

Wybrane metody identyfikacji i ograniczania marnotrawstwa w procesie produkcyjnym

Klaudia Pilch¹, Maria Baron-Puda^{2,*}

¹ Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Polska, s57298@student.ubb.edu.pl

² Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Polska, mpuda@ubb.edu.pl

*Autor do korespondencji: Maria Baron-Puda, e-mail: mpuda@ubb.edu.pl

Streszczenie: Marnotrawstwa występują w każdym przedsiębiorstwie, niezależnie od wielkości czy branży. Zajmują one miejsce, czas, powodują przerwy, przestoje, a w efekcie wydłużają czas realizacji zleceń i zwiększają koszty. Stanowią bardzo często ukryte możliwości podniesienia wydajności i poprawy funkcjonowania procesów produkcyjnych. Dlatego istotne jest uświadomienie zarządzającym i pracownikom konieczności szukania i ograniczania występowania różnego rodzaju strat. Artykuł wskazuje przykładowe metody i narzędzia wspomagające identyfikację marnotrawstwa na przykładzie stanowisk produkcyjnych.

Słowa kluczowe: szczupłe wytwarzanie; straty; patrol marnotrawstwa; doskonalenie procesu

Selected methods of identifying and reducing muda in the production process

Klaudia Pilch¹, Maria Baron-Puda^{2,*}

¹ Bielsko-Biala University, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, s57298@student.ubb.edu

² Bielsko-Biala University, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, mpuda@ubb.edu.pl

*Corresponding author: Maria Baron-Puda, e-mail: mpuda@ubb.edu.pl

Abstract: Waste occurs in each enterprise, regardless of its size and type of activity. Waste take up space and time, cause breaks and downtime, and as a result, they make the production process longer and more costly. Therefore, it is important that manager and employees are more aware of the need to look for and reduce the occurrence of various muda types. The article presents some methods and tools supporting muda identification on the example of production workplaces.

Keywords: Lean Manufacturing; waste; muda walk; process improvement

1. Wprowadzenie

Celem procesu produkcyjnego jest dostarczanie klientom produktów o najwyższej jakości, w jak najkrótszym czasie i po jak najniższej cenie. Ważne jest zatem ciągle poszukiwanie metod, technik i narzędzi, które będą wspomagały podnoszenie wydajności i jakości systemów pracy oraz obniżanie kosztów produkcji.

Pierwsze systemy i procesy produkcyjne oparte były na produkcji rzemieślniczej i wykwalifikowanych pracownikach (rzemieślnikach) zajmujących się projektowaniem i wytwarzaniem wyrobów [1]. Produkcja rzemieślnicza charakteryzowała się wysoką jakością wykonania unikatowych wyrobów. Produkowane były one w małych ilościach i przy niewielkiej powtarzalności, w związku z czym produkcja była czasochłonna i kosztowna. Zmiany, jakie nastąpiły wraz z rewolucją przemysłową spowodowały rozwój produkcji masowej (linia montażowa Forda) i głęboki podział pracy [2]. Wpłynęło to na znaczne ograniczenie zakresu potrzebnych umiejętności pracowników na produkcji.

Wystarczyły wąskie kwalifikacje niezbędne do wykonywania prostych powtarzalnych operacji. Niezmiennosc zadań wywoływała u pracowników znużenie, alienację i monotonię pracy, a także większe ryzyko popełnienia błędu. Z drugiej strony, wysoka powtarzalność i automatyzacja procesu przyczyniły się do redukcji czasu wytwarzania wyrobu, a w efekcie do wzrostu wydajności i obniżenia kosztów produkcji [2]. Kolejnym systemem było szczupłe wytwarzanie (*Lean Manufacturing*) powstałe w oparciu o praktyki produkcyjne japońskiego przedsiębiorstwa Toyota. Zainicjowane w 1985r. przez amerykańskich inżynierów J. Womack'a i D. Jones'a międzynarodowe badania, których celem było znalezienie najlepszej organizacji produkcji, uznały zasady i narzędzia systemu produkcyjnego Toyoty (*Toyota Production System*) za kluczowe czynniki sukcesu w światowym przemyśle motoryzacyjnym [3]. Obecnie koncepcja szczupłego wytwarzania cieszy się ogromną popularnością na całym świecie, i nie tylko w obszarze produkcyjnym, ale wszędzie tam gdzie tworzy się wartość. Z powodzeniem może być stosowana w działalności administracyjnej, usługowej [4], czy edukacyjnej [5]. Kluczowymi zasadami *Lean Manufacturing* są [6]:

