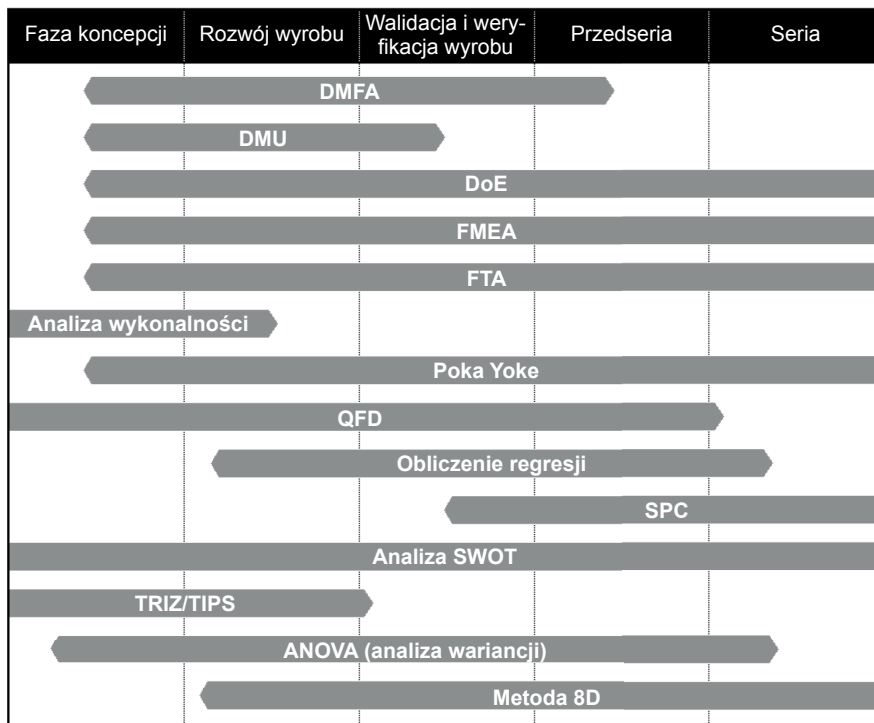
Podstawą skutecznego wyboru metody jest zebranie i ocena celów, które powinny zostać osiągnięte dzięki stosowaniu danej metody w obszarze technicznym/projekcie/procesie. Wymagane jest uwzględnienie szeregu warunków wstępnych dla zastosowania metody (patrz rozdział 11.3.3).

Tabela wyboru metody wspiera wybór odpowiedniej metody prewencyjnej QM. W zależności od postawionego zadania istnieje możliwość wejścia pod kątem rodzaju metody, fazy w procesie powstawania wyrobu, kierunku działania i celów strategicznych.

Przegląd metod podczas realizacji wyrobu

Tak jak pokazano w tabeli wyboru metody, prewencyjne metody QM stosowane są w różnych fazach realizacji wyrobu, przy czym środek ciężkości zastosowania różni się czasowo w zależności od metody.

Te różne fazy stosowania metod przedstawione są na poniższym rysunku:



Rysunek 89. Zastosowanie metod w fazach realizacji wyrobu

Zastosowanie tych metod nie jest ograniczone wyłącznie do przedstawionych przedziałów czasowych.

Priorytetyzacja metod (analiza korzyści metody, niem. MNA, Methodennutzenanalyse – przyp. tłum.)

Zastosowanie metod jakości oferuje zarówno przedsiębiorstwu, jak i pojedynczemu pracownikowi szereg zalet (korzyści), stawia jednakże określone wymagania (nakłady) przedsiębiorstwu i personelowi. Analiza korzyści metody służy do ułatwienia wyboru i rozpoznania korzyści zastosowania metod.

Zalety/korzyści zastosowania metody dla przedsiębiorstwa

Wysoka jakość wykonania, optymalne użycie wydajności, krótkie czasy rozwoju, niskie koszty rozwoju, niskie koszty wytwarzania, ukierunkowane przestrzeganie wymagań, wysoka elastyczność, świadome postępowanie ze zmianami, możliwe do oszacowania ryzyko szczątkowe.

Nakład dla przedsiębiorstwa

Udostępnienie odpowiednich środków (struktury IT, oprogramowanie, narzędzia, pomieszczenia), odpowiednie kwalifikacje pracowników (szkolenie), zaplanowanie i zmobilizowanie wymaganych wydajności (czas i siła robocza), włączenie osób do moderacji i motywacji/innowacji.

Korzyść dla pracowników

Niskie ryzyko osobiste, niska presja czasowa, mniej chaosu, ukierunkowana i zaplanowana praca, więcej zadowolenia z realizacji zamierzeń, lepsze informacje, dokumentacja i przegląd, wyraźniejsze powiązania.

Nakład dla pracowników

(głównie w obszarze osobistym)

Pozytywne nastawienie do pracy metodycznej, gotowość do poznania i wypróbowania metod, chęć współpracy.

Procedura

Na początku ustalane i przedstawiane (krótki opis) są zadania lub pytania, które powinny zostać opracowane za pomocą metody QM. W ten sposób mogą zostać wybrane jedna lub więcej metod QM lub procedur spośród znanej i dostępnej puli metod (skrzynka z narzędziami) (patrz krok 1 i 2 metody 6 kroków).

Jeśli możliwe jest zastosowanie więcej niż jednej metody QM, ocena wybranych metod może zostać przeprowadzona na podstawie kryteriów takich jak nakłady, czynniki ekonomiczne i czynniki zastosowania przy użyciu tabeli analizy przydatności metod (patrz tabela 20). Wynik otrzymany z wartości w trzech kategoriach równa się korzyści metody ($MNA = \text{nakład} \cdot \text{czynniki ekonomiczne} \cdot \text{czynniki zastosowania}$).

Porównanie wartości korzyści metod wszystkich alternatyw dostarcza hierarchii metod QM odnośnie do ocenionych kryteriów oraz argumentów dla użycia tych metod QM.

W celu przeprowadzenia oceny niezbędne jest odpowiednie doświadczenie oceniającego w zakresie działania, nakładu i korzyści wybranych i rozpatrywanych metod QM.

Wynik

Zrozumiała i porównywalna przydatność metod oraz hierarchia alternatyw.

niższa wartość MNA = niekorzystne zastosowanie metody

wyższa wartość MNA = pozytywne zastosowanie metody

Zmiany z poziomu na poziom (patrz kursywa)

Wartość	Nakład	Wartość	Korzyść komercyjna	Wartość	Korzyść operacyjna
1	wysoki nakład czasu, wymagany zewnętrzny moderator, duży zespół, skomplikowane oprogramowanie, wysokie inwestycje	1	niski potencjał doskonalenia, brak działania prewencyjnego, niespełnione żadne wymaganie prawne, brak wpływu pieniężnego, kosztowna dokumentacja	1	skomplikowane zastosowanie, używany tylko do celów specjalnych, zrozumiałe tylko dla specjalistów, niska znajomość, brak wsparcia
2	wysoki nakład czasu, zewnętrzny moderator, zespół, wymagane oprogramowanie, wysokie inwestycje	2	niski potencjał doskonalenia, <i>niskie działanie prewencyjne</i> , niespełnione żadne wymaganie prawne, brak wpływu pieniężnego, <i>ciężka dokumentacja</i>	2	skomplikowane zastosowanie, <i>użyteczny tylko sporadycznie, trudny do zrozumienia</i> , niska znajomość, brak wsparcia
3	<i>średni nakład czasu</i> , wymagany zewnętrzny moderator, zespół, wymagane oprogramowanie, wysokie inwestycje	3	niski potencjał doskonalenia, niskie działanie prewencyjne, niespełnione żadne wymaganie prawne, brak wpływu pieniężnego, <i>dokumentacja</i>	3	skomplikowane zastosowanie, użyteczny tylko sporadycznie, trudny do zrozumienia, niska znajomość, dostępne wsparcie
4	średni nakład czasu, <i>wymagany moderator</i> , zespół, wymagane oprogramowanie, <i>inwestycje</i>	4	<i>średni potencjał doskonalenia</i> , niskie działanie prewencyjne, niespełnione żadne wymaganie prawne, <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , dokumentacja	4	celowe zastosowanie, <i>dobre w użyciu</i> , trudny do zrozumienia, <i>średnia znajomość</i> , dostępne wsparcie
5	średni nakład czasu, wymagany moderator, <i>zespół</i> , <i>sensowne oprogramowanie</i> , inwestycje	5	średni potencjał doskonalenia, niskie działanie prewencyjne, niespełnione żadne wymaganie prawne, <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dobra dokumentacja</i>	5	celowe zastosowanie, dobre w użyciu, <i>dobrze zrozumiałe</i> , średnia znajomość, dostępne wsparcie
6	średni nakład czasu, wymagany moderator, <i>mały zespół</i> , sensowne oprogramowanie, <i>niskie inwestycje</i>	6	średni potencjał doskonalenia, <i>dobre działanie prewencyjne</i> , <i>spełnione wymagania prawne</i> , <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dobra dokumentacja</i>	6	celowe zastosowanie, dobre w użyciu, <i>dobrze zrozumiałe</i> , średnia znajomość, <i>dobre wsparcie</i>

Wartość	Nakład	Wartość	Korzyść komercyjna	Wartość	Korzyść operacyjna
7	<i>mały nakład czasu, sensowny moderator, mały zespół, sensowne oprogramowanie, niskie inwestycje</i>	7	średni potencjał doskonalenia, dobre działanie prewencyjne, <i>dobrze spełnione wymagania prawne</i> , istniejący wpływ pieniężny, dobra dokumentacja	7	celowe zastosowanie, dobre w użyciu, <i>dobrze zrozumiałe, wysoka znajomość</i> , dobre wsparcie
8	<i>mały nakład czasu, sensowny moderator, mały zespół, brak oprogramowania, brak inwestycji</i>	8	<i>wysoki potencjał doskonalenia</i> , dobre działanie prewencyjne, dobrze spełnione wymagania prawne, istniejący wpływ pieniężny, dobra dokumentacja	8	celowe zastosowanie, <i>powszechne użycie</i> , <i>dobrze zrozumiałe</i> , wysoka znajomość, dobre wsparcie
9	<i>mały nakład czasu, prosta moderacja, mały zespół, brak oprogramowania, brak inwestycji</i>	9	wysoki potencjał doskonalenia, dobre działanie prewencyjne, dobrze spełnione wymagania prawne, <i>udokumentowany wpływ pieniężny w €, jasna dokumentacja</i>	9	celowe zastosowanie, powszechne użycie, <i>bardzo dobrze zrozumiałe</i> , wysoka znajomość, dobre wsparcie
10	<i>mały nakład czasu, prosta moderacja, bez zespołu, oprogramowanie nie jest potrzebne, brak inwestycji</i>	10	wysoki potencjał doskonalenia, dobre działanie prewencyjne, dobrze spełnione wymagania prawne, <i>udokumentowany wpływ pieniężny w €, jasna, prosta dokumentacja</i>	10	<i>łatwe zastosowanie</i> , powszechne użycie, <i>bardzo dobrze zrozumiałe</i> , wysoka znajomość, <i>bardzo dobre wsparcie</i>

Tabela 20. Tabela analizy przydatności metod

Wraz z definicją zadania/pytania w zespole (przynajmniej interdyscyplinarnym, idealnie uzupełnionym przez „egzotyki”) i/lub formułowaniem alternatywnej definicji zadania/pytania rośnie prawdopodobieństwo, że temat będzie od początku właściwie rozpoznany i oceniony oraz wybrane zostaną optymalne metody. Ślepotą operacyjną nie kończy się na ekspertach, a doświadczony personel produkcji lub także potencjalny użytkownik bez głębokiej wiedzy fachowej (np. „pożyczka” z administracji) mają – bez osądzania – inne spojrzenie na ryzyka i potencjały niż inżynierowie. Celem powinno być zawsze czasowe poluzowanie homogeniczności takich grup projektowych.

