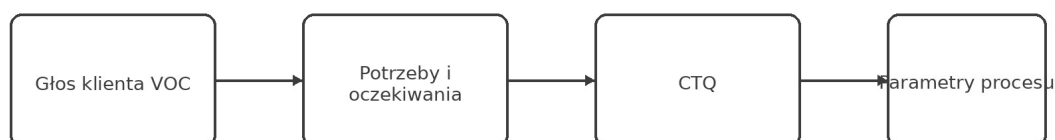


2. Podstawy DFSS i logiki DMADV

Rozdział przedstawia pięć etapów DMADV jako kolejne bramki decyzyjne. Każda faza ma odmienny rezultat:

- Define zamyka zakres,
- Measure porządkuje wymagania,
- Analyze wybiera koncepcję,
- Design zamienia ją w szczegółowy układ pracy,
- a Verify dostarcza dowodów potrzebnych do decyzji o uruchomieniu.

Rysunek 2. Przekładanie VOC na wymagania CTQ



2.1. Define – definiowanie wartości i celu projektu

Podrozdział dotyczy przede wszystkim fazy Define jako ustalenie wymagań, zakresu i właścicieli projektu. Trzy elementy wymagające osobnej uwagi to:

- problem biznesowy i oczekiwany efekt,
- granice procesu oraz obszary poza zakresem
- oraz interesariusze podejmujący lub blokujący decyzje.

Znaczenie tego zagadnienia wynika z jego wpływu na kolejne decyzje projektowe. W kontekście „Define – definiowanie” raz przyjęte założenie może bowiem przesądzić o układzie przepływu, sposobie kontroli i wymaganej zdolności. Rozdzielenie tego, co narzucone, od tego, co wybierane, zapobiega przedstawianiu preferowanej technologii jako rzekomego wymagania [3][4].

Przed oceną wariantów w części „Define – definiowanie wartości i celu projektu” warto zbudować prostą ścieżkę decyzyjną. Kolejne kwestie podlegające analizie to:

- problem biznesowy i oczekiwany efekt;
- granice procesu oraz obszary poza zakresem;
- interesariusze podejmujący lub blokujący decyzje.

Dopiero na tej podstawie można rozstrzygnąć co dokładnie ma zostać zaprojektowane i po czym zespół pozna sukces. Narzędzie „Project Charter, SIPOC wysokiego poziomu i mapa interesariuszy” pomaga zachować tę kolejność i ogranicza ryzyko dopasowania argumentów do wariantu wybranego intuicyjnie. Porządek analizy dla „Define” ogranicza ryzyko dopasowywania argumentów do wcześniej wybranego wariantu. W kontekście „Define – definiowanie” szczególnego znaczenia nabierają punkty, w których zespół może jeszcze bez wysokiego kosztu zmienić kierunek projektu. Każde założenie wpływające na wynik trzeba powiązać z konkretnym elementem koncepcji, aby późniejsza korekta nie rozchodziła się niekontrolowanie po całym projekcie [4][1].

Wyobraźmy sobie projekt, w którym projekt automatyzacji montażu może być atrakcyjny technicznie, ale bez jasno określonego wolumenu i poziomu elastyczności trudno ocenić jego zasadność. Przykład dotyczący „Define – definiowanie wartości i celu projektu” należy czytać jako test logiki projektu, a nie ilustrację jednego wskaźnika. W kontekście „Define – definiowanie” istotne jest wskazanie, w jaki sposób zmiana parametru przełoży się na zachowanie całego strumienia. W kontekście „Define – definiowanie” niepotwierdzona wielkość wejściowa pozostaje hipotezą projektową; plan pilotażu powinien wskazać próbę, termin i kryterium jej potwierdzenia [1][2].

Warstwa danych opiera się głównie na celach SMART, zakresie SIPOC, kamieniach milowych i odpowiedzialności. W zagadnieniu „Define – definiowanie wartości i celu projektu” sam wynik liczbowy nie wystarcza; potrzebny jest jeszcze punkt odniesienia i próg akceptacji. W kontekście „Define – definiowanie” dopiero porównanie z wymaganiem pozwala przełożyć miernik na decyzję projektową. Jeżeli obliczenie opiera się na estymacji, zespół powinien od razu określić, jakim pomiarem zastąpi ją przed decyzją o uruchomieniu [2][5].

Najważniejszym ryzykiem jest rozszerzanie projektu w trakcie prac bez ponownego uzgodnienia czasu, kosztu i wymagań.