- zdefiniowanie wartości produktu dla klienta (spełnienie wymagań klienta oraz jego zadowolenie są priorytetem),
- wyeliminowanie zbędnych działań i zasobów, które z punktu widzenia klienta są niepotrzebne, a wydłużają czas i podnoszą koszty produkcji,
- nieprzerwany przepływ produktów w całym procesie, uwzględniając czasy przebrożeń, layout stanowisk,
- sprawne wyciąganie produkcji na wszystkich etapach poprzez system *pull* pozwalający na redukcję zapasów i eliminowanie niepotrzebnej produkcji,
- ciągłe doskonalenie systemu poprzez szukanie możliwości usprawnień i wdrażanie rozwiązań innowacyjnych.

Odpowiednie działania podjęte wraz ze stosowaniem powyższych zasad mogą przyczynić się do identyfikacji i wyeliminowania bądź redukcji czynników wpływających negatywnie na proces produkcyjny. Czynniki te są różnego rodzaju marnotrawstwa w procesach pracy. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wybranych metod i narzędzi ułatwiających lokalizację marnotrawstwa w procesie produkcyjnym, a następnie zaproponowanie rozwiązań usprawniających proces produkcyjny na przykładowych stanowiskach produkcyjnych.

2. Wybrane koncepcje, metody i narzędzia identyfikacji marnotrawstwa

2.1. Klasyfikacja rodzajów strat w procesach pracy – koncepcja 3M

Aby móc identyfikować straty w procesach należy nauczyć się je widzieć i odpowiednio nazywać. 3M to uniwersalna koncepcja rozpoznawania marnotrawstwa stworzona przez Toyotę [7]. Wspomaga ona ujawnianie elementów nieefektywnych procesów, którymi są rozpoczynające się od litery „m” [7]:

- *muri* – przeciążenia, np. maszyn, urządzeń, środków transportu, pracowników,
- *muri* – nieregularność / zmienność działań, operacji, procesów,
- marnotrawstwa (*muda*) czyli wszystko, co z punktu widzenia klienta nie tworzy wartości dodanej, np. transport, kontrola, mocowanie i zdejmowanie, chodzenie, czekanie, obserwowanie, odkładanie, przekładanie, szukanie, liczenie, organizowanie, wybieranie itd.

Należy zaznaczyć, że powyższe elementy „m” są ze sobą ściśle związane i oddziałują wzajemnie na siebie, tzn. eliminacja jednego z nich wpływa na redukcję innego, co przyczynia się do poprawy efektywności procesów.

Z powstawaniem *muda* związanych jest siedem czynników, które nie dodają żadnej wartości tworzonemu produktowi, wręcz przeciwnie – potęgują wartość ujemną dla procesu produkcyjnego [8, 9]. Typy marnotrawstw (*muda*) wraz z przykładami ich objawów zamieszczono w tab. 1.

Tabela 1. Siedem typów marnotrawstwa – *muda* (opracowano na podstawie [8])

Lp.	Typ muda	Objawy
1.	Nadprodukcja	Wąskie gardło w procesie; Przekraczanie norm; Przekraczanie stanów magazynowych wyrobów
2.	Oczekiwanie	Bezczynność; Brak materiałów; Awaria maszyny; Długi czas przebrożenia; Przerwy; Przestoje
3.	Zapasy	Zajęte duże powierzchnie; Długie szukanie potrzebnych materiałów; Przykrywanie problemów
4.	Transport	Nadmiar bądź niedobór dostaw; Puste przebiegi; Niedociążenia czy przeciążenia środków transportu
5.	Zbędne ruchy	Częste schylanie się, odwracanie, sięganie, pobieranie, odkładanie, przenoszenie części
6.	Braki i błędy	Nagłe zatrzymanie procesu; Ponowna praca (<i>rework</i>); Dużo odpadów (<i>scrap</i>)
7.	Nadprocesowość	Dodatkowa kontrola; Niewłaściwa metoda obróbki; Powielanie procedur; Nadmierne dokumentowanie

