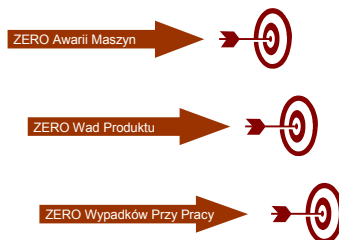


Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

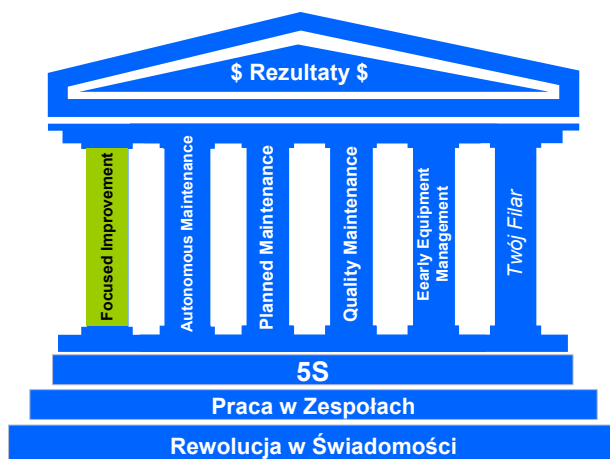
I. WPROWADZENIE

W poprzednim artykule został przedstawiony ogólny zarys programu Total Productive Maintenance, który bazując na eliminacji marnotrawstwa przy użyciu pomysłów pracowników prowadzi do dramatycznego zwiększenia wydajności parku maszynowego. W odróżnieniu do tradycyjnego podejścia, w którym dział utrzymania ruchu „gasząc pożary” utrzymuje park maszynowy w wystarczająco dobrej kondycji, aby zapewnić ciągłość produkcji, TPM dąży do osiągnięcia ZERO usterek maszyn, ZERO produkcji wad oraz ZERO wypadków przy pracy.



Rysunek 1. Trzy cele TPM – osiągnięcie doskonałości

Budowanie programu TPM ilustruje „Świątynia TPM” przedstawiona na Rysunku 2. TPM rozpoczyna się od pracy nad zmianą świadomości u wszystkich pracowników na temat tego co stanowi efektywny system utrzymania ruchu, zbudowania zespołów na których pracy będzie oparte wdrażanie usprawnień oraz rozpoczęcie działań od 5S czyli wprowadzenia czystości, porządku i wizualnego zarządzania stanowiskiem pracy. Zbudowanie tych trzech fundamentów łączy się na ogół z inwestycją przede wszystkim w czas na pracę w zespołach, przeprowadzenie szkoleń, a także często w dodatkowe zasoby ludzkie, które będą koordynowały program. Przyspieszenie tego etapu prawie zawsze kończy się niepowodzeniem całego programu TPM, gdyż przyszłe działania w filarach skoncentrowane już na wypracowaniu i utrzymaniu głęboko idących zmian w procesach, a co za tym idzie zysku, nie powiodą się jeżeli nie będą miały oparcia na solidnym fundamencie.



Rysunek 2. Świątynia TPM – ilustracja sekwencji kroków przy wdrażaniu TPM

W tym artykule skupimy się na pierwszym filarze, który przynosi duże zyski w programie TPM, nazywanym Focused Improvement czyli skoncentrowaną eliminacją strat.

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

II. SIX BIG LOSSES

Japończycy podzieli większość głównych strat związanych z eksploatacją parku maszynowego na 6 kategorii¹.



Rysunek 3. Sześć Dużych Strat związanych z operacją maszyn

Strata 1 - Awarie

Awaria czyli zepsucie się maszyny, które wymaga naprawy jest na ogół najbardziej widoczną stratą. Awarie można podzielić na sporadyczne i chroniczne. Sporadyczne awarie zdarzają się nagle i bez uprzedzenia. Natomiast chroniczne awarie powtarzają się na maszynie lub w analogiczny sposób na podobnych maszynach i często brakuje wysiłku lub czasu aby wyeliminować ich przyczyny źródłowe a usuwane są tylko skutki czyli np. wymiana zepsutej części. Kosztami związanymi z awariami są straty czasu, części zamiennych, niezrealizowanych zamówień z powodu nie funkcjonującej maszyny, itd. Stratami są często również wadliwe produkty wyprodukowane przez maszynę, na której wystąpiła awaria. Przykładem może być awaria czujnika temperatury w piecu, który uniemożliwia utrzymanie odpowiedniej kondycji dla lutowania.

