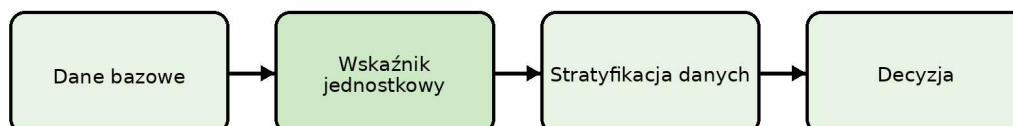


3. Wskaźniki Green Lean Six Sigma



Pomiar na dobrą sztukę zwiększa porównywalność

Rysunek 3. Logika wskaźników Green Lean Six Sigma

3.1. Wskaźniki energetyczne

Wskaźniki energetyczne powinny odpowiadać na dwa różne pytania: ile energii zużywa proces w danym okresie oraz jak efektywnie zamienia tę energię na użyteczny wynik produkcyjny. Pierwsze pytanie dotyczy wielkości absolutnych, takich jak kWh na zmianę, MWh na miesiąc czy zużycie gazu w GJ. Drugie wymaga odniesienia poboru do wielkości produkcji, czasu pracy, masy wyrobu albo innej jednostki technologicznej. Dopiero zestawienie obu perspektyw pozwala odróżnić wzrost zużycia wynikający z większego wolumenu od rzeczywistego pogorszenia efektywności energetycznej [24][29].

Najbardziej uniwersalnym miernikiem na poziomie linii lub maszyny jest jednostkowe zużycie energii, często określane jako *specific energy consumption*. W produkcji dyskretniej naturalnym mianownikiem bywa liczba dobrych sztuk, natomiast w procesach ciągłych częściej stosuje się kilogram, tonę, metr lub litr produktu. Dobór jednostki odniesienia powinien wynikać z fizyki procesu. Jeżeli dwa wyroby znacząco różnią się masą albo wymaganym czasem obróbki, proste kWh/szt. może zniekształcać porównanie i wymagać dodatkowej normalizacji [24][29].

W analizie energetycznej warto rozdzielać zużycie na składniki odpowiadające stanom maszyny: rozruch, nagrzewanie, produkcja, oczekiwanie, przebrojenie, standby oraz wyłączenie. Taki podział tworzy profil energetyczny urządzenia i pozwala wskazać, która część dobowego poboru jest związana z rzeczywistym przetwarzaniem, a która wynika z organizacji pracy. Jest to

szczególnie ważne dla urządzeń o wysokiej mocy bazowej, takich jak piece, sprężarki, instalacje wentylacyjne czy centra obróbcze [29].

Obok kWh na dobrą sztukę użytecznym miernikiem jest udział energii nieprodukcyjnej w całkowitym zużyciu. Jeżeli energia podczas oczekiwania, przebrojeń i postoju stanowi znaczną część całego poboru, projekt oszczędnościowy powinien być skierowany przede wszystkim na organizację harmonogramu i standardy wyłączania, a nie na redukcję parametrów samej operacji technologicznej. Ten wskaźnik dobrze łączy perspektywę energetyczną z klasyczną analizą strat czasu [1][17][29].

Przy urządzeniach pracujących cyklicznie warto obserwować również energię na cykl oraz rozkład poboru w czasie. Dwie maszyny mogą mieć podobne zużycie dobowe, ale jedna z nich generuje wysokie piki mocy podczas rozruchu, podczas gdy druga pracuje stabilniej. Taka informacja może mieć znaczenie nie tylko dla kosztu energii, ale także dla doboru mocy przyłączeniowej, obciążenia instalacji i możliwości przesuwania części operacji poza okresy szczytowe.

Wskaźnik energetyczny powinien być interpretowany razem z wolumenem i strukturą asortymentu. W tygodniu z dużym udziałem produktów energochłonnych średnie kWh/szt. może wzrosnąć bez jakiegokolwiek pogorszenia procesu. W środowisku high-mix właściwym rozwiązaniem bywa prowadzenie osobnych wartości referencyjnych dla rodzin produktów albo przeliczenie wyników na standardowy ekwiwalent produktu. Bez takiej korekty zespół może reagować na zmianę miksu jak na problem efektywności [24][29].