Wysoka ocena ryzyka wymaga konkretnej reakcji projektowej. Samo umieszczenie pozycji w rejestrze nie zmniejsza ani prawdopodobieństwa, ani skutku niezgodności. Pozwala to oceniać

koncepcję przez sposób jej działania i przewidywane skutki, zamiast przez przywiązanie zespołu do wcześniejszej propozycji [5][6].

Kluczowy jest kompromis między problemem biznesowy i oczekiwany efekt, granice procesu oraz obszary poza zakresem oraz interesariusze podejmujący lub blokujący decyzje. Ocena kompromisów w części „Define – definiowanie wartości i celu projektu” powinna obejmować również scenariusz zmiany popytu lub miks. W kontekście „Define – definiowanie” rozwiązanie optymalne dla jednego punktu pracy może szybko utracić przewagę w innych warunkach. W kontekście „Define – definiowanie” projekt nie powinien premiować zajętości zasobu kosztem stabilności, jakości wbudowanej i przewidywalnego czasu realizacji [6][10].

Należy wskazać osobę odpowiedzialną za decyzję: co dokładnie ma zostać zaprojektowane i po czym zespół pozna sukces. Dokument „Project Charter, SIPOC wysokiego poziomu i mapa interesariuszy” może zapisywać przyjęte kryteria, otwarte punkty, termin weryfikacji i konsekwencje zmiany założeń. Decyzje dotyczące „Define – definiowanie wartości i celu projektu” wymagają jednoznacznego właściciela oraz terminu zamknięcia otwartych punktów. W kontekście „Define – definiowanie” odpowiedzialność obejmuje nie tylko wybór wariantu, lecz także potwierdzenie założeń, na których go oparto. Założenia przyjęte dla części „Define – definiowanie wartości i celu projektu” należy zapisać wraz z ich źródłem, właścicielem i skutkiem ewentualnej zmiany [10][3].

Najważniejszy tu wniosek ma charakter projektowy, a nie terminologiczny. Project Charter, SIPOC wysokiego poziomu i mapa interesariuszy porządkują argumenty, ale nie zastępują oceny inżynierskiej. W kontekście „Define – definiowanie” pozwala to sprawdzić, czy wybór nadal jest uzasadniony po zmianie popytu, kosztu albo założeń technicznych. Końcowy wniosek dla „Define – definiowanie wartości i celu projektu” musi łączyć wymaganie, parametr procesu, ryzyko oraz sposób weryfikacji. Brak jednego z tych elementów pozostawia lukę między analizą a wdrożeniem. Odpowiedź powinna łączyć potrzeby klienta, mierzalny wynik procesu, źródło ryzyka oraz plan potwierdzenia przyjętej zależności [3][4].

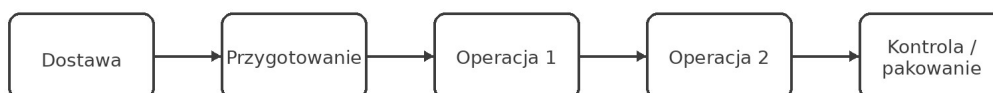
10. Ćwiczenia projektowe

Poniższe ćwiczenia zostały przygotowane w taki sposób, aby rozwijać samodzielne myślenie projektowe. Każde zadanie zawiera krótki opis sytuacji, dane liczbowe, uproszczony schemat procesu oraz pytania prowadzące. W odpowiedziach warto zachować konsekwentny schemat: wskazać wzór, podstawienie, wynik liczbowy oraz interpretację menedżerską.

Ćwiczenie 1. Projektowanie linii montażu modułu czujnika

Firma planuje uruchomienie nowego procesu montażu modułu czujnika temperatury dla odbiorcy OEM. Projekt zakłada pracę jednej zmiany, pięć stanowisk roboczych i wysoki nacisk na krótkie przebrojenia oraz pełną identyfikowalność partii. Zespół projektowy dysponuje wstępną listą operacji i zakładanym popytem klienta.