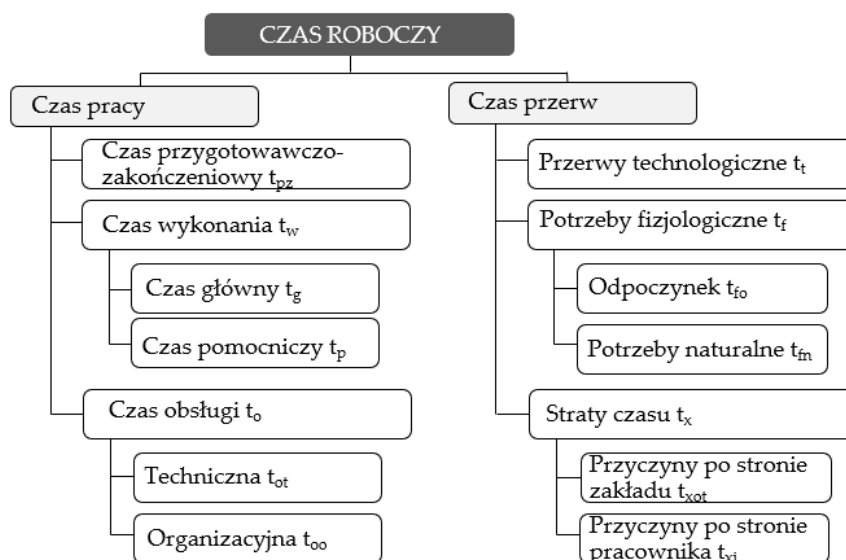
Do wymienionych siedmiu typów marnotrawstwa często dodaje się ósmy – niewykorzystany potencjał czy straconą kreatywność pracowników [1]. Jego objawem jest ogólnie obniżona motywacja pracowników, niska wydajność, brak zaangażowania w doskonalenie procesów i systemów pracy, uśpiona kreatywność i brak nowych pomysłów, zwiększona absencja i fluktuacja kadr, itp.

2.2. Fotografia dnia roboczego pracownika

Przydatną metodą identyfikacji marnotrawstwa na stanowisku jest fotografia dnia roboczego. Polega na ciągłej obserwacji pracownika oraz pomiarze czasu i zapisywaniu w arkuszu wszystkich zdarzeń występujących na stanowisku [10]. Zapisywane są w kolejności ich występowania, zwykle podczas pełnej zmiany roboczej lub w krótszym czasie – w przypadku pracy o bardzo dużej powtarzalności.

Podczas badania uwzględnia się zarówno czas pracy, jak i czas przerw. Zebrane w ten sposób dane pozwalają określić stopień i strukturę czasu pracy w związku z wykonywaniem przez pracownika wszystkich czynności, zarówno tych dodających, jak i niedodających wartości. Fotografia dnia roboczego pozwala także identyfikować zdarzenia przypadkowe, które mogą stanowić przyczynę marnotrawstwa.

Podstawą działań związanych z przeprowadzeniem badania czasu pracy jest poznanie i zrozumienie struktury czasu roboczego [10, 11]. W czasie tym występuje czas pracy, kiedy pracownik wykonuje zadania, operacje, czynności oraz czas przerw, kiedy zwykle pozostaje beczynny. Poszczególne rodzaje (frakcje) czasu mają ustalone symbole – rys. 1.