Przykład priorytetyzacji metod

Rozpatrywany system i zadanie

Rozwój „elektrycznego” hamulca dla pojazdów (*brake by wire*).
Wymagane rozwiązanie innowacyjne.

Priorytetyzacja wybranych, możliwych metod QM
(krok 1 i 2 procesu 6 kroków):

- a) TRIZ/TIPS (▲)
b) QFD (■)

Wartość	Nakład	Wartość	Korzyść komercyjna	Wartość	Korzyść operacyjna
1	wysoki nakład czasu, wymagany zewnętrzny moderator, duży zespół, skomplikowane oprogramowanie, wysokie inwestycje	1	niski potencjał doskonalenia, brak działania prewencyjnego, niespełnione żadne wymagania prawne, brak wpływu pieniężnego, kosztowna dokumentacja	1	skomplikowane zastosowanie, używany tylko do celów specjalnych, zrozumiałe tylko dla specjalistów, niska znajomość, brak wsparcia
2	wysoki nakład czasu, zewnętrzny moderator, zespół, wymagane oprogramowanie, wysokie inwestycje	2	niski potencjał doskonalenia, <i>niskie działanie prewencyjne</i> , niespełnione żadne wymagania prawne, brak wpływu pieniężnego, <i>ciężka dokumentacja</i>	2	skomplikowane zastosowanie, <i>użyteczny tylko sporadycznie</i> , trudny do zrozumienia, niska znajomość, brak wsparcia
3	<i>średni nakład czasu</i> , wymagany zewnętrzny moderator, zespół, wymagane oprogramowanie, wysokie inwestycje	3	niski potencjał doskonalenia, niskie działanie prewencyjne, niespełnione żadne wymagania prawne, brak wpływu pieniężnego, <i>dokumentacja</i>	3	skomplikowane zastosowanie, użyteczny tylko sporadycznie, trudny do zrozumienia, niska znajomość, dostępne wsparcie
4	<i>średni nakład czasu</i> , <i>wymagany moderator</i> , zespół, wymagane oprogramowanie, <i>inwestycje</i>	4	<i>średni potencjał doskonalenia</i> , niskie działanie prewencyjne, niespełnione żadne wymagania prawne, <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dokumentacja</i>	4 ▲	celowe zastosowanie, <i>dobrze w użyciu</i> , trudny do zrozumienia, <i>średnia znajomość</i> , dostępne wsparcie
5 ■	<i>średni nakład czasu</i> , wymagany moderator, <i>zespół</i> , <i>sensowne oprogramowanie</i> , inwestycje	5 ■	<i>średni potencjał doskonalenia</i> , niskie działanie prewencyjne, niespełnione żadne wymagania prawne, <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dobra dokumentacja</i>	5 ■	celowe zastosowanie, dobre w użyciu, <i>dobrze zrozumiałe</i> , <i>średnia znajomość</i> , dostępne wsparcie
6 ▲	<i>średni nakład czasu</i> , wymagany moderator, <i>mały zespół</i> , <i>sensowne oprogramowanie</i> , <i>niskie inwestycje</i>	6	<i>średni potencjał doskonalenia</i> , <i>dobre działanie prewencyjne</i> , <i>spełnione wymagania prawne</i> , <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dobra dokumentacja</i>	6	celowe zastosowanie, dobre w użyciu, <i>dobrze zrozumiałe</i> , <i>średnia znajomość</i> , <i>dobrze wsparcie</i>
7	<i>mały nakład czasu</i> , <i>sensowny moderator</i> , <i>mały zespół</i> , <i>sensowne oprogramowanie</i> , <i>niskie inwestycje</i>	7 ▲	<i>średni potencjał doskonalenia</i> , <i>dobre działanie prewencyjne</i> , <i>dobrze spełnione wymagania prawne</i> , <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dobra dokumentacja</i>	7	celowe zastosowanie, dobre w użyciu, <i>dobrze zrozumiałe</i> , <i>wysoka znajomość</i> , <i>dobrze wsparcie</i>
8	<i>mały nakład czasu</i> , <i>sensowny moderator</i> , <i>mały zespół</i> , <i>brak oprogramowania</i> , <i>brak inwestycji</i>	8	<i>wysoki potencjał doskonalenia</i> , <i>dobre działanie prewencyjne</i> , <i>dobrze spełnione wymagania prawne</i> , <i>istniejący wpływ pieniężny</i> , <i>dobra dokumentacja</i>	8	celowe zastosowanie, <i> powszechne użycie</i> , <i>dobrze zrozumiałe</i> , <i>wysoka znajomość</i> , <i>dobrze wsparcie</i>
9	<i>mały nakład czasu</i> , <i>prosta moderacja</i> , <i>mały zespół</i> , <i>brak oprogramowania</i> , <i>brak inwestycji</i>	9	<i>wysoki potencjał doskonalenia</i> , <i>dobre działanie prewencyjne</i> , <i>dobrze spełnione wymagania prawne</i> , <i>udokumentowany wpływ pieniężny w €</i> , <i>jasna dokumentacja</i>	9	celowe zastosowanie, <i> powszechne użycie</i> , <i>bardzo dobrze zrozumiałe</i> , <i>wysoka znajomość</i> , <i>dobrze wsparcie</i>

Wartość	Nakład	Wartość	Korzyść komercyjna	Wartość	Korzyść operacyjna
10	mały nakład czasu, prosta modelacja, <i>bez zespołu</i> , oprogramowanie nie jest potrzebne, brak inwestycji	10	wysoki potencjał doskonalenia, dobre działanie prewencyjne, dobrze spełnione wymagania prawne, udokumentowany wpływ pieniężny w €, jasna, <i>prosta dokumentacja</i>	10	<i>łatwe zastosowanie</i> , powszechne użycie, bardzo dobrze zrozumiałe, wysoka znajomość, <i>bardzo dobre wsparcie</i>

Ocena metod za pomocą powyższej tabeli

Mnożąc poszczególne wartości dla danej metody, otrzymujemy poszczególne wartości całkowite:

a) TRIZ/TIPS = 168
(wynik mnożenia poniższych czynników)

Nakład	6
Korzyść komercyjna	7
Korzyść operacyjna	4

b) QFD = 125
(wynik mnożenia poniższych czynników)

Nakład	5
Korzyść komercyjna	5
Korzyść operacyjna	5

Zalecenie

Zastosowanie metody TRIZ/TIPS, ponieważ została osiągnięta najwyższa ocena MNA i najlepiej spełnione będzie dążenie do uzyskania innowacji.

11.3.3 Kontrola warunków wstępnych

Praktyczna i teoretyczna praca z metodami QM zaowocowała wieloma warunkami wstępnymi, które są mniej lub bardziej odrębne dla rozważanych metod QM i przedstawione zostały w poniższej tabeli 21.

Warunki wstępne	Warunki wstępne związane z personelem						Warunki wstępne rzeczowe			Warunki wstępne związane z zadaniem/projektem					
	Motywacja (chcieć, móc, musieć)	Moderator	Ekspert metody	Zespół interdyscyplinarny	Naukowcy/specjaliści (techniczni)	Zasoby (wydajność, pomieszczenia, laboratoria)	Symulacje, obliczenia	Oprogramowanie metody	Zadanie (problem), cel i wskaźniki	Wymagania klienta, oczekiwania	Informacje, systemy poprzedzające, doświadczenie	Definicja systemu, opisy, rysunki, szkice	Opis procesu, przebiegi procesu	Funkcje, błędy funkcji, interakcje	Charakterystyki/specyfikacje (wymiar, tolerancje, siły itd.)
<div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div> <div><div>sensowne</div><div>niezbędne</div><div>obowiązkowe</div><div>nie dotyczy</div></div>															
Methods															
DFMA Design for Manufacturing Assembly															
DMU Digital Mock Up															
DoE Design of Experiments															
FMEA Failure Mode and Effects Analysis															
FTA Fault Tree Analysis															
Analiza wykonalności															
Poka-Yoke															
QDF Quality Function Deployment															
Obliczenie regresji															
SPC Statistical Process Control															
SWOT Strength-Weaknesses/Opportunities-Threats															
TRIZ/TIPS Theory Innovative Problem Solving															
ANOVA															
Metoda 8D															

Tabela 21. Warunki wstępne efektywnego zastosowania

Objaśnienie warunków wstępnych

Warunki wstępne związane z personelem

Motywacja

Aby skutecznie stosować metody QM, muszą być w wystarczającym stopniu dostępne 3 czynniki: „chcieć, musieć i móc”. Jeżeli przynajmniej jeden z czynników jest niski lub równy zero, użycie metod QM nie jest sensowne, względnie skuteczne. „Chcieć” wynika z przekonania i świadomości jakościowej pracowników, „musieć” ogólnie wymuszone jest wpływami zewnętrznymi (np. prawo, normy, technika). „Móc” wynika przede wszystkim ze wsparcia kierownictwa (przejęcia odpowiedzialności) i organizacyjnych warunków ramowych.

Moderator

Aby efektywnie prowadzić pracę metodyczną, która możliwa jest w wielu przypadkach tylko w zespole, ze względów organizacyjnych wymagana względnie sensowna jest moderacja. Zadanie może być także przejęte przez kierownictwo projektu lub osobę, która posiada kwalifikacje w zakresie odpowiedniej metody.

