



OPTYMALIZACJA WYBRANEGO PROCESU PRODUKCYJNEGO W OPARCIU O ZASADĘ CIĄGŁEGO DOSKONAŁENIA NA PRZYKŁADZIE PRZEDSIĘBIORSTWA X

Jacek Jagodziński, Damian Ostrowski

Wyższa Szkoła Bankowa we Wrocławiu,
Wydział Finansów i Zarządzania, Instytut Logistyki

Streszczenie. Artykuł podejmuje problem optymalizacji wybranego procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie X (tworzenie ściany bocznej lokomotywy). W ramach badań dokonano pomiarów czasów i wykonano mapę rozważanego procesu. Następnie dokonano podziału poszczególnych czynności, identyfikując marnotrawstwa. Na podstawie danych dokonano analizy procesu w oparciu o całkowitą efektywność pracy (współczynnik OLE). Artykuł prezentuje praktyczne zastosowanie koncepcji Lean. Przedstawione dane z przedsiębiorstwa mogą być wykorzystane do oceny stanu zarządzania w Polsce.

Słowa kluczowe: ciągłe doskonalenie, przedsiębiorstwo procesowe, całkowita efektywność pracy, marnotrawstwo

DOI: 10.17512/znpcz.2016.4.2.16

Wprowadzenie

W koncepcji ciągłego doskonalenia kluczowego znaczenia nabiera umiejętność organizacji do wypracowania spójnego systemu, który jest w stanie permanentnie udoskonalać każdy proces biznesowy w celu obniżki kosztów działalności, wzrostu zadowolenia klientów oraz zwiększenia satysfakcji z pracy dla pracowników. W niniejszym opracowaniu autorzy pokazują sposób optymalizacji wybranego procesu produkcyjnego realizowanego w firmie X, w którym dokonano obserwacji wykonanych czynności, podzielono czynności na trzy grupy oraz zwizualizowano proces w programie Adonis i dokonano stosownych obliczeń.

Publikacja jest efektem realizacji projektu naukowego w ramach Miejskiego Programu Wsparcia Współpracy Szkolnictwa Wyższego i Nauki oraz Sektora Aktywności Gospodarczej finansowanego ze środków Gminy Wrocław.

Optymalizacja procesów produkcyjnych

Uwzględniając współczesne warunki zarządzania organizacjami oraz złożoność i nieprzewidywalność otoczenia, podmioty gospodarcze zobligowane są do szukania rozwiązań, których zadaniem jest zwiększenie optymalności działania, obniżka kosztów operacyjnych, wzrost produktywności itp. „Optymalizacja (łac. *optimus* – najlepszy) oznacza poszukiwanie najlepszego rozwiązania (względem ustalonego kryterium) ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Praktycznym celem optymalizacji jest doprowadzenie decydenta do podjęcia optymalnej decyzji, tzn. najlepszej

z punktu widzenia przyjętego w danych warunkach kryterium, zwanego funkcją celu lub funkcją kryterium. Najczęściej stosowanymi, syntetycznymi kryteriami optymalizacji w inżynierii produkcji są: minimum kosztów realizacji projektu (produktu), przy zadanym ograniczeniu czasu jego wykonania, minimum czasu realizacji projektu (zadania), w danych warunkach” (Gawlik, Plichta, Świc 2013, s. 295).