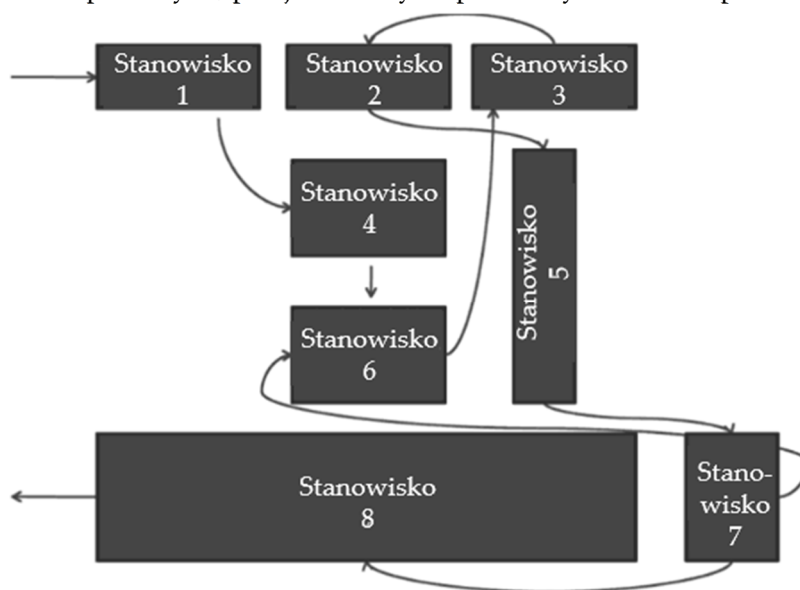
Rysunek 1. Struktura czasu roboczego pracownika (opracowano na podstawie [10,11])

Należy zwrócić uwagę, że marnotrawstwo może być związane z każdą frakcją czasu roboczego. Najlepiej widoczne jest wówczas, kiedy jest bezpośrednią stratą, taką jak np. awaria maszyny (strata z przyczyn organizacyjno-technicznych t_{xot} leżących po stronie zakładu) czy spóźnienie pracownika (strata z przyczyn indywidualnych t_i). Jednak straty często są ukryte pod postacią czynności pozornych, nie dodających wartości czy przedłużających się niepotrzebnie, np. zbyt długi czas przezbrojenia maszyny t_{pz} ; nieoptymalna metoda obróbki t_g ; częste regulacje maszyny t_{ot} ; beczynne oczekiwanie pracownika na zakończenie cyklu pracy maszyny t_t ; przedłużające się przerwy regulaminowe t_f . Przykładów takich można podać wiele, dlatego ważne jest aby kierownicy, inżynierowie produkcji, a także pracownicy bezpośrednio produkcyjni dobrze znali procesy realizowane na stanowiskach oraz byli świadomi rodzajów marnotrawstwa, jakie mogą być związane z różnymi czynnościami i przerwami na stanowiskach.

2.3. Diagram spaghetti

Diagram spaghetti jest jednym z narzędzi szczupłego wytwarzania [12], za pomocą którego można graficznie przedstawić ścieżkę przepływu procesu, wyrobu, informacji, a także drogę, jaką pokonuje pracownik w danym obszarze produkcyjnym w czasie pracy (rys. 2). Przeprowadzane obserwacje są zgodne z rzeczywistym

rozmieszczeniem stanowisk w miejscu pracy. Diagram jest przydatny w identyfikacji marnotrawstwa związanego z nieracjonalnymi drogami transportowymi, przejściami czy niepotrzebnymi ruchami pracownika [13].



Rysunek 2. Przykładowy diagram spaghetti (opracowano na podstawie [14])

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można usprawniać organizację procesu produkcyjnego, np. rozmieszczenie i ustawienie stanowisk (layout). Można także poprawić organizację procesu pracy na stanowisku, np. lokalizacja narzędzi, przyrządów i innych elementów wyposażenia stanowiska. Celem tych działań jest zredukowanie marnotrawstwa oraz zwiększenie wydajności procesu i poprawa ergonomii pracy.

2.4. Patrole marnotrawstwa

Metodą poszukiwania marnotrawstwa i doskonalenia procesów produkcyjnych może być patrol marnotrawstwa (*muda walk*). Jest on pewną formą *gemba walk* [4], czyli spaceru lidera po zakładzie do rzeczywistych miejsc pracy, gdzie tworzona jest wartość dla klienta. Istotną spaceru jest zobaczyć i rozwiązywać pojawiające się problemy, przyglądać się środowisku pracy, udzielać wsparcia pracownikom itp.