Ekspert metody

Podstawą efektywnego wykorzystania metod QM są wysoka wiedza metodyczna i elastyczne dopasowanie (uwzględnienie wzajemnych możliwości wsparcia) metody do specyficznych warunków zastosowania i celów, tzn. bez mechanicznego zastosowania. Wybranie i zastosowanie do zadania właściwej metody we właściwym czasie jest zadaniem ekspertów, którzy opanowali szerokie spektrum metod.

Zespół interdyscyplinarny

Budowa zespołu interdyscyplinarnego z wynikających z zadania jednostek organizacyjnych zapewnia bezpośrednie i równoległe opracowanie oraz jest podstawą dobrej komunikacji.

Naukowcy/specjaliści (techniczni)

Aby za mocno nie obciążać wydajności naukowców i specjalistów, celowe jest angażowanie ich tylko w specjalnych tematach.

Wstępne warunki techniczne

Zasoby (np. wydajności, pomieszczenia, laboratorium)

W zależności od zakresu zadania i rodzaju metody należy zaplanować wymagane odpowiednie wydajności w formie czasu członków zespołu, środków rzeczowych, zapotrzebowania na pomieszczenie i wydajności laboratorium.

Symulacje, obliczenia

Dla szeregu metod nieodzownym wymaganiem jest użycie komputerów do symulacji, tworzenia analiz oraz statystyk.

Oprogramowanie metod

Zasadniczo możliwe jest wykorzystanie metod bez oprogramowania, jednakże zastosowanie oferowanego na rynku oprogramowania metod ma wiele zalet (systematyczne, prowadzone postępowanie; szybkość, bezpośrednia, pewna dokumentacja itp.).

Warunki wstępne związane z zadaniem/projektem

Zadanie (problem), cele ze wskaźnikami

Zastosowanie metody bez zadania i mierzalnego celu nie jest możliwe, względnie sensowne.

Wymagania klienta, oczekiwania klienta

Praca prewencyjna i zastosowanie metody bazują na wymaganiach i oczekiwaniach zewnętrznych i wewnętrznych klientów (partnerów procesowych).

Informacje, systemy poprzedzające, doświadczenie

Systemy poprzedzające i doświadczenie są w wielu przypadkach podstawą optymalizacji i innowacji. Powiązana wiedza musi być przygotowana i wykorzystana.

Definicja systemu, opisy, rysunki, szkice

W celu zapewnienia, że wszyscy uczestnicy rozmawiają o tym samym systemie, nieodzowna jest jednoznaczna definicja systemu (granice, zawartość systemu). Pomocne są tu opisy, rysunki, szkice, tabele i pozostałe dokumenty.

Opisy procesu, przebiegi procesu

Dla zadań związanych z procesem najważniejszymi dokumentami opisującymi zawartość systemu są opisy procesu i przebiegi procesu.

Funkcje, błędy funkcji i oddziaływania wzajemne

Dla zadań związanych z funkcją najważniejszymi informacjami opisującymi zawartość systemu są funkcje, błędy funkcji i zwłaszcza oddziaływania wzajemne.

Charakterystyki/specyfikacje (wymiary, tolerancja, siły itd.)

Aby zapewnić sensowne i efektywne zastosowanie metod, wymagane są najróżniejsze informacje o rozpatrywanych systemach.

11.3.4 Wybór wskaźników przed zastosowaniem metody

Wybór wskaźników

Obecnie nie ma ogólnej wiedzy na temat skutków prewencyjnych metod QM. Są jednak pojedyncze oceny jakościowe wykorzystania niektórych metod, bazują one jednakże zawsze na szczególnych warunkach w stosującym je przedsiębiorstwie.

Poniżej przedstawione wskaźniki dają przedsiębiorstwu możliwość decydowania o korzyściach metody i tym samym o jej skuteczności we własnym przedsiębiorstwie.

Oprócz zaproponowanych wskaźników mogą być stosowane również własne wskaźniki przedsiębiorstwa, które specyficznie odzwierciedlają mierzalny wpływ na bazie własnego doświadczenia w przedsiębiorstwie. Celem nie jest otrzymanie dokładnych danych odnośnie do kosztów i redukcji błędów, jak i dalszego pozytywnego potencjału dla każdej zastosowanej metody; nie zawsze jest to możliwe ze względu na niehomogeniczność i różnorodność warunków ramowych w przedsiębiorstwie.

Zawartość i budowa tabeli wskaźników została stworzona z pomocą systematyki Balanced Scorecard (BSC). Tak zwana perspektywa BSC powinna za pomocą wskaźników pomóc w mierzalnym i kontrolowalnym zaprojektowaniu skutków strategii i działań w różnych obszarach przedsiębiorstwa.

To podejście wpłynęło na rozwój tabeli wskaźników tak, że wprowadzone zostały następujące poziomy oceny, aby rozdzielić wykaz wskaźników:

- wskaźniki finansowe,
- wskaźniki związane z klientem,
- wskaźniki procesowe,
- wskaźniki związane z personelem,
- wskaźniki związane z wyrobem.

Po wyborze odpowiedniej metody i kontroli warunków wstępnych następnym krokiem zgodnie z metodą 6 kroków jest wybór wskaźników, które są istotne dla wybranej metody. Poniższa tabela przedstawia odpowiednie wskaźniki. Dalsze szczegółowe informacje na temat obliczeń wynikają ze wzorów przedstawionych w punkcie poniżej. Odniesienie do poszczególnej formuły jest przedstawione w tabeli.

Tabela wskaźników

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
	Poziom oceny	(Generalnie: Mogą być stosowane także własne, specyficzne dla organizacji definicje i formuły!)	Ustalenie wskaźników znajduje się bezpośrednio poniżej tabeli.
	Wskaźnik		
DFMA			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
	Koszty wytwarzania	Koszty części/systemu, które występują do osiągnięcia określonego poziomu produkcji	patrz definicja nr 4
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Odrzut/koszty przeróbek	Koszty, które powstały w związku z odrzutem/przeróbką wyrobów	patrz definicja nr 7
	Wskaźniki związane z klientem		
	Zakwestionowania	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3, Część 2)	patrz definicja nr 10

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Wskaźniki związane z wyrobem		
	Liczba części	Liczba części, która jest zabudowana/zamontowana w wyrobie/systemie	patrz definicja nr 5
	Liczba zmian	Zmiany spowodowane błędami do 1 roku po SOP (zwolnienia/zwolnienia zakupów)	patrz definicja nr 18
DMU			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Odrzut/koszty przeróbek	Koszty, które powstały w związku z odrzutem/przeróbką wyrobów	patrz definicja nr 7
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmian	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3, Część 2)	patrz definicja nr 10
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Wskaźniki związane z wyrobem		
	Liczba zmian	Zmiany spowodowane błędami do 1 roku po SOP (zwolnienia/zwolnienia zakupów)	patrz definicja nr 18

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
DoE			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3, Część 2)	patrz definicja nr 10
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
FMEA			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Odrzut/Koszty przeróbek	Koszty, które powstały w związku z odrzutem/przeróbką wyrobów	patrz definicja nr 7
	Koszty gwarancyjne	Koszty gwarancji, serwisu, grzecznościowe, włączając koszt części i nakładu czasu	patrz definicja nr 1
	Efektywność FMEA	Stosunek prognozowanych kosztów błędów przed działaniami naprawczymi i po nich	patrz definicja nr 17
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Wskaźniki związane z wyrobem		
	Liczba zmian	Zmiany spowodowane błędami do 1 roku po SOP (zwolnienia/zwolnienia zakupów)	patrz definicja nr 18
FTA			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Koszty gwarancyjne	Koszty gwarancji, serwisu, grzecznościowe, włączając koszt części i nakładu czasu	patrz definicja nr 1
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10
	Czas opracowania reklamacji	Czas od uzyskania informacji o reklamacji do jej trwałego usunięcia	patrz definicja nr 14
	Czas opracowania problemu	Czas od rozpoznania problemu do jego trwałego usunięcia	patrz definicja nr 15
	Indeks błędów powtórzeniowych	Błędy powtórzeniowe po wdrożeniu metody w odniesieniu do błędów powtórzeniowych przed wdrożeniem	patrz definicja nr 16
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
	Wskaźniki związane z wyrobem		
	Liczba zmian	Zmiany spowodowane błędami do 1 roku po SOP (zwolnienia/zwolnienia zakupów)	patrz definicja nr 18
Analiza wykonalności			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Koszty wytwarzania	Koszty części/systemu, które występują do osiągnięcia określonego poziomu produkcji	patrz definicja nr 4
	Odrzut/Koszty przeróbek	Koszty, które powstały w związku z odrzutem/przeróbką wyrobów	patrz definicja nr 7
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10
Poka-Yoke			
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	<i>First Pass Yield</i>	Wydajność w odniesieniu do całkowitej liczby wejściowej (odliczając odrzut i przeróbki)	patrz definicja nr 13

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
	Wskaźniki związane z personelem		
	Produktywność pracy	Stosunek pomiędzy tym, co zostało wyprodukowane (output), i przeznaczonymi do tego środkami (input) (definicja zgodnie z REFA)	patrz definicja nr 20
	Pozostałe wskaźniki		
	Liczba dostępnych opisów zastosowanych metod		patrz definicja nr 19
QFD			
	Wskaźniki finansowe		
	Poziom przekroczenia kosztów	Koszty w odniesieniu do projektu/wyrobku/obszaru przedsiębiorstwa	patrz definicja nr 12
		W odniesieniu do obszaru	Stopień przekroczenia kosztów wyraża się wartością procentową > 0. Stopień nieosiągnięcia kosztów wyraża się wartością procentową < 0.
		Związane z wyrobem	
		Według rodzaju	
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Rozwój zadowolenia klienta	Zmiana zadowolenia klientów jako wynik badań rynkowych	patrz definicja nr 11
	Wskaźniki procesowe		
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10
Obliczenie regresji			
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 Część 2)	patrz definicja nr 10

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
SPC			
Wskaźniki finansowe			
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
Wskaźniki związane z klientem			
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
Wskaźniki procesowe			
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10
	<i>First Pass Yield</i>	Wydajność w odniesieniu do całkowitej liczby wejściowej (po odliczeniu odrzut i przeróbki)	patrz definicja nr 13
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
SWOT			
Wskaźniki finansowe			
	Poziom przekroczenia kosztów	Koszty w odniesieniu do projektu/wyrobu/obszaru przedsiębiorstwa	patrz definicja nr 12
		Stopień przekroczenia kosztów wyraża się wartością procentową > 0. Stopień nie osiągnięcia kosztów wyraża się wartością procentową < 0.	
	W odniesieniu do obszaru		
	Związane z wyrobem		
	Według rodzaju		
Wskaźniki związane z klientem			
	Rozwój zadowolenia klienta	Zmiana zadowolenia klientów jako wynik badań rynkowych	patrz definicja nr 11