Strata 2 – Przebrojenia i regulacja

Przebrojenie maszyny wiąże się z czasem poświęconym na zmianę formatu, produktu lub warunków produkcji. Stratami mogą być również surowiec i produkty wyprodukowane po zmianie formatu zanim maszyna zostanie wyregulowana. Często czas poświęcony na przebrojenie zakładany jest jako stały dla danego rodzaju sprzętu lub wymiany. Natomiast dzięki japończykowi Shigeo Shingo doskonale znana jest technika dramatycznej redukcji tego czasu nazywana SMED² czyli Single Minute Exchange of Die (dosłownie: Jednominutowa Wymiana Formy). Metodologii SMED jest poświęcona osobna część tego artykułu.

Strata 3 – Krótkie przestoje i bieg jałowy

Strata 3 obejmuje zatrzymania maszyny w czasie produkcji, które nie są spowodowane awariami. Mogą to być blokady, zacięcia, zapchania, problemy z czujnikami, brak surowca, samo wyłączanie się maszyny, wymiana narzędzia tnącego, itd. Często nie można zmierzyć tych zatrzymań bez specjalnych instrumentów. Czasami procedura zmusza operatora do

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

klasyfikacji każdego przestoju maszyny ponad określony czas np. 15 minut jako awarię mimo, że maszyna nie została uszkodzona. Na liniach zautomatyzowanych, np. pakujących, często Strata 3 jest największą procentowo stratą powodująca zmniejszoną wydajność sprzętu.

Strata 4 – Zmniejszona prędkość operacji

Strata 4 to obniżona szybkość operacji sprzętu. Maszyna nie może być nastawiona na optymalną szybkość, ponieważ często występują awarie, przestoje, problemy z jakością. Często optymalna szybkość nie jest znana lub występuje przed nią strach. Stratą jest również operowanie maszyną z większą niż optymalną prędkością, aby osiągnąć rekord produkcji w krótkim okresie czasu, np. na jednej zmianie. Natomiast oczywiście powoduje to kłopoty w późniejszym użytkowaniu sprzętu.

Strata 5 – Wady jakościowe

Wady jakościowe to produkcja wyrobów, których parametry nie spełniają wymogów klienta. Produkty muszą zostać naprawione lub wyrzucone. Straty wyrażają się jako praca nad naprawą wyrobów oraz koszt utraconych materiałów.

Strata 6 – Rozruch Produkcji

Straty związane z przygotowaniem do rozpoczęcia produkcji mierzone są jako czas przed rozpoczęciem normalnej produkcji oraz koszt materiałów do produkcji wykonanej w tym czasie niespełniającej wymogów klienta. Jeżeli zmiany rozpoczyna pracę o godzinie 6:00, maszyna również powinna produkować od godziny 6:00. Wszelkie późniejsze rozpoczęcie produkcji jest stratą.

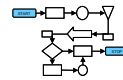
III. TECHNIKI ELIMINOWANIA STRAT

Istnieje wiele metodologii zespołowego eliminowania strat: PDCA, DMAIC, 8D, etc. Narzędzia pomagające zespołom w analizie problemów również w większości są doskonale znane. Tabela na rysunku 4 podaje tylko niektóre z nich. Wybór metodologii oraz narzędzi zależy od rodzaju problemu a także od doświadczenia Trenera, który na ogół pomaga zespołowi w efektywnej analizie problemu. Często narzędzia lub metodologie są narzucane odgórnie poprzez korporacje. Natomiast ponieważ większość z nich opiera się na stopniowym prowadzeniu zespołu przez fazy rozwiązywania problemu aby koncentrować się na analizie danych w celu wyodrębnienia przyczyny źródłowej, sukces zespołu zależy nie od wyboru metodologii czy narzędzi ale od konsekwencji w ich stosowaniu.