Patrole marnotrawstwa, w odróżnieniu od spaceru *gemba*, ukierunkowane są na szukanie strat. Polegają na ustaleniu miejsc, gdzie odbywają się kluczowe procesy związane z tworzeniem wartości wyrobu, a następnie ich regularnym odwiedzaniu celem wychwycenia marnotrawstwa, ustalenia potencjalnych przyczyn oraz zaproponowania rozwiązań usprawniających [15]. Aby prawidłowo przeprowadzić patrol należy przygotować odpowiedni arkusz, który ułatwi i udokumentuje przeprowadzenie kontroli całego procesu [16,9]. Podczas przeprowadzania patrolu ważne jest także nawiązanie kontaktu z pracownikami realizującymi zadania w procesie, aby poznać ich uwagi odnośnie sposobu i organizacji pracy, środowiska produkcyjnego, itp. Nie można pominąć również kwestii okazania szacunku wykonawcom zadań produkcyjnych, co jest jedną z kluczowych zasad *gemba walk*.

3. Przykład identyfikacji marnotrawstw na stanowiskach produkcyjnych

3.1. Wstępna identyfikacja marnotrawstwa

W przedsiębiorstwie branży motoryzacyjnej produkującym elementy tapicerki samochodowej badania rozpoczęto od poznania i zrozumienia procesu wytwarzania wyrobu. Uwzględniono kolejność wykonywania operacji w procesie, przepływ wyrobu, zakresy wykonywanych czynności oraz otoczenie systemów pracy (np. drogi transportowe, drogi ruchu pieszego, miejsca składowania wyrobów).

Aby zidentyfikować występowanie marnotrawstw wykorzystano patrol marnotrawstwa. W tym celu powołany został interdyscyplinarny zespół, który analizował proces produkcji zagłówka samochodowego, rozpoczynając od magazynu surowców, a kończąc na magazynie wyrobów gotowych. Poruszając się drogą przepływu wyrobu zespół obserwował i analizował przebieg pracy skupiając się na wychwyceniu marnotrawstwa. Wyniki obserwacji rejestrowane były w specjalnym arkuszu (tab. 2).

Tabela 2. Arkusz patrolu marnotrawstwa na produkcji – fragment (opracowano na podstawie [17])

MUDA WALK				
Proces: Wytwarzanie zagłówka samochodowego			Data: 15.11.2023 Obserwator: Klaudia Pilch	
Lp.	Obszar	Czynności zaobserwowane	Typ muda	Rozwiązanie
1	Wytwarzanie korpusów zagłówka	Pracownik odkładając wyroby często schyla do pojemnika ustawionego na podłodze.	Zbędne ruchy	Wprowadzić regały na pojemniki.
		W czasie awarii wtryskarki pracownik po skończeniu wstępnej kontroli elementów nie posiadał innych zadań do wykonania.	Oczekiwanie	Przydzielić inne zadania (np. wzbogacenie, rozszerzenie pracy).
2	Kontrola jakości i pakowanie	Pracownik często sięga do skrzyń z wyrobami gotowymi, które znajdują się za wysoko.	Zbędne ruchy	Przeorganizować rozmieszczenie skrzyń na stanowisku.
		Pracownik częste chodzi po ogólnodostępne narzędzia pomiarowe, do etykieciarki oraz do dokumentacji, które są daleko od stanowiska.	Zbędny transport	Wyposażyć stanowisko w niezbędne narzędzia. Zamontować szafkę na dokumenty. Przybliżyć ustawienie etykieciarki.

Należy podkreślić, że patrole *muda walk* to nie jednorazowa akcja. Powinny być przeprowadzane regularnie, np. co tydzień, natomiast raz na miesiąc (lub kwartał) warto zestawić wyniki przedstawiające natężenie poszczególnych typów *muda* na stanowiskach. Wyniki powinny być analizowane i porównane z wynikami z poprzednich okresów, tak aby ustalić harmonogram działań zmierzających do eliminacji bądź redukcji istniejących marnotrawstw.