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
TRIZ/TIPS			
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3 część 2)	patrz definicja nr 10
	Czas opracowania reklamacji	Czas od uzyskania informacji o reklamacji do jej trwałego usunięcia	patrz definicja nr 14
	Czas opracowania problemu	Czas od rozpoznania problemu do jego trwałego usunięcia	patrz definicja nr 15
	Indeks błędów powtórzeniowych	Błędy powtórzeniowe po wdrożeniu metody w odniesieniu do błędów powtórzeniowych przed wdrożeniem	patrz definicja nr 16
Analiza wariancji (ANOVA)			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Wskaźniki związane z klientem		
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
	Wskaźniki procesowe		
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3, Część 2)	patrz definicja nr 10
Metoda 8D			
	Wskaźniki finansowe		
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
	Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
	Czas opracowania reklamacji	Czas od uzyskania informacji o reklamacji do jej trwałego usunięcia	patrz definicja nr 14

Metoda		Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
	Czas opracowania reklamacji	Czas od rozpoznania problemu do jego trwałego usunięcia	patrz definicja nr 15
	Indeks błędów powtórzeń	Błędy powtórzeniowe po wdrożeniu metody w odniesieniu do błędów powtórzeńowych przed wdrożeniem	patrz definicja nr 16

Tabela 22. Tabela wskaźników

Definicje wskaźników

1. Koszty gwarancyjne

Zwyczajowo należą do nich koszty gwarancyjne, grzecznościowe i serwisowe, włączając użyty każdorazowo materiał i robociznę.

Do nadzorowania celu ustala się specyficzne dla przedsiębiorstwa koszty gwarancyjne.

2. Koszty zmian

$$\text{Koszty}_{\text{zmian}} = \sum_{i=1}^n K_i$$

$\text{Koszty}_{\text{zmian}}$ = całkowite koszty zmian

K_i = koszty poszczególnych zmian

n = liczba zmian

3. Koszty projektu

Projekt to działania rozwoju/planowania dla pojazdu lub części systemu pojazdu.

Do kosztów projektowych należą nakład czasu na czynności rozwojowe i planistyczne, koszty materiałowe, koszty badań i dalsze specyficzne dla organizacji wydatki (np. prototypy/wzorce), jak i zewnętrzne koszty usług w ramach projektu rozwoju lub planowania.

4. Koszty wytwarzania

Wysokość kosztów wytwarzania wynika z sumy wszystkich kosztów wytworzenia wyrobu/systemu.

Wliczają się w to koszty materiału, produkcji, jak i logistyki i inne.

5. Liczba części

Liczba części odnosi się do wartości liczbowej części pojedynczych wyrobu lub systemu.

6. Czas przestoju

Czas przestoju = możliwy czas użytkowania – faktyczny czas użytkowania

Czas przestoju ustala się np. dla przestoju linii montażowej, maszyn, procesów, przerw w czasie przebiegu projektu i in.

7. Koszty odrzutów/przeróbek

Koszty odrzutu = $\frac{\text{koszty wytworzenia na część lub część systemu}}{\text{liczba odrzuconych części/części systemu}}$

Koszty przeróbek = $\sum (\text{materiał} + \text{koszty pracy na część lub część systemu}) \cdot \text{liczba przerobionych części/części systemu}$

8. Udział odrzutu/udział przeróbek

$$\text{Udział odrzutu} = \frac{\text{Liczba odrzuconych części}}{\text{Liczba wyprodukowanych części}} \cdot 100 [\%]$$

$$\text{Udział przeróbek} = \frac{\text{Liczba przerobionych części}}{\text{Liczba wyprodukowanych części}} \cdot 100 [\%]$$

Udziały odrzutu i przeróbek podawane są zwyczajowo w ppm-ach (ppm = części na milion lub liczba na milion części).

9. Reklamacje

Pojęcie „reklamacje” obejmuje liczbę reklamacji klienta. Klientem jest kolejny proces (własne przedsiębiorstwo lub dalszy przetwórcza) lub właściciel pojazdu (zewnętrzny).

10. Współczynnik awaryjności

$$\text{Współczynnik awaryjności} = \frac{\text{Awaryje w przedziale czasowym}}{\text{Liczba początkowa} \cdot \text{wielkość przedziału czasowego}} \cdot 100 [\%]$$

Współczynnik awaryjności (lub poziom reklamacji) jest względną liczbą awarii w odniesieniu do przedziału czasowego i może być również obliczany dla awarii wewnętrznych.

11. Rozwój zadowolenia klienta

Zmiany zadowolenia klienta w wynikach analiz rynkowych w różnych okresach czasowych.

12. Stopień przekroczenia kosztów

$$\text{KG} = \frac{(\text{koszty aktualne}) - (\text{koszty planowane})}{(\text{koszty planowane})} \cdot 100 [\%]$$

Koszty mogą odnosić się do projektu, wyrobu, obszaru przedsiębiorstwa lub podobnych.

13. *First Pass Yield*

Dla procesu pojedynczego obowiązuje:

Wydajność (A):

$$A = \frac{\text{Całkowita liczba wejściowa} - (\text{liczba odrzucona} + \text{liczba przerobiona})}{\text{Całkowita liczba wejściowa}}$$

Wydajność w %: $A \cdot 100 [\%]$

Dla procesu złożonego z wielu pojedynczych procesów obowiązuje:

Wydajność całkowita $A_G = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n$

Wydajność całkowita w %: $A_G \cdot 100\%$

14. Czas opracowania reklamacji

Czas opracowania reklamacji = czas od uzyskania informacji do trwałego wyeliminowania reklamacji.

Reklamacja wymaga rozpoznania problemu w kolejnych procesach.

15. Czas opracowania problemu

Czas opracowania problemu = czas od rozpoznania do trwałego usunięcia problemu.

Czas opracowania problemu (także proces likwidacji błędu, proces usunięcia błędu) wymaga własnej znajomości problemu.

16. Indeks błędów powtórzeniowych

Indeks błędów powtórzeniowych = $\frac{\text{Liczba błędów powtórzeniowych po użyciu metody}}{\text{Liczba błędów powtórzeniowych przed użyciem metody}}$

17. Efektywność FMEA

$$E_{\text{FMEA}} = \frac{\text{PFK}_{\text{VA}} - \text{PFK}_{\text{NA}}}{\text{PFK}_{\text{VA}}} \cdot 100\%$$

PFK_{VA} = prognozowane koszty błędów przed działaniami naprawczymi

PFK_{NA} = prognozowane koszty błędów po działaniach naprawczych

18. Liczba zmian

Liczba zmian spowodowanych błędami do momentu określonego przez firmę (np. do 1 roku po SOP (zwolnienia/zwolnienia zakupów))

19. Liczba dostępnych opisów zastosowanych metod

20. Produktywność pracy

Produktywność pracy wynika przykładowo z:

$$AP = \frac{\text{Wytworzona ilość (w sztukach)}}{\text{liczba pracowników} \cdot \text{czas produkcji}} \quad \begin{matrix} [\text{sztuk/osobogodzinę}] \\ (\text{w osobogodzinach}) \end{matrix}$$

i może być rozpatrywana w porównaniu z wartością planowaną.

11.3.5 Zastosowanie i ocena korzyści metody

Zastosowanie metody musi następować zasadniczo na podstawie warunków wstępnych przedstawionych w rozdziale 11.3.3. W rozdziale 11.2 wyjaśniono, że korzyść wynika z porównania ustalonych wskaźników przed zastosowaniem metody i po jej zastosowaniu.

Dlatego konieczne jest, aby zmiany wyników były ustalane na bieżąco. Oznacza to z jednej strony: bezpośrednio przed zastosowaniem metody, i z drugiej strony: tak szybko, jak to możliwe, po zastosowaniu metody. Może to ewentualnie oznaczać, że po zastosowaniu metody ma miejsce nie tylko jednokrotne zbieranie danych, lecz także ciągłe zbieranie danych w dłuższym okresie.

Z analiz porównawczych obydwu lub więcej zbiorów danych następuje ostateczna ocena korzyści. W celu oceny zastosowanej prewencyjnej metody QM wychodzącej ponad ocenę wskaźników pomocne są odpowiedzi na poniższe pytania. Dzięki odpowiedziom na te pytania możliwa jest jakościowa ocena prewencyjnej metody QM:

- Czy użycie metody rozwiązało zadanie/problem?
- Czy oczekiwania klienta zostały spełnione w zadowalającym stopniu?
- Czy zostały rozwinięte solidne procesy i wolne od błędów wyroby?
- Czy osiągnięto oszczędności podczas procesów powstawania wyrobu?

I w końcu:

- Czy jakość (wyrobu) uległa znacznej poprawie?

11.4 Dalsze rozważania dotyczące ekonomiczności

Ekonomiczność prewencyjnego zapobiegania błędom

O ile możliwe jest wykrycie kosztów błędów, dowiedziona może być ekonomiczność prewencyjnego zapobiegania błędom poprzez stosunek

$$\text{Ekonomiczność} = \frac{\text{Korzyści prewencyjnego zapobiegania błędom}}{\text{Nakład na prewencyjne zapobieganie błędom}}$$

Zysk prewencyjnego zapobiegania błędom wynika z:

$$\text{Zysk} = \text{korzyść} - \text{nakład}.$$

Ponieważ często nie ma pełnych liczb, danych, faktów dotyczących prewencyjnego zapobiegania błędom w całym przedsiębiorstwie, sensowne jest obliczanie tych wartości dla poszczególnych projektów.