Istotna jest również relacja między energią i czasem. Jeżeli moc pobierana przez urządzenie pozostaje prawie stała, skrócenie cyklu bez pogorszenia jakości obniża energię jednostkową. Jeżeli natomiast przy większej prędkości gwałtownie rośnie pobór mocy, zależność nie musi być liniowa. Z tego powodu projekty Green Lean Six Sigma powinny opierać się na danych z rzeczywistego zakresu pracy urządzenia, a nie na założeniu, że szybsza produkcja automatycznie oznacza niższy koszt energetyczny.

W praktyce operacyjnej zestaw wskaźników powinien pozostać niewielki. Jeden miernik całkowitego zużycia, jeden miernik jednostkowy oraz jeden wskaźnik energii nieprodukcyjnej zwykle dają bardziej czytelny obraz niż rozbudowany dashboard z kilkunastoma liczbami. Celem mierników jest wsparcie decyzji: wskazanie odchylenia, uruchomienie analizy oraz potwierdzenie efektu działania, a nie maksymalizacja liczby raportowanych pozycji [4][14].

$$E_u = E_{\text{całkowita}} / N_{\text{dobrych}}$$

$$U_{\text{idle}} = E_{\text{idle}} / E_{\text{całkowita}} \times 100\%$$

$$\text{Produktywność energetyczna} = N_{\text{dobrych}} / E_{\text{całkowita}}$$

Wskaźnik	Zastosowanie	Typowa jednostka
E całkowita	Budżet energetyczny i obserwacja obciążenia procesu	kWh/zmiana; MWh/miesiąc
E _u	Porównanie efektywności przy zmiennym wolumenie	kWh/dobra szt.; kWh/kg
U _{idle}	Ocena udziału energii zużywanej poza produkcją	%
Energia/cykl	Porównanie powtarzalności poszczególnych cykli	kWh/cykl

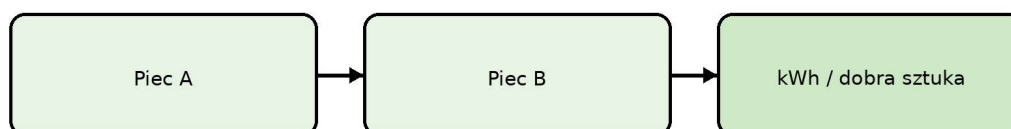
W praktyce zarządczej warto rozdzielać również energię czynną od parametrów związanych z mocą maksymalną. Dwie linie mogą mieć podobne miesięczne kWh, ale jedna generuje krótkie, wysokie piki obciążenia. Jeśli taryfa lub infrastruktura uwzględnia moc zamówioną, redukcja takich pików może być finansowo ważna mimo niewielkiej zmiany całkowitego zużycia. Profil mocy staje się wtedy uzupełnieniem klasycznego wskaźnika kWh/dobra sztuka [24][29].

Przy tworzeniu KPI energetycznego należy z góry określić częstotliwość reakcji. Miernik raportowany raz w miesiącu może służyć do przeglądu zarządczego, lecz jest zbyt wolny do sterowania procesem na zmianie. Z kolei wskaźnik minutowy bywa nadmiernie szczegółowy dla procesu wsadowego trwającego kilka godzin. Częstotliwość raportowania powinna więc odpowiadać tempu, w jakim można rzeczywiście podjąć działanie.

Część III. Ćwiczenia

9. Ćwiczenia Green Lean Six Sigma

Ćwiczenie 1. Dwa piece – który naprawdę jest bardziej efektywny?



Porównanie efektywności na wspólnej jednostce

Rysunek 7. Schemat procesu do ćwiczenia 1

Na wydziale obróbki cieplnej funkcjonują dwa piece wsadowe, które realizują zbliżony asortyment detali. Kierownik produkcji wskazuje, że Piec B pobiera mniej energii na partię, dlatego jest postrzegany jako bardziej oszczędny. Zespół jakości zwraca jednak uwagę, że Piec B częściej generuje odchylenia twardości i większy udział sztuk odrzuconych. Zadaniem studenta jest przeliczenie wskaźników na poziom dobrej sztuki i wyciągnięcie wniosku, który piec rzeczywiście pracuje efektywniej.

Porównanie pieców wymaga użycia E_u , ponieważ niższa energia na partię nie przesądza o wyniku po uwzględnieniu liczby dobrych sztuk.

Wskaźnik należy policzyć osobno dla obu pieców, a SCRAP potraktować jako czynnik zmieniający mianownik.

W wariantcie wdrożeniowym trzeba rozdzielić działania dotyczące jakości procesu od działań dotyczących wielkości partii i rozruchu.