3.2. Szczegółowa identyfikacja marnotrawstwa na stanowiskach

Wyszczególnione w arkuszu *muda walk* marnotrawstwa warto poddać dalszym analizom za pomocą fotografii dnia roboczego lub/i diagramu spaghetti. Szczególnie dotyczy to tych stanowisk, gdzie liczba zaobserwowanych strat była największa lub strat jest relatywnie mniej, ale są to stanowiska kluczowe w procesie produkcyjnym.

Za pomocą fotografii dnia roboczego przeprowadzonej na stanowisku wytwarzania korpusu zagłówka wykazano, że aż 100 minut zajmuje samo oczekiwanie pracownika, w tym straty z przyczyn organizacyjno-technicznych t_{ot} i przerwy techniczne wynikające z charakteru procesu pracy na stanowisku t . Zestawienie wyników fotografii potwierdziło stratę wykrytą w trakcie przeprowadzania *muda walk*, jaką było oczekiwanie oraz, co więcej, pozwoliło na określenie jej rozmiaru, tj. konkretnej wielkości zmarnowanego czasu. Na stanowisku selekcji i pakowania, gdzie zaobserwowano marnotrawstwa typu zbędne ruchy i zbędny transport, w celu dokładniejszej weryfikacji przeprowadzona została analiza za pomocą diagramu spaghetti. Na opracowany layout obszaru produkcyjnego naniesiona została rzeczywista droga poruszania się pracownika, np. po dokumentację, etykietę, wyrób gotowy, a także droga powrotna. Pokonując kilkakrotnie w ciągu zmiany znaczne odległości pracownik marnuje czas, co przekłada się na niższą efektywność procesu pracy. Przez pośpiech pracownik nie poświęca pełnej uwagi powierzonym obowiązkom. Może to zwiększyć ryzyko spakowania niezgodnej sztuki do klienta. Skutkiem tego będą kolejne marnotrawstwa typu braki i błędy, a w rezultacie reklamacja oraz wzrost kosztów dla przedsiębiorstwa.

3.3. Działania usprawniające proces pracy na stanowiskach

Na przykładowych stanowiskach, wykryte i przeanalizowane marnotrawstwa pozwoliły na zaproponowanie usprawnień. Na stanowisku wytwarzania zagłówka wprowadzono relokację skrzynek na wyroby, odpowiednie podnośniki w celu bardziej ergonomicznego dostępu do korpusów i redukcji zbędnych ruchów. Przeanalizowano możliwość oddelegowania pracownika w czasie oczekiwania wskutek awarii na inne stanowisko, przy czym decyzję będzie każdorazowo podejmował brygadzysta po otrzymaniu informacji z działu UR o przybliżonym czasie naprawy. Na drugim z analizowanych stanowisk przeorganizowano ustawienie elementów wyposażenia obszaru pracy pracownika, tak aby ograniczyć zbędny transport i zbędne ruchy. Ponadto wózki, na których znajdowały się skrzynie na wyroby gotowe zastąpiono skrzyniami wyposażonymi w otwierane boczne klapy w celu łatwiejszego pakowania. Po wprowadzeniu zmian na stanowiskach pracy sporządzony został nowy layout hali produkcyjnej zorganizowany zgodnie ze standardami 5S (tj. metody doskonalenia organizacji pracy). Wprowadzone zmiany przełożyły się na

poprawę funkcjonowania organizacji, w tym zwiększenie wydajności i jakości produkcji oraz poprawę organizacji pracy, ergonomii i bezpieczeństwa pracownika.

4. Podsumowanie

Znajomość rodzajów marnotrawstwa i ich identyfikacja to pierwszy krok w doskonaleniu systemów i procesów produkcyjnych. Istnie wiele metod i narzędzi ułatwiających wychwycenie możliwych strat w procesach. Jedną z nich jest *muda walk*, gdzie poprzez stosowanie odpowiedniego arkusza obserwacji w szybki i przejrzysty sposób można zidentyfikować marnotrawstwa w każdej fazie procesu produkcyjnego. Patrole wskazują też kluczowe miejsca w procesie produkcyjnym, jakie należy poddać dokładniejszych badaniom przy wykorzystaniu innych metod, jak np. fotografia dnia pracy czy diagram przepływu spaghetti.