Tabela 1. Optymalizacja według koncepcji klasycznej i Lean Manufacturing

Obszar	System produkcji klasycznej	Lean Manufacturing
Produkcja	Struktura funkcjonalna, minimalne kwalifikacje, długie cykle produkcyjne, duża ilość zapasów	Struktura komórkowa, wysokie kwalifikacje, produkcja potokowa, zero zapasów
Organizacja	Indywidualizm, wojskowa struktura organizacyjna	Zespoły zadaniowe, płaska struktura organizacyjna
Kierowanie	Przez nakazy i przymus	Przez „wizję” i współuczestnictwo
Kultura	Łojalność i posłuszeństwo, wyobcowanie i bunt	Harmonijna współpraca oparta na długoterminowym rozwoju zasobów ludzkich
Informacja	Zawężona, oparta na raportach wygenerowanych przez i dla kierownictwa	Szeroka, oparta na kontroli systemu dokonywanej przez wszystkich pracowników
Rozwój produktu	Wyizolowany, z małym wpływem klientów, niezależny od rzeczywistości produkcyjnej	Model zespołowy, rozwój produktu i procesu produkcyjnego zgodny z wymaganiami klienta
Utrzymanie ruchu	Przez specjalistów ds. utrzymania ruchu	Zarządzanie wyposażeniem poprzez projektowanie, produkcję i konserwację
Klient	Uzależniony od oferowanego produktu o dopuszczalnym poziomie jakości, zakupów dokonuje często na wyprzedzających nadprodukcji	Produkt dostosowany do wymagań klienta, o wysokiej jakości, w ilościach zgodnych z zapotrzebowaniem rynku

Źródło: (Matczewski 2007, s. 67)

Jedną z najczęściej wykorzystywanych filozofii w firmach związanych z optymalizacją działania jest Lean/Kaizen. W przypadku produkcji wykorzystuje się Lean Manufacturing rozumiany jako „szczupła produkcja”, polegająca na nieustannym eliminowaniu marnotrawstwa – czasu, materiału, siły roboczej, energii rozumianej jako wszelkie czynności, procesy czy inwestycje niedodające wartości do produktu z punktu widzenia klienta. Nazwę Lean Manufacturing wymyślili naukowcy z Massachusetts Institute of Technology w Bostonie. Nazwa ta pierwszy raz została użyta w książce *The Machine That Changed the World* (Womack, Jones, Roos 2008).

Wdrażanie Lean Manufacturing przynosi następujące korzyści ekonomiczne: redukcję kosztów, wzrost produktywności, spadek zapotrzebowania na powierzchnię, zmniejszenie ilości zapasu produkcji w toku, wzrost jakości produkowanych wyrobów, zmniejszenie czasu realizacji zamówień oraz zwiększenie komfortu i bezpieczeństwa pracy systemów IT, czy też wskaźników KPI (*Key Performance Indicators*). Usprawnienia produkcyjne zgodnie z filozofią Lean wymagają zastosowania właściwie wszystkich dostępnych narzędzi, technik, metod czy koncepcji, które są znane w naukach ekonomicznych. Istota problemu polega na właściwym przebiegu procesu zmian, tzn. ich odpowiedniej integracji, wyznaczaniu odpowiedniego przebiegu itp. (Borkowski, Ulewicz 2009, s. 127).

Porównanie dwóch koncepcji dotyczących optymalizacji produkcji zaprezentowano w Tabeli 1.

Charakterystyka firmy

Badane przedsiębiorstwo jest największym inwestorem międzynarodowym w branży transportowej. Zatrudnia ponad 1500 osób w Polsce i posiada tu 4 zakłady produkcyjne – w województwie śląskim, łódzkim, mazowieckim i dolnośląskim. Zakład na Dolnym Śląsku ma długotrwałą tradycję produkcji pojazdów: nadwozia i ramy wózków (od 1833 r.). Po roku 1945 firma była jedną z największych na terenie kraju pod względem woluminu produkcji oraz liczby zatrudnionych pracowników. Od 2001 roku firma należy do międzynarodowego koncernu z siedzibą w Ameryce Północnej. Użytkownikami produktów są firmy transportowe z Niemiec, Szwecji, Szwajcarii, USA i Włoch. Zakład zatrudnia około 700 pracowników, w tym około 200 w komórkach administracyjnych i około 500 na stanowiskach roboczych (opracowano na podstawie strony internetowej przedsiębiorstwa).

Opis procesu produkcyjnego

Do optymalizacji wybrano jeden z ważniejszych procesów związanych z produkcją lokomotywy. Poddano analizie proces produkcji ściany bocznej. Pierwszą czynnością było zebranie materiału źródłowego w postaci danych dotyczących rzeczywistych czynności i pomiaru czasu realizowanych czynności. W okresie od listopada 2015 r. do stycznia 2016 r. dokonano fizycznych obserwacji procesu, wykorzystując do tego celu arkusz obserwacyjny zaprezentowany w Tabeli 2.