Korzyść

Korzyść zastosowania prewencyjnych metod QM (tutaj pokazana na przykładzie FMEA) może zostać obliczona w następujący sposób.

$$\text{Korzyść} = n \cdot F_K \cdot F_A \cdot P \cdot L$$

Przy czym:

n liczba dodatkowo znalezionych i unikniętych potencjalnych błędów w projekcie dzięki zastosowaniu metody jakości

F_K średnie koszty usunięcia błędu w pojeździe

F_A udział dotkniętych pojazdów

P liczba produkowanych pojazdów na rok

L czas trwania produkcji tego pojazdu w latach

Nakład

Na nakład na zastosowanie prewencyjnej metody jakości składają się:

$$\text{Nakład} = T + M + \sum_{i=1}^n U_i \cdot n$$

Przy czym

T koszty zespołu, obliczone na podstawie

$$T = S \cdot D \cdot A \cdot H$$

S liczba spotkań zespołu

D czas trwania spotkania zespołu

A liczba członków zespołu

H koszty osobogodziny

M koszty moderacji (wewnętrzny lub zewnętrzny moderator), włączając dokumentację i koszt oprogramowania

U koszty wdrożenia działań zapobiegawczych

W poniższej tabeli 23 przedstawione zostały przykładowe wartości średnie i ekstremalne:

	Opis	Oznaczenie	Minimum	Wartość średnia	Maksimum
Skrót	Liczba znalezionych błędów	[-]	1	3	5
F_K	Koszty usunięcia	[€/pojazd]	10	20	50
F_A	Udział dotkniętych pojazdów	[-]	0,005	0,005	0,005
P	Liczba produkowanych pojazdów	[1/rok]	50000	160000	300000
L	Czas trwania produkcji	[lata]	3	5	7
Korzyść		[€]	7500	240000	2625000
S	Liczba spotkań zespołu	[-]	3	6	12
D	Czas trwania spotkania zespołu	[h]	3	5	8
A	Liczba członków zespołu	[-]	3	6	10
H	koszty osobogodziny	[€/h]	50	80	100
M	Koszty moderacji	[€]	8000	15000	50000
U	Koszty wdrożenia działań	[€]	5000	50000	200000
Nakład		[€]	14350	79400	346000
Ekonomiczność	Korzyść/nakład	[-]	0,52	3,02	7,59
Zysk	korzyść – nakład	[€]	-6850	160600	2279000

Tabela 23. Przykładowe wartości średnie i ekstremalne

Błędy, których zawczasu nie unikniemy i nie zostaną wykryte, powodują koszty (K). Wysokość tych kosztów jest trudna do oszacowania (ponieważ błędy, których uniknęliśmy, nie wystąpią) i podlegają dużym wahaniom. Szacunki ekspertów grupy roboczej na podstawie ich dotychczasowego doświadczenia leżą pomiędzy 30.000 € (mniejszy błąd), 100.000 € (średni

błąd) i 300.000 € (bardzo ciężki błąd), przy czym w prawie każdej rozmowie z ekspertami respondenci wskazują, że szkoda niematerialna spowodowana utratą wizerunku jest prawdopodobnie znacznie wyższa, ale nie można jej w żaden sposób określić ilościowo.

Wynika z tego korzyść prewencyjnego zapobiegania błędom podobnie jak powyżej z:

$$\text{Korzyść} = N \cdot FM \cdot K$$

- N liczba stosownych błędów znalezionych w projekcie
FM liczba błędów znalezionych dodatkowo dzięki zastosowaniu metody
K średnie koszty błędu

Nakład obliczany jest dokładnie tak samo, jak już zostało to opisane powyżej.

Inna możliwość ustalenia korzyści występuje w projektach, które umożliwiają porównanie z bieżącymi lub zamkniętymi projektami. Tym samym można posłużyć się wartościami doświadczalnymi występujących kosztów błędów i przeliczyć w analizie korzyści.

Zasadniczo jednak analiza korzyści działań zapobiegawczych nie jest łatwa lub nie we wszystkich przypadkach jest możliwa. W przypadku istniejących błędów koszty eliminacji błędów mogą być dokładnie określone na podstawie zapisów, systemów rejestracji przeróbek i innych rejestrów kosztów.

W przypadku unikniętych kosztów dużą rolę odgrywa pytanie o prawdopodobieństwo wystąpienia (czy błąd mógłby faktycznie wystąpić?). Ponieważ na to pytanie często nie można odpowiedzieć z całą pewnością, w wielu przypadkach kwestionowana jest skuteczność oszczędności poprzez prewencyjne unikanie błędów. Usuwający błędy (ratujący) są nagradzani (medal), unikający błędów są karani (hamujący, powodujący nakłady).

Kolejnym problemem jest fakt, że unikanie błędów powoduje koszty (nakład) w innym obszarze niż ten, w którym możliwe są wówczas oszczędności.

Wkład w ustalenie kosztów i korzyści prewencyjnych metod QM QFD i FMEA

W ramach pracy Eleny Sesma Vitrián (patrz literatura rozdział 11.7) rozważane było przeprowadzenie metod QFD i FMEA jako projekt i oceniane z inwestycyjnego punktu widzenia.

Odnosnie do przydatności modelu należy zauważyć, że oparty jest on tylko na metodach QM QFD i FMEA. Dokładnie chodzi przy tym o pierwszą i drugą fazę domu jakości QFD, jak i o FMEA wyrobu.

Aby określić ekonomiczność prewencyjnych metod jakości QFD i FMEA w formie analizy kosztów i korzyści, należy zbadać ich negatywne i pozytywne konsekwencje finansowe.

Jednym z wymagań jest rozwinięcie systematycznej procedury ujęcia kosztów związanych z jakością, które bazują na znanym schemacie rodzaj-miejsce-nośnik kosztów. Ta procedura służy do controllingu zarządczego i umożliwia ocenę potencjału oszczędności metod jakości.

To ujęcie kosztów nie ma miejsca tylko na końcu okresu obowiązywania QFD i FMEA, ale następuje już podczas całej realizacji projektu, aby mogły zostać ocenione wyniki dotychczas wdrożonych działań.

W celu zarządzania zaleca się na podstawie systemu wskaźników wybór ok. 15 reprezentatywnych wskaźników, które skupiają uwagę na strategicznych czynnikach sukcesu w przeprowadzaniu prewencyjnych działań metodami jakości QFD i FMEA.

Interesującym wskaźnikiem jest „oszacowanie wzrostu efektywności FMEA”. Ustalenie tego wskaźnika następuje za pomocą prognozowanych kosztów błędów przed optymalizacją wykorzystującą FMEA i prognozowanymi kosztami błędów po optymalizacji wykorzystującej FMEA:

$$\text{Wzrost efektywności} = 1 - \frac{\text{Koszty przeprowadzenia działania} + \text{prognozowane koszty błędów po optymalizacji}}{\text{Prognozowane koszty błędów przed optymalizacją}}$$

W pracy ustala się dalej „wewnętrzne” i „zewnętrzne” korzyści:

Korzyść wewnętrzna:

$$\text{Obniżenie kosztów} = \text{Koszty niezgodności bez projektu} - \text{koszty niezgodności z projektem}$$

$$\text{Efektywność obniżenia kosztów} = \frac{\text{Obniżenie kosztów}}{\text{Koszty zgodności}}$$

Korzyść zewnętrzna:

$$\text{Wzrost dochodu} = \text{realny dochód z projektem} - \text{oczekiwany dochód bez projektu}$$

$$\text{Efektywność wzrostu dochodu} = \frac{\text{Wzrost dochodu}}{\text{Koszty zgodności}}$$

Bazując na wywiadach z dostawcami branży motoryzacyjnej, omówiono na koniec również praktyczne zastosowanie w przedsiębiorstwach. Zostało ponownie zauważone, że w przedsiębiorstwach brakuje generalnie świadomości o ekonomicznych korzyściach metod jakości i ich zastosowanie łączone jest jedynie z kosztami.

Ocena efektywności prewencyjnych procesów zarządzania jakością

Celem pracy Eulera (patrz literatura rozdział 11.7) jest rozwój metody wzrostu efektywności zarządzania jakością w rozwoju wyrobu na przykładzie FMEA.

Przedstawione podejście metodyczne aspiruje o obowiązywanie nie tylko dla FMEA, ale o możliwość zastosowania dla innych metod lub procesów zarządzania jakością.

Zespół FMEA stosuje w przedstawionej metodzie zwykłą dla FMEA procedurę oceny punktowej pomiędzy 1 i 10 dla prawdopodobieństwa wystąpienia i wykrycia błędu. Przy stosowaniu tej metody oceny punktowe muszą zostać przeliczone na wartości prawdopodobieństwa. Prawdopodobieństwo wystąpienia potencjalnego błędu wynika dla działania unikającego przyczyny błędu z sumy prawdopodobieństwa wystąpienia przynależnych przyczyn błędu.

Numer działania [M]	Prawdopodobieństwo wystąpienia błędu bez działania [p_A]	Prawdopodobieństwo wystąpienia błędu z działaniem [$p_A(M_i)$]	Udział redukcji błędu [FrA]
1	0,2%	0,1210%	0,0790
2		0,0801%	0,1199
3	0,5%	0,3500%	0,1500
4		0,2501%	0,2499
5		0,4010%	0,0990

Tabela 24. Ustalenie prawdopodobieństwa redukcji błędu

Na podstawie udziału redukcji błędów pojedynczych działań może zostać obliczony potencjał uniknięcia kosztów przy uwzględnieniu planowanych ilości produkcyjnych komponentów, jak i ich kosztów wytwarzania. Na podstawie kosztów, jakie pociąga za sobą realizacja pojedynczego działania, można obliczyć pojedynczy bezwzględny potencjał oszczędności kosztów. W sumie całkowity potencjał oszczędności kosztów przyniesie realizacja metody.

Numer działania [M _i]	Potencjał uniknięcia kosztów [KvP(M _i)]	Koszt działania [K _{działania}]	Potencjał oszczędności, bezwzględny [KeP _{bezwzgl.}]
1	12 000 €	500 €	11 500 €
2	18 600 €	3700 €	14 900 €
3	23 300 €	8800 €	14 500 €
4	38 800 €	300 €	38 500 €
5	15 300 €	400 €	14 900 €
Suma:	108 000 €	13 700 €	94 300 €

Tabela 25. Potencjały kosztowe działań

Podsumowując, Euler stwierdził, że z pomocą tej metody oceny można zobiektywizować w szczególności wybór grupy złożeniowej rozpatrywanej w ramach FMEA. Tym samym nakład na realizację FMEA może zostać zredukowany do tego, co jest absolutnie konieczne.

Wybór działań na podstawie ich udziału w redukcji błędów i potencjału oszczędności kosztów dba o skuteczne i ekonomiczne unikanie błędów i zmian oraz zapewnia, że tylko dokładnie tyle działań zostanie wdrożonych, ile wymaganych jest do utrzymania podjętych z klientem ustaleń. Oczywiście stanie się również to, że zaplanowanych jest za mało zadań lub zaplanowane zadania nie są wystarczająco skuteczne.

11.5 Przykłady 6-etapowego procesu

Na kilku przykładach przedstawiono proces 6 kroków pod kątem różnych zadań.