Rysunek 9. Uproszczony schemat procesu – ćwiczenie 1



Parametr	Wartość
Dostępny czas na zmianę [min]	440
Popyt klienta [szt./zmianę]	900
Czasy operacji [s]	35, 42, 38, 40, 36
Szacowany czas oczekiwania w przepływie [min]	150.0
Założony FPY procesu	0.965
Liczba defektów w próbie 100 szt.	40
USL / LSL [jedn.]	58 / 52
Średnia μ i odchylenie σ	54.5 ; 1.1

Tabela 1. Dane wejściowe do ćwiczenia 1. projektowanie linii montażu modułu czujnika

- Wyznacz takt klienta i oceń, co oznacza on dla procesu montażu modułu czujnika.
- Zsumuj czasy operacji oraz wskaż operację, która może ograniczać przepustowość w przypadku montażu modułu czujnika.
- Oblicz lead time, VA% i WIP dla procesu „projektowanie linii montażu modułu czujnika”; oceń, czy poziom oczekiwania jest spójny z założeniami projektu.
- Policz FPY, RTY i DPU, a następnie wskaż, które ryzyko jakościowe jest najważniejsze dla montażu modułu czujnika.
- Wyznacz Cp i Cpk dla cechy krytycznej w procesie „projektowanie linii montażu modułu czujnika” i oceń gotowość do pilotażu.
- Przygotuj 2–3 rekomendacje DMADV, uwzględniając: poka-yoke orientacji komponentu, równoważenie pięciu stanowisk i identyfikowalność partii.

Wskazówka dydaktyczna dla tego przypadku: analizując montaż modułu czujnika, należy oddzielić problem rytmu pracy od ryzyka jakościowego. Szczególnej uwagi wymaga ryzyko przeciążenia najdłuższej operacji i błędnego osadzenia czujnika. Najpierw warto wyznaczyć podstawowe wskaźniki przepływu, a następnie sprawdzić, czy proponowana konfiguracja pozostawia przestrzeń na działania takie jak poka-yoke orientacji komponentu, równoważenie pięciu stanowisk i identyfikowalność partii. W ćwiczeniu 1 wniosek powinien wskazywać konkretny element projektu „Projektowanie linii montażu modułu czujnika”, zamiast ograniczać się do ogólnego postulatu zwiększenia efektywności.

Przed rozpoczęciem obliczeń należy wypisać CTQ charakterystyczne dla sytuacji „montaż modułu czujnika”. Dopiero po uporządkowaniu zależności w ćwiczeniu 1 można rozpoznać, które dane wspierają decyzję dotyczącą procesu montażu a które mają jedynie charakter opisowy. Dane przepływowe w ćwiczeniu 1 służą ocenie obciążenia i czasu przejścia, natomiast FPY, RTY oraz Cpk pokazują, czy projekt „Projektowanie linii montażu modułu czujnika” potrafi dostarczać wyrób zgodny bez dodatkowych poprawek.

W odpowiedzi warto zakończyć analizę konkretną propozycją dla montażu modułu czujnika: poka-yoke orientacji komponentu, równoważenie pięciu stanowisk i identyfikowalność partii. Jeżeli obliczenia w ćwiczeniu 1 ujawniają problem, odpowiedź powinna nazwać jego mechanizm oraz kryterium, według którego faza Verify potwierdzi skuteczność korekty projektu. Takie powiązanie wyniku z decyzją sprawia, że ćwiczenie 1 pozostaje zadaniem projektowym, a nie wyłącznie rachunkowym.

11. Rozwiązania ćwiczeń

W rozwiązaniach poniżej każdy wynik liczbowy poprzedzono wzorem. Celem nie jest jedynie uzyskanie poprawnego wyniku, lecz pokazanie logicznej sekwencji myślenia inżynierskiego: od wzoru, przez podstawienie danych, po interpretację projektową i rekomendację decyzji.

Rozwiązanie do ćwiczenia 1. projektowanie linii montażu modułu czujnika

Wskaźnik	Wzór	Podstawienie	Wynik
TT	$TT = T_{\text{dostępny}} / D_{\text{klienta}}$	26400 / 900	29.33 s/szt.
ΣCT	$\Sigma CT = \Sigma CT_i$	35 + 42 + 38 + 40 + 36	191.00 s
LT	LT = czas VA + czas oczekiwania	3.18 + 150.00	153.18 min
VA%	$VA\% = (\text{czas VA} / LT) \times 100\%$	$(3.18 / 153.18) \times 100\%$	2.08%
WIP	WIP = przepustowość $\times$ LT	$(900/440) \times 153.18$	313.33 szt.
FPY	FPY = sztuki dobre / sztuki ogółem	—	0.965

RTY	$RTY = FPY^n$	0.965^5	0.837
DPU	DPU = defekty / jednostki	40 / 100	0.400
Cp	$Cp = (USL - LSL) / (6\sigma)$	$(58-52) / (6 \times 1.1)$	0.909
Cpk	$Cpk = \min[(USL-\mu)/(3\sigma); (\mu-LSL)/(3\sigma)]$	$\min[(58-54.5)/(3 \times 1.1); (54.5-52)/(3 \times 1.1)]$	0.758