Tabela 2. Arkusz obserwacyjny wykorzystany w analizie procesu

Data i godzina rozpoczęcia obserwacji:					
Data i godzina zakończenia obserwacji:					
Produkt:			Koordynator produktu:		
Nr produktu:			Lider produktu:		
Lp.	Szczegółowy opis czynności	Czas od:	do:	Liczba osób	Zawód
					Uwagi

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji uzyskanych od firmy X

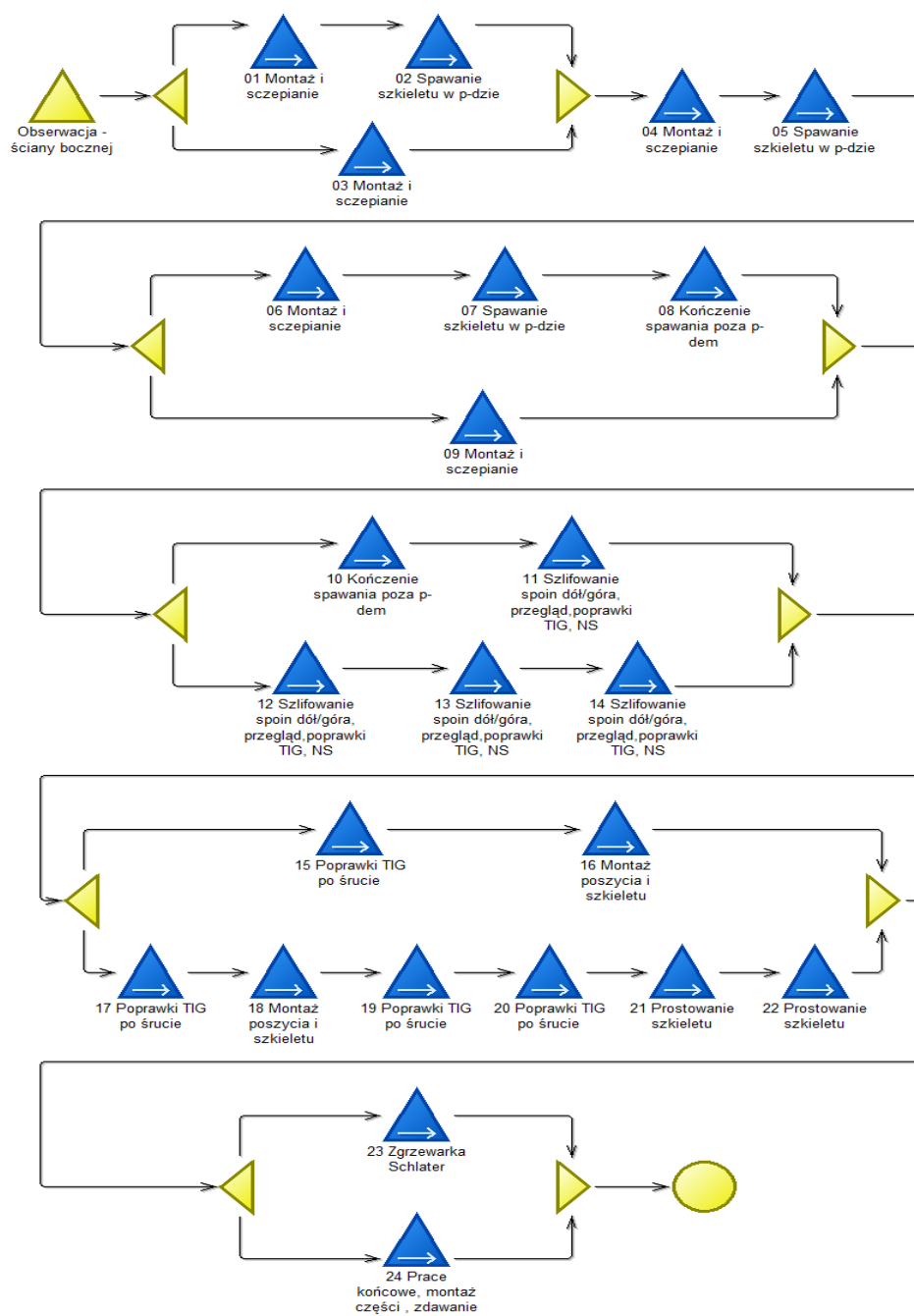
Następnym krokiem było zwizualizowanie zaobserwowanego procesu produkcyjnego. Do tego celu użyto programu informatycznego Adonis. Program Adonis jest narzędziem informatycznym dostarczającym kompleksowe wsparcie dla zarządzania procesami, począwszy od wizualizacji organizacji i jej procesów, poprzez optymalizację wybranych procesów, publikację raportów i wytycznych dla pracowników, a skończywszy na permanentnej kontroli realizacji celów procesowych. Twórcą i właścicielem programu Adonis jest BOC-Group (*Adonis – opis produktu*). Zwizualizowany proces zaprezentowano na *Rysunku 1*, wykorzystując symbolikę używaną do wizualizacji procesowej. Symbole użyte do wizualizacji zaprezentowano w *Tabeli 3*.