Przykład 1

Krok 1: Opis przypadku i analiza zadania/problemu

1. Analiza zadania/problemu

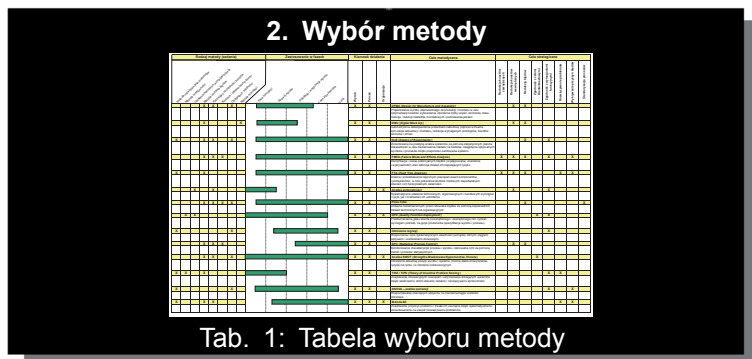
W fazie walidacji i weryfikacji wyrobu stwierdzono techniczne problemy w rozwijanym systemie.

W przypadku reprodukcji błędu problemy te prowadziłyby do wysokiego odrzutu, wielu przeróbek i wysokiej liczby awarii.

W trakcie analizy problemu okazało się, że nie można jednoznacznie ustalić przyczyn błędu. Wynikają z tego wymagania dotyczące zastosowania metody:

Systematyczne wsparcie rozwiązywania problemów
Ustalenie przyczyny błędu

Krok 2: Wybór odpowiedniej metody



Rysunek 90. Wybór odpowiedniej metody

Przy wyborze metody uwzględniono następujące punkty:

Rodzaj metody: – metoda rozwiązywania problemów

Zastosowanie w fazach: – faza walidacji i weryfikacji wyrobu

Kierunek działania: – wyrób

Metoda i cele metody:

- FTA – analiza i przedstawienie logicznych powiązań awarii komponentów i części systemu, aby ukazać skutki możliwych niepożądanych zdarzeń i ich funkcjonalnych związków

Cele strategiczne:

- wykrycie przyczyn błędów
- rozwiązanie problemów

Wybrana metoda: FTA

Krok 4: Wybór wskaźników i zbieranie danych przed zastosowaniem metody

4. Wybór wskaźników przed zastosowaniem metody

Metoda	Definicja wskaźników	Formuły wskaźników
Poziom oceny	(Generalnie: Mogą być stosowane także własne, specyficzne dla organizacji definicje i formuły!)	Ustalenie wskaźników znajduje się bezpośrednio poniżej tabeli.
DFMA		
Wskaźniki finansowe		
Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu	patrz definicja nr 3
Koszty wytwarzania	Koszty części/systemu, które występują do osiągnięcia określonego poziomu produkcji	patrz definicja nr 4
Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu	patrz definicja nr 2
Odrzut/koszty przeróbek	Koszty, które powstały w związku z odrzutem/przeróbka wyrobów	patrz definicja nr 7
Wskaźniki związane z klientem		
Zakwestionowania	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)	patrz definicja nr 9
Wskaźniki procesowe		
Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany	patrz definicja nr 6
Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3, Część 2)	patrz definicja nr 10
Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8
Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby	patrz definicja nr 8

Tab. 3: Tabela wskaźników

Rysunek 92. Wybór wskaźników i zbieranie danych przed zastosowaniem metody

Za pomocą odpowiednich wskaźników powinna zostać ustalona korzyść wybranej metody.

Wskaźnikami dla metody FTA są między innymi:

- reklamacje,
- koszty gwarancyjne.

Obliczono: 11 200 reklamacji w okresie eksploatacji:

Koszty gwarancyjne: 560 000 euro

Krok 5: Zastosowanie metody

5. Zastosowanie metody

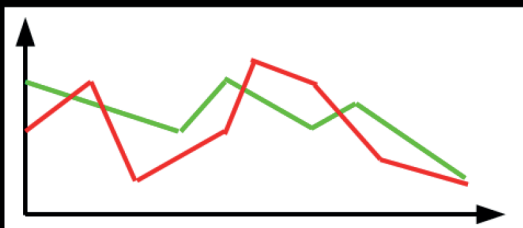
Zastosowanie metody FTA:

Postępowanie: patrz charakterystyka metody FTA (VDA Tom 4, Część 2: *Analizy ryzyka*)

1. Stworzenie analizy systemu w celu jednoznacznego ustalenia funkcji systemu
2. Definicja niepożądanego zdarzenia i kryteriów awarii
3. Określenie parametrów niezawodności i interwałów czasowych
4. Określenie rodzajów awarii komponentów
5. Ustalenie niepożądanych zdarzeń dla rozpatrywanego systemu jako punkt wyjścia dla drzewa błędów

Krok 6: Zbieranie danych i ocena korzyści metody

6. Ocena korzyści po zastosowaniu metody



Rysunek 93. Ocena korzyści

Zbieranie danych i ocena korzyści wybranych w kroku 4 wskaźników PO zastosowaniu metody FTA.

Obliczono: 300 reklamacji w okresie eksploatacji:

15 000 euro kosztów gwarancyjnych

Wykorzystując zmiany wybranych wskaźników PRZED zastosowaniem metody i PO jej zastosowaniu, uzyskamy osiągnięte korzyści.

Różnica:

Koszty PRZED zastosowaniem	= 560 000 €	oszczędność
Nakład na zastosowanie	= 104 400 €	(korzyść metody)
Koszty PO zastosowaniu	= 15 000 €	= 440 600 €

Przykład 2

Krok 1: Opis przypadku i analiza zadania/problemu

Zespół w przedsiębiorstwie chciałby dalej rozwijać sam siebie lub swoje istotne procesy. Także pozycja zespołu wewnątrz działu powinna zostać poprawiona. W tym celu powinny zostać zidentyfikowane aktualna sytuacja i możliwe pola działania.

Krok 2: Wybór odpowiedniej metody

Główne procesy tego zespołu znajdują się w punkcie ciężkości fazy powstawania wyrobu, przy czym opracowywane są również tematy seryjne.

Poszukiwana jest metoda, która wspiera opracowywanie zadań.

WYBÓR METODY Z UŻYCIEM PROCEDURY WYKLUCZENIA

Rodzaj metody:	brak bezpośredniego przypisania metody
Zastosowanie w fazach:	<p>powstawanie wyrobu i faza seryjna</p> <ul style="list-style-type: none">– DOE– FMEA– FTA– SWOT– metoda 8D <p>Te metody mogą być używane w tych fazach.</p>
Kierunek działania:	<p>Zespół jest widziany jako system, w ten sposób w grę wchodzi tylko następujące metody:</p> <ul style="list-style-type: none">– SWOT– metoda 8D

Metoda i cel metody:

Celami tych metod są:

- SWOT

Określenie aktualnej pozycji wyrobów i systemów (mocne strony – słabe strony/ szanse – ryzyka) na rynku i w otoczeniu konkurencyjnym.

- Metoda 8D

Znalezienie i trwałe usunięcie przyczyn błędów dzięki systematycznemu, zorientowanemu na zespół procesowi rozwiązywania problemów.

Cel metody „analiza SWOT” zbliża się do zadania „...identyfikacja aktualnej sytuacji i możliwych pól działania...”

Cele strategiczne:

- SWOT

dotrzymanie celów klienta/kosztowych

- metoda 8D

rozwiązanie problemów

wykrycie przyczyn błęd

Przy założeniu, że cele klienta są równoznaczne z celami działu/przedsiębiorstwa i klientów wewnętrznych, analiza SWOT byłaby w tym miejscu odpowiednią metodą.

Analiza SWOT pozostaje jako odpowiednia metoda, aby wspierać opracowanie postawionych zadań.
--

Krok 3: Kontrola warunków wstępnych

Aby metoda mogła być zastosowana skutecznie, muszą zostać koniecznie zrealizowane określone warunki, a inne są tylko przydatne.

Warunki związane z personelem

- | | |
|-----------------------------------|-------------|
| • Motywacja (chcieć, móc, musieć) | niezbędny |
| • Moderator | nie dotyczy |
| • Ekspert metody | sensowny |
| • Zespół interdyscyplinarny | niezbędny |
| • Naukowcy/specjaliści | sensowny |

Warunki związane z materiałem/zasobami

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| • Zasoby (pomieszczenia, ...) | niezbędny |
| • Symulacje, obliczenia, ... | nie dotyczy |
| • Oprogramowanie metody | nie dotyczy |

Warunki związane z problemem/projektem

- | | |
|---|-------------|
| • Problem, zadanie, cele i wskaźniki | niezbędny |
| • Wymagania klienta, oczekiwania klienta | obowiązkowy |
| • Informacje, systemy poprzedzające doświadczenie | obowiązkowy |
| • Definicja systemu, opisy, rysunki, szkice | niezbędny |
| • Opisy procesu, przebiegi procesu | sensowny |
| • Funkcje, błędy funkcji, oddziaływania wzajemne (Słabe strony) | sensowny |
| • Charakterystyki | nie dotyczy |

Krok 4: Wybór wskaźników i zbieranie danych przed zastosowaniem metody

SWOT		
	Wskaźniki finansowe	
	Poziom przekroczenia kosztów	Koszty w odniesieniu do projektu/wyrobu/ obszaru przedsiębiorstwa
	W odniesieniu do obszaru	Stopień przekroczenia kosztów wyraża się wartością procentową > 0 .
	Związane z wyrobem	Stopień nie osiągnięcia kosztów wyraża się wartością procentową < 0 .
	Według rodzaju	
	Wskaźniki związane z klientem	
	Rozwój zadowolenia klienta	Zmiana zadowolenia klientów jako wynik badań rynkowych

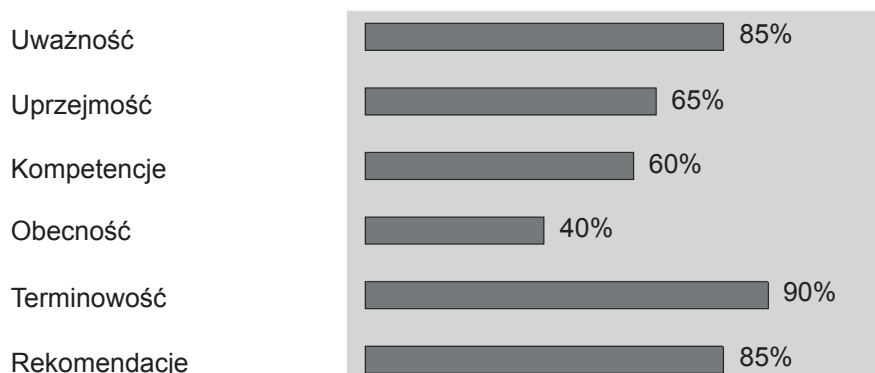
Rysunek 94. Wybór wskaźników i zbieranych danych przed zastosowaniem metody

Ponieważ nie chodzi o problematykę finansową, wybrano jako wskaźnik zadowolenie klienta. Zostało ono ustalone przed zastosowaniem metody. W tym celu dostępne są różne procedury:

Na przykład: ankieta, warsztat itp.