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

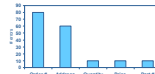
1. Mapy Procesu – wizualizacja procesu



2. Wykres Ishikawy – wizualizacja potencjalnych przyczyn źródłowych



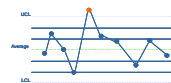
3. Wykres Pareto – wyróżnienie znaczących problemów z wielu innych



4. Checksheets – formularze zbierania danych

Problem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Problem 1										
Problem 2										
Problem 3										
Problem 4										
Problem 5										
Problem 6										
Problem 7										
Problem 8										
Problem 9										
Problem 10										

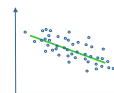
5. Run Charts - wykresy kontrolne



6. Histogramy – wizualizacja dystrybucji danych

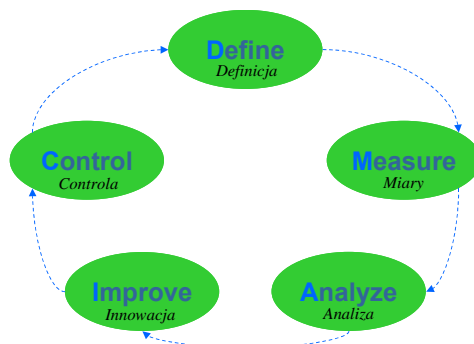


7. Wykresy Korelacji – przedstawienie korelacji pomiędzy zestawami danych



Rysunek 4. Siedem narzędzi jakości służących do zespołowego rozwiązywania problemów

Najpopularniejszą dzisiaj metodologią eliminowania strat jest model DMAIC utożsamiany również z programem Six Sigma. Oparty na kole Deminga (Plan-Do-Check-Act) sukcesywnie prowadzi zespół przez 5 faz rozwiązywania problemu: Definicja, Miary, Analiza, Innowacja (usprawnienie) oraz K(C)ontrola. Aby prześledzić jak działa DMAIC, przedstawimy Case Study u producenta aluminiowych rurek będących częścią układu chłodniczego samochodu.



Rysunek 5. Fazy DMAIC

Case Study – wycieki w rurce aluminiowej

Proces produkcji polegał na kilkietapowym formowaniu przekroju okrągłej rurki aluminiowej do pożądanego kształtu, wybiciu wypustów wzdłuż długości rurki oraz przyspawaniu zaślepek metodą TIG. Kontrola jakości na końcu procesu polegała na zbadaniu szczelności spawania poprzez zanurzenie rurki pod ciśnieniem w wannie z wodą i obserwowaniu czy pojawiają się bąbelki w miejscu spawania.

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas



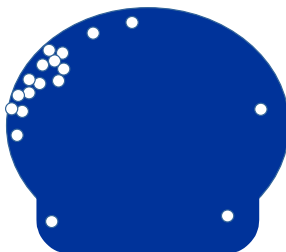
Rysunek 6. Diagram kształtu i przekroju rurki aluminiowej

DEFINE – Definicja problemu

Z wyborem projektu nie było w tym przypadku kłopotu: wady wykryte u klienta wzrosły nagle z poziomu około 1% do 5% a nawet 6% w niektórych partiach. W tej fazie uformował się zespół składający się z operatorów, mechaników a także konsultanta korporacyjnego. Zespół otrzymał krótkie szkolenie na temat procesu DMAIC i wybrał dla siebie nazwę LeakBusters (Zwalczający Przecieki).

MEASURE – Przeprowadzenie pomiarów problemu

Pierwszym działaniem po sformalizowaniu zespołu było zebranie danych o problemie. Zostało zmierzonych wiele czynników: procent odpadów wewnętrznych na każdej zmianie, % braków wykrytych przez klienta, skład chemiczny każdej partii stopu, szybkość głowicy spawającej i inne. Kluczową miarą okazały się jednak wykresy sporządzane przez operatorów, na których zaznaczali oni miejsce występowania wycieku, pokazane na rysunku 7.



Rysunek 7. Kropki oznaczają miejsca występowania wycieków zaobserwowane przez operatorów.