Tabela 3. Wybrane symbole użyte w procesie optymalizacji

Nazwa symbolu	Oznaczenie symbolu	Nazwa symbolu	Oznaczenie symbolu
Początek procesu		Paralelizm	
Czynność		Suma	
Podproces		Koniec	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów szkoleniowych firmy BOC-Group (<http://www.boc-group.com/pl/...>)

Proces produkcyjny ściany bocznej lokomotywy składa się z 24 wyodrębnionych podprocesów. W każdym podprocesie zaprezentowano podział na czynności przynoszące wartość dodaną do procesu, jak i czynności nieprzynoszące pożądanej wartości. Proces składa się z pięciu paralelizmów obrazujących równoległy przebieg realizowanych podprocesów. Proces prezentuje rzeczywiste podprocesy zidentyfikowane w trakcie obserwacji, nieznacznie różniące się od ujęcia zaprezentowanego w normatywie technologicznej. Do realizacji procesu zaangażowano pracowników na stanowiskach roboczych: spawaczy, ślusarzy oraz pracowników technicznych; wsparcie stanowiły działy: techniczny, jakościowy, produkcyjny.



p-dzie, p-dem – pojeździe, pojazdem

Rysunek 1. Optymalizowany proces produkcyjny

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Analizując proces, wykorzystano analizę obciążenia, dzieląc poszczególne czynności na takie, które generują wartość dodaną do procesu oraz na nieprzynoszące żadnej wartości dodanej do procesu. Każda z czynności posiada przypisany czas trwania. Umożliwiło to obliczenie czasu trwania całego procesu, zdefiniowanie czasu trwania poszczególnych podprocesów oraz analizę czynności. Dokonując podziału na czynności, przyjęto symbole zaprezentowane w Tabeli 4. Należy zwrócić uwagę, iż nie jest to dedykowana symbolika programu Adonis, lecz adaptacja autorów artykułu dostosowana do potrzeb niniejszego opracowania.

Tabela 4. Symbole wykorzystywane do podziału czynności

Nazwa symbolu	Oznaczenie symbolu	Szczegóły
VA – wartość dodana		czynność przynosząca wartość dodaną – najbardziej pożądana
NVA – brak wartości dodanej		czynność nieprzynosząca wartości dodanej, ale z różnych względów (organizacyjnych, technicznych) tolerowana
ENVA – typ marnotrawstwa		czynność, którą należy bezwzględnie wyeliminować

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów szkoleniowych firmy BOC-Group

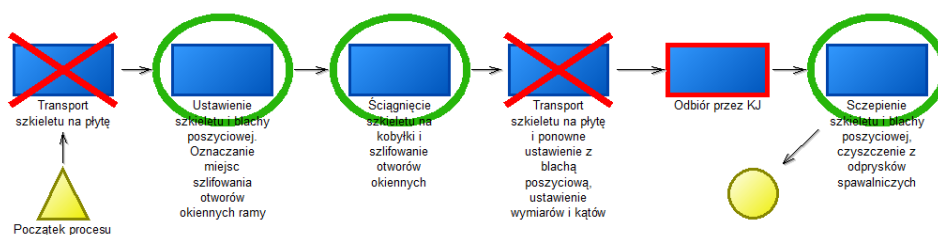
Do grupy VA (value added) zalicza się te czynności, które bezpośrednio wpływają na realizację procesu i pochodzą z normatywu technologicznego. W ujęciu nauk o zarządzaniu są to czynności, za które płaci klient, i to one generują dla firmy przychód.