Wybrana została ankieta z następującym wynikiem:

ZADOWOLENIE KLIENTA



Rysunek 95. Wynik ankiety jako podstawa analizy SWOT

Wyniki zostaną zapisane i wciągnięte jako podstawa do analizy SWOT.

Krok 5: Zastosowanie metody

Odnosnie do postępowania w zastosowanej metodzie por. VDA Tom 4, Część 2: *Analizy ryzyka*.

SWOT analiza zespołu kontrolingu jakości

Mocne strony

- Akceptacja w obszarze fachowym i w projekcie ... (zatwierdzenie-terminowanie na poziomie części, zwolnienie jakościowe, raportowanie związane z kodem i zarządzanie poddostawcami)
- Obecność w projekcie dzięki raportowaniu w gremiach zarządzających
- Niezawodne dane przy wsparciu obszarów technicznych (oceny krytycznych części i przy przydzielaniu terminów zatwierdzeń dla części dostawców)
- Regularne raportowanie w obszarze jakości
- *Know-how* procesu jako podstawa analizy ryzyka
- Dobra współpraca z kierownikiem projektu i obszarami technicznymi
- Towarzystwo/współpraca przy wdrażaniu metod
- Duch zespołowy w zespole
- Lepsza współpraca w zespołach metod
- Kompetencje fachowe w zespole

Słabe strony

- „Przeciętna akceptacja” własnego działu
- Ograniczone wydajności → różne zadania
- „Przeciętna akceptacja” zespołu we własnym dziale
- Osiągane wyniki nie są zauważane

Szanse

- Budowa/prowadzenie kontrolingu procesu zatwierdzania (do tej pory tylko część)
- Zintensyfikowanie transferu *know-how* z innych zakładów o metodach i ocenie dostawców (wyniki auditów-wyniki) → wartość dodana dla projektu i obszarów fachowych
- Ustanowienie zespołowego modelu biznesowego → uzgodniony zespół, odpowiedzialności są jasno zdefiniowane, wewnętrzna i zewnętrzna komunikacja jest bardziej efektywna
- Dalsze ujednolicenie metod i procesów w zakładach wewnątrz przedsiębiorstwa (np. wzorcowa karta procesu, audity, zatwierdzenie) → przejrzystość/porównywalność
- Wewnętrzny benchmarking

Ryzyka

- Brak uzgodnionej procedury we własnym dziale
- Utrata niezależności spowodowana ciśnieniem/monopolizacją w projekcie i przez to niebezpieczeństwo, że funkcja kontrolingu nie będzie zapewniona

Mocne strony

- Akceptacja w obszarze fachowym i w projekcie ... (zatwierdzenie-terminowanie na poziomie części, zwolnienie jakościowe, raportowanie związane z kodem i zarządzanie poddostawcami)
- Obecność w projekcie dzięki raportowaniu w gremiach zarządzających
- Niezawodne dane przy wsparciu obszarów technicznych (oceny krytycznych części i przy przydzielaniu terminów zatwierdzeń dla części dostawców)
- Regularne raportowanie w obszarze jakości
- *Know-how* procesu jako podstawa analizy ryzyka
- Dobra współpraca z kierownikiem projektu i obszarami technicznymi
- Towarzystwo/współpraca przy wdrażaniu metod
- Duch zespołowy w zespole
- Lepsza współpraca w zespołach metod
- Kompetencje fachowe w zespole

Słabe strony

- „Przeciętna akceptacja” własnego działu
- Ograniczone wydajności → różne zadania
- „Przeciętna akceptacja” zespołu we własnym dziale
- Osiągane wyniki nie są zauważane

Szanse

- Budowa/prowadzenie kontrolingu procesu zatwierdzania (do tej pory tylko część)
- Zintensyfikowanie transferu *know-how* z innych zakładów o metodach i ocenie dostawców (wyniki auditów-wyniki) → wartość dodana dla projektu i obszarów fachowych
- Ustanowienie zespołowego modelu biznesowego → uzgodniony zespół, odpowiedzialności są jasno zdefiniowane, wewnętrzna i zewnętrzna komunikacja jest bardziej efektywna
- Dalsze ujednolicenie metod i procesów w zakładach wewnątrz przedsiębiorstwa (np. wzorcowa karta procesu, audyty, zatwierdzenie) → przejrzystość/porównywalność
- Wewnętrzny benchmarking

Ryzyka

- Brak uzgodnionej procedury we własnym dziale
- Utrata niezależności spowodowana ciśnieniem/monopolizacją w projekcie i przez to niebezpieczeństwo, że funkcja kontrolingu nie będzie zapewniona

Rysunek 96. Analiza SWOT zespołu kontrolingu jakości

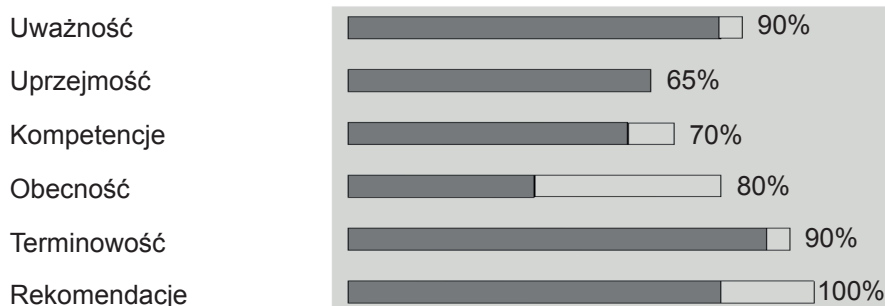
Dla zidentyfikowanych słabych stron wdrożono ukierunkowane działania; ryzyka zostały zredukowane dzięki tym działaniom. Szanse zostały po części przekształcone w mocne strony i mocne strony zostały utrzymane.

Krok 6: Ocena korzyści

Po tym, jak odpowiednie działania odnośnie do 4 pól zostały zainicjowane i wdrożone, ponownie została przeprowadzona ocena zadowolenia klienta.

Wynikiem było rosnące zadowolenie klienta w różnych kategoriach. Tym samym uzyskano dowód, że metoda przyniosła wartość dodaną dla zespołu.

ZADOWOLENIE KLIENTA



Rysunek 97. Zadowolenie klienta po zebraniu wyników ankiety

Przykład 3

Krok 1: Opis przypadku i analiza zadania/problemu

Produkcja korbowodów dla silników spalinowych jest bardzo kosztowna, ponieważ oprócz wysokiej dokładności zagwarantowana musi być montowalność. W tym celu konieczne jest oddzielenie korbowodu przed obróbką i zapewnienie bezpiecznego pozycjonowania podczas łączenia.

Zadaniem jest znalezienie innowacyjnego rozwiązania, które umożliwi szybkie i pewne wytwarzanie.

Krok 2: Wybór odpowiedniej metody

Zadanie to ma swój punkt ciężkości w fazie koncepcyjnej.

Poszukiwana jest metoda, która wspiera opracowanie tego zadania.

Wybór metody przy wykorzystaniu procedury wykluczenia

Rodzaj metody:	metoda kreatywności metoda rozwiązywania problemów
Zastosowanie w fazach:	faza koncepcji, rozwój wyrobu
Kierunek działania:	Działanie ukierunkowane jest jednoznacznie na wyrób.
Metoda i cel metody:	Celami metody TRIZ są: znalezienie innowacyjnych rozwiązań i optymalizacja istniejących systemów dzięki właściwemu postawieniu zadania i rozwiązaniu sprzeczności.
Cele strategiczne:	– TRIZ Przestrzeganie wymagań funkcyjnych Rozwiązanie problemów

TRIZ pozostaje jako odpowiednia metoda, aby wspierać opracowanie postawionego zadania.

Krok 3: Kontrola warunków wstępnych

Aby metoda mogła być zastosowana skutecznie, muszą zostać koniecznie zrealizowane określone warunki, a inne są tylko przydatne.

Warunki związane z personelem

- | | |
|-----------------------------------|-------------|
| • Motywacja (chcieć, móc, musieć) | niezbędny |
| • Moderator | niezbędny |
| • Ekspert metody | obowiązkowy |
| • Zespół interdyscyplinarny | obowiązkowy |
| • Naukowcy/specjaliści | sensowny |

Warunki związane z zasobami

- Zasoby (pomieszczenia itp.) sensowny
- Symulacje, obliczenia itp. niezbędny
- Oprogramowanie metody sensowny

Warunki związane z problemem/projektem

- Problem, zadanie, cele i wskaźniki obowiązkowy
- Wymagania klienta, oczekiwania klienta obowiązkowy
- Informacje, systemy poprzedzające, doświadczenie nie dotyczy
- Definicja systemu, opisy, rysunki, szkice sensowny
- Opisy procesu, przebiegi procesu sensowny
- Funkcje, błędy funkcji, oddziaływania wzajemne (słabe strony) sensowny
- Charakterystyki sensowny

Krok 4: Wybór wskaźników i zbieranie danych przed zastosowaniem metody

TRIZ/TIPS		
	Wskaźniki związane z klientem	
	Reklamacje	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)
	Wskaźniki procesowe	
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń spowodowanych zmianami
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do przedziału czasu
	Czas opracowania reklamacji	Czas od uzyskania informacji o reklamacji do jej trwałego usunięcia
	Czas opracowania problemu	Czas od rozpoznania problemu do jego trwałego usunięcia
	Błędy powtórzeniowe	Błędy powtórzeniowe po metodzie w odniesieniu do błędów powtórzeniowych przed zastosowaniem metody

Rysunek 98. TRIZ

Ponieważ nie chodzi o problematykę finansową, jako wskaźnik wybrano „reklamacje” (tutaj udział zwróconych części z procesu montażu).

Reklamacje przed użyciem metody QM = 2,2%

Krok 5: Zastosowanie metody

Przebieg realizacji TRIZ:

1. Opis sytuacji wyjściowej z uwzględnieniem otoczenia w celu wyprowadzenia celu nadrzędnego przy uwzględnieniu trendów społecznych i technologicznych.

Wyprowadzony cel główny

- Zwiększenie samoorganizacji
- Zwiększenie samorealizacji funkcji

2. Analiza funkcji i wynikająca z niej funkcjonalna analiza systemu wykorzystująca uwarunkowania pokoleniowe i ewolucyjne prawa technologii przedstawia stan aktualny.