Stan PRZED

Parametr	Wariant A	Wariant B
----------	-----------	-----------

Liczba sztuk w partii	60	40
Energia na partię [kWh]	180	150
Scrap [%]	2.0	7.0
Czas rozruchu [min]	18	20
Średni czas cyklu partii [min]	110	100

Pytania do rozwiązania

- 1) Oblicz N_{dobrych} i E_u dla obu pieców.
- 2) Porównaj wynik energetyczny z poziomem SCRAP i wskaż, dlaczego energia na partię może być myląca.
- 3) Zaproponuj działania dla Pieca B, które mogą jednocześnie poprawić E_u i jakość.
- 4) Określ, jakie CTQ należy sprawdzić przed zatwierdzeniem nowego ustawienia.
- 5) Zaproponuj miernik i częstotliwość kontroli po wdrożeniu.

Miejsce na analizę

Obszar analizy	Notatka studenta
Wskaźniki bazowe	
Hipoteza przyczyny	
Wariant 1	
Wariant 2	
Control plan	

Komentarz dydaktyczny

Ćwiczenie utrwała zasadę liczenia energii na dobrą sztukę, a nie na samą partię.

W dyskusji warto rozdzielić wpływ scrapu od wpływu wielkości wsadu.

Dobrze uzasadnione rozwiązanie powinno wskazywać także sposób potwierdzenia jakości po zmianie parametrów.

Część IV. Rozwiązania ćwiczeń

10. Rozwiązania ćwiczeń

Rozwiązanie do ćwiczenia 1. Dwa piece – który naprawdę jest bardziej efektywny?

1. Diagnoza problemu

Porównanie należy rozpocząć od wyznaczenia liczby dobrych sztuk w każdej partii. Dopiero wtedy energia partii może zostać przeliczona na E_u zgodnie z definicją z rozdziału 3.1.

2. Wzory i obliczenia

$$(1) \quad N_{\text{dobrych}} = N \times (1 - \text{SCRAP}); \quad E_u = E_{\text{całkowita}} / N_{\text{dobrych}}$$

$$(2) \quad \text{Piec A: } 180 / (60 \times 0,98) = 3.06 \text{ kWh/dobra szt.}$$

$$(3) \quad \text{Piec B: } 150 / (40 \times 0,93) = 4.03 \text{ kWh/dobra szt.}$$

Wskaźnik	Piec A	Piec B
Energia / dobra sztuka [kWh]	3.06	4.03
Scrap [%]	2,0	7,0
Wniosek	korzystniejszy	gorszy po przeliczeniu na dobrą sztukę

Piec B przegrywa po przeliczeniu na dobrą sztukę, ponieważ mniejsza partia i wyższa brakowość niwelują jego pozorną przewagę energetyczną na poziomie jednej partii.

3. Propozycje działań

Standaryzacja parametrów Pieca B i analiza przyczyny braków.

Zmiana planowania partii tak, aby lepiej rozłożyć energię rozruchową.

Przeniesienie wybranych detali na Piec A do czasu ustabilizowania procesu B.

4. Stan PO – wariant obliczeniowy

$$(4) \quad \text{Piec B po poprawie: } 150 / (45 \times 0,97) = 3.44 \text{ kWh/dobra szt.}$$

Wskaźnik	PRZED	PO
Energia / dobra sztuka [kWh]	4.03	3.44
Scrap [%]	7,0	3,0
Liczba sztuk w partii	40	45

Interpretacja wyniku

Piec A zużywa mniej energii na dobrą sztukę mimo większej energii na partię. Różnica wynika z większego wsadu i niższego SCRAP.

Dla Pieca B priorytetem powinno być ograniczenie braków oraz sprawdzenie, czy możliwe jest zwiększenie efektywnego wsadu bez pogorszenia CTQ.

Po zmianie należy śledzić jednocześnie E_u, SCRAP i parametr jakościowy obróbki cieplnej.

Przykładowe ryzyka wdrożeniowe

Ryzyko	Sposób ograniczenia
Ukrycie wpływu scrapu	Liczyć E_u na podstawie N_dobrych.
Zmiana wsadu pogarsza CTQ	Pilotaż i kontrola twardości.
Efekt nietrwały	Standard parametrów i przegląd E_u.

Control plan

Element	Standard
Wskaźnik podstawowy	E_u [kWh/dobra szt.]
Wskaźnik jakości	SCRAP i twardość
Częstotliwość	Każda partia / podsumowanie tygodniowe
Reakcja	Analiza odchylenia E_u lub CTQ poza ustalony limit