ANALIZE – Analiza danych

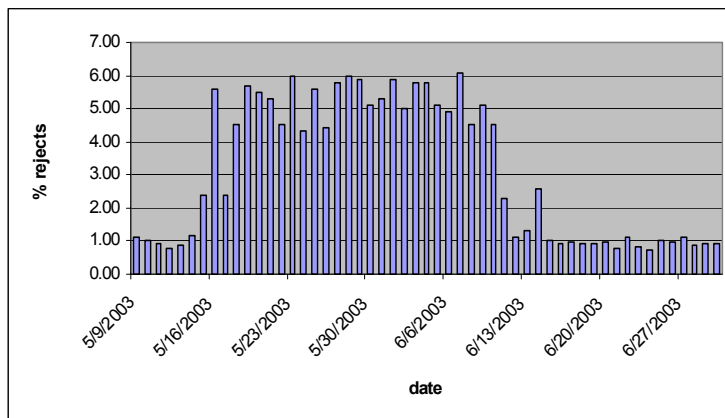
Po upewnieniu się, że nie ma zależności pomiędzy występowaniem wycieków a zmianami produkcyjnymi, składem chemicznym stopu i innymi parametrami, zwrócono uwagę na lokalizację wycieków. Krok po kroku przeanalizowano każdy etap procesu produkcji w górę strumienia wartości aż odkryto, że jedna z maszyn formujących przekrój nie była wycentrowana i narzędzie pozostawiało smugę oleju po lewej stronie rurki. Rurki były myte przed spawaniem, ale automatyczna myjnia nie była w stanie usunąć grubszej warstwy oleju w całości. W czasie procesu spawania pod wpływem ciepła na obwodzie rurki występowało bąbelkowanie pozostałości oleju i pojawiały się przecieki.

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

IMPROVE i CONTROL

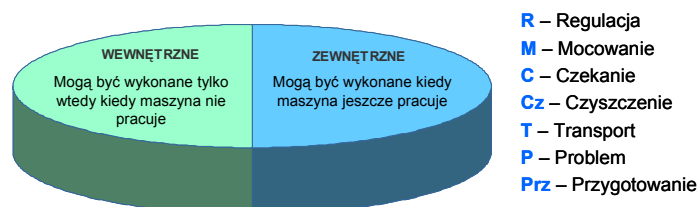
Narzędzie formujące na maszynie zostało wycentrowane i aby zapewnić stałość poprawy wprowadzono do checklisty operatora sprawdzanie stanu narzędzia na początku co 2 godziny, później w miarę upływu czasu raz na zmianę. Wprowadzono też wizualną inspekcję rurek po procesie formowania aby upewnić się, że olej nie się gromadzi po stronie rurki w nadmiernych ilościach.



Rysunek 8. Wykres przedstawia % wycieków wykrytych u klienta producenta rurek przed, w trakcie i po usunięciu problemu (klient stosował bardziej zaawansowaną metodologię wykrywania przecieków)

SMED – Redukcja Czasu Przebrojenia Maszyny

SMED jest techniką Focused Improvement prawdopodobnie najbardziej krytyczną dla większości przedsiębiorstw produkcyjnych, ponieważ dotyczy redukcji czasu przebrojenia. Metodologia SMED dzieli wszystkie czynności przebrojenia maszyny na elementy zewnętrzne, tj. takie które w obecnym procesie przebrojenia mogłyby być wykonane w czasie pracy maszyny, oraz wewnętrzne, tj. takie, które muszą być wykonane podczas postoju. Redukcję w czasie przebrojenia osiąga się poprzez eliminację elementów zewnętrznych, zamianę niektórych elementów wewnętrznych na zewnętrzne oraz stopniową redukcję czasu trwania pozostałych elementów wewnętrznych. Rezultatem każdorazowego przeprowadzenia procesu SMED jest nierzadko ponad 50% redukcja w czasie wymiany formy lub narzędzia.