Prawidłowości ewolucji technicznej

- Prawo tendencji – przejście od skomplikowanych do prostych systemów
- Prawo tendencji – przejście od poziomu makro do poziomu mikro

3. Tworzenie macierzy obszaru problemowego z czynników docelowych i parametrów systemu w celu definicji i identyfikacji sprzeczności.

Wielkości docelowe

- Zwiększenie dokładności pasowania
- Zmniejszenie nakładu wytwarzania dzięki redukcji etapów obróbki

Wynikająca z tego sprzeczność

- Uzyskanie procedury wytwarzania z dokładnością pasowania niewymagającą obróbki
4. Poszukiwanie rozwiązań przy wykorzystaniu narzędzi kreatywnego rozwiązywania problemów (tworzenie analogii do innych obszarów technicznych, natury, osób, doświadczenia itp.), stosując znane zasady, efekty, standardy, prawidłowości (z dostępnych patentów, tabel).

Rozwiązywanie problemu z narzędziami

- Zasada przekształcenia szkodliwego w korzystne
 - Zasada aktywizacji dotychczas pasywnego elementu
 - Zasada dopuszczenia dotychczas niedopuszczalnego
 - Zasada samoobsługi
5. Przedstawienie możliwych rozwiązań problemu i wybór optymalnego rozwiązania według własnych kryteriów.

Korbowody z łamanymi powierzchniami montażowymi –
mikroformowanie bez obróbki

Krok 6: Zbieranie danych i ocena po zastosowaniu metody

Po tym, jak zasada działania i konstrukcja zostały ustalone koncepcyjnie, wymagane jest użycie dalszych metod QM takich jak FMEA, DoE, analiza wykonalności i SPC w produkcji korbowodu, aby zapewnić odpowiednią jakość.

Reklamacje po użyciu metody QM = 1,1%

Po zastosowaniu nowej procedury zredukowana została liczba reklamacji w kolejnych krokach procesu o więcej niż 50% i koszty o 20%.

Przykład 4

Krok 1: Opis przypadku i analiza zadania/problemu

Istniejący system (urządzenie elektryczne) składa się z dużej liczby części i wielu kroków montażowych. Należy zbadać, czy poprzez metodyczne optymalizacje może zostać zredukowana liczba części i tym samym nakład montażowy oraz czy może zostać osiągnięte tańsze, rynkowe i wysokiej jakości wykonanie.

Krok 2: Wybór odpowiedniej metody

Zadanie to ma punkt ciężkości w fazie rozwoju wyrobu, przy czym opracowywane są także tematy seryjne.

Poszukiwana jest metoda, która wspiera opracowywanie tego zadania.

Wybór metody przy wykorzystaniu procedury wykluczenia

Rodzaj metody:	Potencjał oszczędności kosztów Osiągnięcie solidności
Zastosowanie w fazach:	Rozwój wyrobu, realizacja i weryfikacja wyrobu
Kierunek działania:	Działanie ukierunkowane jest na wyrób i proces.
Metoda i cel metody:	Celami metody DFMA są: Optymalizacja projektu konstrukcyjnego i kosztów wytwarzania, obniżenie liczby części, skrócenie czasu rozwoju, redukcja nakładu montażowego i wzrost jakości.
Cele strategiczne:	Redukcja kosztów wewnętrznych Redukcja błędów

DFMA jest najbardziej odpowiednią metodą, aby wspierać opracowanie postawionego zadania.

Krok 3: Kontrola warunków wstępnych

Aby metoda mogła być zastosowana skutecznie, muszą zostać koniecznie zrealizowane określone warunki, a inne są tylko przydatne.

Warunki związane z personelem

- | | |
|-----------------------------------|-------------|
| • Motywacja (chcieć, móc, musieć) | niezbędna |
| • Moderator | sensowne |
| • Ekspert metody | niezbędny |
| • Zespół interdyscyplinarny | obowiązkowy |
| • Naukowcy/specjaliści | sensowne |

Warunki materialne/rzeczowe

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| • Zasoby (pomieszczenia, ...) | sensowne |
| • Symulacje, obliczenia, ... | nie dotyczy |
| • Oprogramowanie metody | niezbędny |

Warunki związane z problemem/projektem

- | | |
|---|-------------|
| • Problem, zadanie, cel i wskaźniki | obowiązkowy |
| • Wymagania klienta, oczekiwania klienta | niezbędny |
| • Informacje, systemy poprzedzające, doświadczenie | obowiązkowy |
| • Definicja systemu, opisy, rysunki, szkice | obowiązkowy |
| • Opisy procesu, przebiegi procesu | obowiązkowy |
| • Funkcje, błędy funkcji, oddziaływania wzajemne (słabości) | niezbędny |
| • Charakterystyki | niezbędny |

Krok 4: Wybór wskaźników i zbieranie danych przed zastosowaniem metody

DFMA		
Wskaźniki finansowe		
	Koszty projektu	Koszty rozwoju/planowania/części projektu
	Koszty wytwarzania	Koszty części/systemu, które występują do osiągnięcia określonego poziomu produkcji
	Koszty zmian	Koszty zmian wyrobu i/lub procesu
	Odrzut/koszty przeróbek	Koszty, które powstały w związku z odrzutem/przeróbką wyrobów
Wskaźniki związane z klientem		
	Zakwestionowania	Liczba reklamacji klienta (kolejny proces)
Wskaźniki procesowe		
	Czas przestoju	Czas przestoju urządzeń z powodu zmiany
	Współczynnik awaryjności	Względna liczba awarii w odniesieniu do interwału czasu (VDA Tom 3, Część 2)
	Udział odrzutu	Liczba odrzuconych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby
	Udział przeróbek	Liczba przerobionych części w odniesieniu do całkowitej wyprodukowanej liczby
Wskaźniki związane z wyrobem		
	Liczba części	Liczba części, która jest zabudowana/zamontowana w wyrobie/systemie
	Liczba zmian	Zmiany spowodowane błędami do 1 roku po SOP (zwolnienia/zwolnienia zakupów)

Rysunek 99. DFMA

Jako wskaźniki wybrano koszty wytwarzania, czas montażu i liczbę części.

Wskaźniki przed zastosowaniem metody:

Koszty wytwarzania:	50 €
Czas montażu:	25 min
Liczba części:	84

Krok 5: Zastosowanie metody

Przebieg realizacji DFMA

W fazie przygotowania ustalany jest analizowany system odnośnie do jego zakresu, powiązań i głębokości rozważania oraz zbierana jest dostępna dokumentacja (szkice, opisy, rysunki itd.) (analiza systemu).

1. Analiza aktualnego stanu poprzez stworzenie diagramu struktury (*Baseline*) i przypisaniu wskaźników (np. pojedyncze koszty i inwestycje) do elementów struktury.
2. Systematyczne omówienie przedłożonej struktury z ukierunkowanym katalogiem pytań (zależnie od rodzaju DfX) w celu znalezienia potencjałów do optymalizacji.
3. Znalezione pomysły lub rozwiązania/alternatywy są sortowane, priorytetyzowane i przekazywane ze zleceniem kontroli do osób odpowiedzialnych. Szczegółowe badanie odnośnie do funkcji, wykonalności, kosztów, terminu, wagi, serwisu i innych warunków ramowych (bezpieczeństwo, przepisy itd.) prowadzi do nowych, możliwych do zrealizowania rozwiązań.
4. Przedstawienie możliwych alternatyw i ich porównanie w odniesieniu do sytuacji wyjściowej pokazuje potencjały do doskonalenia i ułatwia decyzję przy wyborze zoptymalizowanych systemów.

Wynik:

- Zalecenie wdrożenia nowych rozwiązań w celu osiągnięcia wyżej wymienionych celów
- Tabela wskaźników (koszty, liczba części, czasy produkcji itp.)

Wybór rozwiązania

Nowy system (urządzenie elektryczne) ze znacznie mniejszą liczbą części i niższymi kosztami, który mimo to bardzo dobrze spełnia wymagania klienta pod kątem funkcjonalnym.

Krok 6: Ocena korzyści po zastosowaniu metody

Po stworzeniu nowej konstrukcji wymagane jest użycie dalszych metod QM takich jak FMEA, DoE, analiza wykonalności i SPC w produkcji urządzenia, aby zapewnić odpowiednią jakość.

Wskaźniki po zastosowaniu metody DFMA:

Koszty wytwarzania:	32 €
Czas montażu:	11 min
Liczba części:	34

11.6 Wykaz skrótów

ANOVA	Analiza wariancji
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
DMU	<i>Digital Mock-Up</i>
DoE	<i>Design of Experiments</i>
FMEA	<i>Fehler Mode and Effects Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
MNA	Analiza korzyści metody (niem. <i>Methodennutzenanalyse</i>)
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SOP	<i>Start of Production</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
SWOT	<i>Strengths-Weaknesses/Opportunities-Threats</i>
TRIZ	TRIZ jest uznanym międzynarodowym rosyjskim akronimem oznaczającym teorię rozwiązywania innowacyjnych zadań (rus. <i>Algoritm Rešenija Isobretatelskih Zadač</i> ; wymawia się tak jak angielskie słowo trees), znanym w USA także pod skrótem TIPS (<i>Theory of Inventive Problem Solving</i>).
TIPS	<i>Theory of Inventive Problem Solving</i>
WOIS	Zorientowana na sprzeczności strategia innowacji (niem. <i>Widerspruchsortorientierte Innovationsstrategie</i>)

11.7 Literatura

Euler, M. (1999). *Effizienzbewertung präventiver Qualitätsmanagementprozesse*. FQS-DGQ-Band 84-03. Beuth.

Vitrian, E. S. (2004). *Beitrag zur Ermittlung von Kosten und Nutzen der präventiven Qualitätsmethoden FMEA und QFD* (Dissertation Ingenieurwissenschaften). TU Berlin.

Zarządzanie jakością w przemyśle samochodowym

Aktualne wersje publikacji VDA dotyczących zarządzania jakością w przemyśle samochodowym można znaleźć na stronie <http://www.vda-qmc.de>.

Zamówienia można składać bezpośrednio przez powyższą witrynę.

Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Qualitäts Management Center (QMC)

Behrenstraße 35, 10117 Berlin
Telefon +49 (0) 30 89 78 42 - 235
Fax +49 (0) 30 89 78 42 - 605
E-mail: info@vda-qmc.de
Internet: www.vda-qmc.de

Dystrybucja w Polsce:

SQD Alliance Sp. z o.o.
43-200 Pszczyna, ul. Batorego 19
Telefon +48 32 326 30 08
Fax +48 32 447 09 18

www.wydawnictwo-sqda.pl