Tabela rozwiazania 1. Zestawienie obliczeń dla ćwiczenia 1. projektowanie linii montażu modułu czujnika

Dla procesu montaż modułu czujnika takt klienta wynosi $TT = 29.33$ s/szt., natomiast suma podanych czasów operacji to $\Sigma CT = 191.00$ s. W rozwiązaniu ćwiczenia 1 sumy czasów nie należy porównywać bezpośrednio z taktem, gdy operacje wykonują różne stanowiska; dla projektu rozstrzygająca jest ocena obciążenia każdej stacji. Obliczenie dla ćwiczenia 1 powinno ujawnić operację położoną najbliżej taktu i pokazać, czy w projekcie pozostawiono rezerwę wystarczającą na naturalną zmienność pracy.

Lead time oszacowano na 153.18 min, a udział wartości dodanej na 2.08%. Różnica między czasem wartości dodanej i całkowitym czasem przejścia w ćwiczeniu 1 kieruje analizę na źródła oczekiwania, a nie wyłącznie na skracanie operacji. $WIP = 313.33$ szt. należy traktować jako konsekwencję przyjętego LT i przepustowości; jego fizyczne miejsce w procesie powinno być jawnie zaprojektowane, szczególnie w kontekście: ryzyka przeciążenia najdłuższej operacji i błędnego osadzenia czujnika.

Wyniki jakościowe $FPY = 0.965$, $RTY = 0.837$ i $DPU = 0.400$ pokazują, że ocena procesu montażu modułu czujnika nie może kończyć się na przepływie. W ćwiczeniu 1 RTY ujawnia skumulowany wpływ kolejnych możliwości powstania niezgodności w procesie, którego nie pokazuje wynik pojedynczej operacji. Z kolei $Cp = 0.909$ oraz $Cpk = 0.758$ należy interpretować łącznie: różnica między nimi informuje, czy problem wynika głównie z szerokości rozkładu, czy również z niewłaściwego wycelowania procesu.

Najbardziej uzasadnione działania dla tego przypadku to poka-yoke orientacji komponentu, równoważenie pięciu stanowisk i identyfikowalność partii. Rekomendacja dla ćwiczenia 1 powinna zmieniać te elementy projektu, które rzeczywiście kształtują obliczone wskaźniki, zamiast postulować ogólne zwiększenie wydajności. Szczególnie ważne jest ograniczenie ryzyka: przeciążenia najdłuższej operacji i błędnego osadzenia czujnika. Zmiana proponowana w rozwiązaniu ćwiczenia 1 ma wysoki priorytet tylko wtedy, gdy ogranicza rozpoznane ryzyko albo poprawia krytyczny miernik projektu.

W logice DMADV wyniki ćwiczenia 1 należy przełożyć na konkretną decyzję fazy Design dotyczącą projektu. Dla montażu modułu czujnika oznacza to sprawdzenie, czy układ stanowisk, sposób zasilania i zabezpieczenia jakościowe tworzą jeden spójny system. Jeżeli w ćwiczeniu 1 metryka pozostaje poza celem, rozwiązanie powinno wskazać źródło odchylenia i dane potrzebne

do potwierdzenia hipotezy, zamiast maskować problem w projekcie dodatkowym buforem lub kontrolą.

Plan Verify dla montażu modułu czujnika powinien obejmować próbę reprezentatywną dla normalnego miksu, pomiar TT/CT, FPY oraz Cpk i zapis zdarzeń zakłócających. Dla ćwiczenia 1 progi akceptacji projektu trzeba zatwierdzić przed rozpoczęciem próby, aby wynik nie zmieniał reguł oceny. Jeżeli działanie projektowe dotyczy poka-yoke orientacji komponentu, równoważenie pięciu stanowisk i identyfikowalność partii, podczas pilotażu trzeba sprawdzić właśnie ich skuteczność, a nie ograniczać się do ogólnego potwierdzenia, że linia potrafi wyprodukować serię sztuk.

Przykładowy tryb błędu	S	O	D	RPN	Sugerowane działanie
odwrócona orientacja czujnika	8	4	4	128	gniazdo asymetryczne i weryfikacja obecności
brak zapisu numeru partii	7	3	5	105	automatyczny zapis skanu w operacji montażu
przeciążone stanowisko	6	5	3	90	ponowne balansowanie elementów pracy

Tabela. Skrócona analiza ryzyka dla ćwiczenia 1. projektowanie linii montażu modułu czujnika