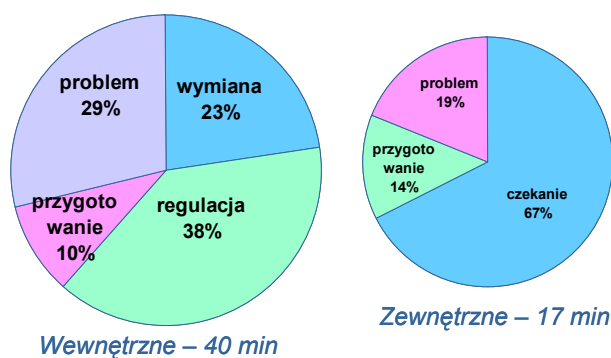
Rysunek 9. Klasyfikacja czynności przy przebrojeniu

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

Case Study – SMED na Maszynie Etykietującej

Aby przygotować się do redukcji czasu przy zmianie formatu na maszynie etykietującej butelki, na początku zarejestrowano cały proces przebrojenia na taśmie filmowej. Kolejno, w czasie trzydniowego warsztatu wielofunkcyjny zespół składający się z operatorów, mechaników oraz ustawiaczy przeanalizował każdą czynność i przyporządkował ją do odpowiedniej kategorii (Rysunek 10). Stosunek czynności zewnętrznych do wewnętrznych obrazuje poziom chaosu w przebrojeniu. W tym przypadku około 30% czasu czynności zewnętrznych i 70% czynności wewnętrznych wskazuje na dosyć sprawnie zorganizowane przebrojenie. Typowo w przebrojeniu, które wcześniej nie było usprawniane, można oczekiwać stosunku 50% do 50%.



Rysunek 10. Podział czynności przy przebrojeniu maszyny etykietującej

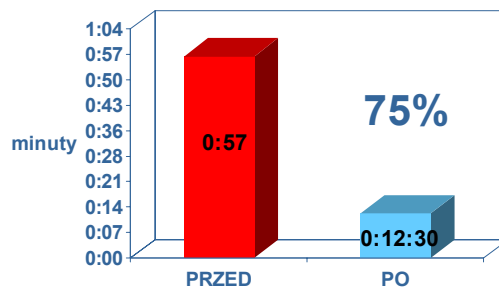
Po burzy mózgów nad analizą problemów, wprowadzono następujące usprawnienia:

- Opracowano standardy regulacji parametrów maszyny. Regulacja stanowiła największy procent czynności wewnętrznych i polegała do tej pory na doświadczeniu mechanika.
- Opracowano standardy wykonywania prac przez dwie osoby z podziałem na role. Dwie osoby uczestniczyły w przebrojeniu w stanie obecnym lecz ich praca nie była skoordynowana.
- Zakupiono dodatkowe pojemniki na formaty, które umożliwiały ustawianie butelek w maszynie. Skróciło to czas szukania właściwych formatów.
- Zorganizowano stanowiska pracy według zasad 5S: wizualnie oznakowano miejsca umieszczenia wszystkich narzędzi i części

Szacowana na koniec warsztatu redukcja w czasie przebrojenia po wdrożeniu planowanych usprawnień wyniosła 75% (redukcja z 57 min na 12.5 min.)

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas



Rysunek 11. redukcja czasu przezbrojenia na maszynie etykietującej

Istotne jest podkreślenie, że rezultat każdego przedsięwzięcia Focused Improvement powinien stawiać cel dla zespołu na najbliższy okres. W opisanym przypadku na maszynie etykietującej udało się obniżyć czas do 30 minut i zespół dalej kontynuuje pracę aby dojść do 12 minut, które przewidział warsztat.

IV. Mierniki TPM

Kluczową rolę w motywowaniu zespołów i śledzeniu postępu w pracach nad Focused Improvement jest przedstawianie wskaźników obrazujących wydajność parku maszynowego. Najbardziej uniwersalną miarą jest OEE (Overall Equipment Effectiveness) będący wskaźnikiem łączącym dostępność maszyny, efektywność jej pracy oraz jakość procesu. Składowe OEE pozwalają koncentrować działania na tych obszarach, które wymagają najwięcej poprawy. OEE pozwala również porównać się z innymi działami a nawet rodzajami produkcji.