Analiza pracy za pomocą fotografii dnia roboczego umożliwia zidentyfikowanie nie tylko rodzaju powstałego marnotrawstwa, ale także czasu związanego z nim. Pozwala to na późniejsze wprowadzenie usprawnień procesu produkcyjnego. Natomiast zastosowanie diagramu spaghetti pozwala uzyskać informacje na temat przepływu materiału czy drogi przebytej w trakcie zmiany przez pracownika. Dzięki tej analizie możliwe jest zniwelowanie zbędnego przemieszczenia materiałów czy pracowników, a tym samym skrócenie czasu wytwarzania wyrobów.

Ponadto, istotnym aspektem jest budowanie świadomości wśród pracowników odnośnie wykrywania marnotrawstw, dlatego do badań warto włączyć pracowników produkcyjnych, którzy najlepiej znają problemy i niedogodności związane z obecną metodą oraz środowiskiem pracy. Motywowanie pracowników kształtuje ich chęć do zmian w przedsiębiorstwie, w tym do ciągłego doskonalenia. Poprzez odpowiednio system motywowania pracownik chętniej zgłasza występowanie różnych problemów i strat w procesie produkcyjnym. Przykładowymi działaniami związanymi z motywacją mogą być nagrody pieniężne, awanse (zwłaszcza poziome) lub inne nagrody materialne czy niematerialne. Warto pamiętać, że pracownik doceniony za swoje działania będzie dążył do ciągłego doskonalenia, a przez to do ciągłej poprawy wyników i konkurencyjności przedsiębiorstwa.

Bibliografia

1. Pieńkowski M., Kompleksowy Model Dojrzałości Lean Manufacturing. Wyd. UE we Wrocławiu: Wrocław 2021.
2. Bednarek M. Doskonalenie systemów zarządzania, nowa droga do przedsiębiorstwa Lean. Difin: Warszawa, 2007.
3. Womack J. P., Jones D. T., Roos D. Maszyna która zmieniła świat. ProdPress.com: Wrocław 2008.
4. Locher D. Lean w biurze i usługach. MT Biznes sp. z o.o.: Warszawa 2012.
5. Baron-Puda M., Matuszek A.: Lean Management w szkolnictwie – studium przypadku. Język. Tożsamość. Wychowanie III [w:] (red. K. Feruga, A. Ostrowska-Knapik). Wydawnictwo Naukowe ATH w Bielsku-Białej: Bielsko-Biała 2020, s. 323-341.
6. Knosala R. Inżynieria produkcji. PWE, Warszawa 2017.
7. Mukherjee P. N. Total Quality Management, Second Edition (e-book). PHI Learning Private Limited: Delhi 2006.
8. Marchwinski Ch., Shook J. (Ed.). Lean Lexicon – A Graphical Glossary For Lean Thinkers. Fifth Edition. Lean Enterprise Institute: Cambridge 2014.
9. Shook J., Dennis P. Lean Production Simplified. Third Edition. CRC Press Inc.: Boca Raton 2015.
10. Bieniok H. Metody sprawnego zarządzania. AW Placet: Warszawa 2011.
11. Dębski D. Ekonomia i organizacja przedsiębiorstwa. WSiP: Warszawa, 2006.
12. Diagram Spaghetti, <https://leanpartner.pl/diagram-spaghetti/> (dostęp: 13.09.2024).
13. Allen T. T. Introduction to Engineering Statistics and Lean Sigma. Springer: London 2010.
14. Agustiady T. K.: Communication for Continuous Improvement Project. CRC Press Inc.: Boca Raton 2014.
15. Al-Rifai M. H. Lean Six Sigma. A DMAIC Roadmap and Tools for Successful Improvements Implementation. Routledge: New York, 2024.
16. Elbert M. Lean Production for the Small Company. CRC Press Inc.: Boca Raton 2013.
17. Pilch K. Analiza i doskonalenie procesów pracy poprzez ograniczenie marnotrawstwa na przykładzie wybranych stanowisk produkcyjnych. Praca dyplomowa inżynierska. Uniwersytet Bielsko-Bialski: Bielsko-Biała 2024.