OEE oblicza się poprzez iloczyn trzech następujących członów:

Dostępność – procent udziału czasu dostępnego do produkcji po wyłączeniu czasu na awarie, przezbrojenia, konserwacje, itp.

$$\text{DOSTĘPNOŚĆ} = \frac{\text{czas zmiany} - \text{czas przestoju (przezbrojenie + awarie + inne)}}{\text{czas zmiany}} \times 100\%$$

Osiągi – w czasie kiedy maszyna była dostępna, ilość wyrobów wyprodukowanych w porównaniu do tego ile powinno być wyprodukowanych zakładając optymalną operację maszyny. Wpływ na obniżenie Osiągów może mieć zredukowana szybkość maszyny, drobne przestoje, zacięcia, zablokowania, itp.

$$\text{OSIĄGI} = \frac{\text{produkcja wykonana (dobra + zła jakościowo)}}{\text{czas operacyjny} \times \text{prędkość nominalna}} \times 100\%$$

Jakość – jakość wyprodukowanych wyrobów.

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

$$\text{JAKOŚĆ} = \frac{\text{produkcja wykonana - odpady}}{\text{produkcja wykonana}} \times 100\%$$

$$\text{OEE} = \text{DOSTĘPNOŚĆ} \times \text{OSIĄGI} \times \text{JAKOŚĆ}$$

Jako przykład zostanie obliczone OEE dla następującego zestawu danych:

Dane Wyjściowe:
Czas zmiany: 6⁰⁰ – 14⁰⁰
Nominalna wydajność maszyny: 40 szt. na godz.
Zaplanowany przestój:
(konserwacja): 60 min
(przebrojenie): 30 min
Niezaplanowany przestój:
(awaria): 45 min
Produkcja całkowita: 161 sztuk
Scrap: 6 sztuk

$$D = \frac{480 \text{ min} - (60 \text{ min} + 30 \text{ min} + 45 \text{ min})}{480 \text{ min}} \times 100\%$$

$$D = \frac{345 \text{ min}}{480 \text{ min}} \times 100\% = 72\%$$

Dostępność = 72% (wystąpiła awaria, maszyna miała konserwację, czas przebrojenia jest dosyć długi)

$$O = \frac{161 \text{ sztuk}}{345 \text{ min} \times 40 \text{ sztuk} / 60 \text{ min}} \times 100\%$$

$$O = \frac{161 \text{ sztuk}}{230 \text{ sztuk}} \times 100\% = 70\%$$

Osiągi = 70% (maszyna prawdopodobnie blokuje się często, prędkość jest być może ustawiona na mniejszą niż sugerowana przez producenta)

$$J = \frac{161 \text{ sztuk} - 6 \text{ sztuk}}{161 \text{ sztuk}} \times 100\%$$

$$J = \frac{155 \text{ sztuk}}{161 \text{ sztuk}} \times 100\% = 96\%$$

Jakość = 96% (było 6 wadliwych produktów)

Focused Improvement – Zespołowa eliminacja strat w ramach programu TPM

dr inż. Jacek M. Brzeski, mgr inż. Magdalena I. Figas

$$OEE = 72\% \times 70\% \times 96\% = 48\%$$

Wynik 48% oznacza, że z maszyny otrzymujemy mniej niż połowę wyrobów, które moglibyśmy otrzymać w stanie idealnym. Dla porównania, wiodące firmy osiągają OEE na poziomie minimum 85%.

Klasa Światowa (World Class Manufacturing) = 90% x 95% x 99% = 85%

V. Podsumowanie

Focused Improvement jest kluczowym elementem w usuwaniu strat na maszynach i pozwala zespołom w stosunkowo krótkim okresie czasu odczuć widoczne efekty ich pracy. Aby pomóc w motywacji oraz komunikować wysiłki i sukcesy, jest pożądane aby każdy projekt był udokumentowany na tablicy stworzonej przez zespół. Na takiej tablicy powinny zostać przedstawione w sekwencji etapy pracy zespołu: definicja problemu, analiza strat, potencjalne rozwiązania, plany akcji, zdjęcia przed i po, rezultaty, itp.



Rysunek 12. Zdjęcie tablicy zespołu

W przeprowadzaniu działań Focused Improvement należy pamiętać, że kluczową rolę w sukcesie pełni zaangażowanie zespołu. Bez oparcia rozwiązań o pomysły pracowników, a przede wszystkim operatorów, trudno jest efektywnie wyeliminować straty.

¹ TPM for Every Operator, Productivity Press, 1996

² A Revolution in Manufacturing: The Smed System, Shigeo Shingo, Productivity Press 1985