Do grupy NVA (non value added) zalicza się te czynności, które nie generują bezpośrednio korzyści dla procesu, ale z różnych powodów jest niemożliwe ich wyeliminowanie, zazwyczaj przyjmuje się, że wynikają one z zasad technologii produkcyjnej, zalicza się do nich np. schnięcie, parowanie, kontrolę itp.

Do grupy ENVA (eliminated non value added) zalicza się te czynności, które w filozofii ciągłego doskonalenia stanowią *muda* – marnotrawstwo. W niniejszym artykule przyjęto następujące typy marnotrawstwa: nadprodukcję, wysokie zapasy, zbędny transport, braki, zbędne przetwarzanie, zbędne ruchy¹. W działaniach optymalizujących należy bezwzględnie dążyć do ich eliminacji.

Wykorzystując zaproponowaną symbolikę, opisano bardzo dokładnie każdy podproces. Przykład zwizualizowanego podprocesu zaprezentowano na Rysunku 2. Jest to podproces nr 16 „montaż poszycia szkieletu”. W niniejszym podprocesie wyodrębniono trzy czynności dodające wartość do procesu (VA) – ustawienie szkieletu i blachy poszyciowej oraz oznaczenie miejsc do szlifowania otworów okiennych, szlifowanie otworów okiennych oraz szczepienie szkieletu i blachy poszyciowej.

¹ W naukach o zarządzaniu mówi się jeszcze o jednym typie marnotrawstwa, jakim jest niewykorzystana kreatywność pracowników.



Rysunek 2. Przykładowy podproces z podziałem na trzy kategorie czynności

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych firmy

Jedna czynność nieprzynosząca wartości dodanej (NVA) – odbiór jakościowy dokonywany przez kontrolera jakościowego (KJ) – jest to czynność niedodająca wartości, ale niemożliwa do wyeliminowania. Dwie czynności stanowiące określony typ marnotrawstwa ENVA w niniejszym podprocesie zidentyfikowano jako typ marnotrawstwa: zbędny transport, co może świadczyć o nieprawidłowym ustawieniu maszyn produkcyjnych.

Kolejnym krokiem była analiza czasowa trwania konkretnego podprocesu. W przykładzie (montaż poszycia szkieletu – podproces nr 16) przedstawionym na *Rysunku 2* zmierzono czasy i zebrano dane w *Tabeli 5*. W omawianym podprocesie 25% czasu stanowią czynności nieprzynoszące wartości dodanej.

Tabela 5. Całościowe ujęcie czasów w podprocesie z *Rysunku 3* z podziałem na czynności

Czynności	VA	NVA	ENVA	Suma
Czas trwania czynności	45 min	8 min	7 min	60 min

Źródło: Opracowanie własne na podstawie pomiarów

Optymalizacja uzyskanych wyników

Zarządzanie zasobami ludzkimi zdeterminowane jest przez czynniki wewnętrzne zależne od pracowników oraz przez czynniki zewnętrzne związane z otoczeniem. Kadry zarządzające powinny tak zorganizować pracę, aby uzyskać jak największą efektywność przy minimalizacji negatywnych uwarunkowań. W zależności od branży aspektami obniżającymi jakość pracy mogą być: absencja pracowników, czasy dotarcia i powrotu na miejsce pracy, usuwanie procesów awaryjnych itp. (Gumiński 2011, s. 90; Skowron-Mielnik 2009, s. 39).

Celem poniższych badań jest prezentacja obecnego stanu jakości pracy oraz próba odnalezienia czynników, które mają największy wpływ na skuteczność produkcji.

Analizowanym procesem produkcyjnym jest budowa ściany bocznej. Poszczególne operacje przeprowadzanych prac, na które składa się 10 głównych czynności, zostały zestawione w *Tabeli 6*. Na bazie obserwacji dla jednego procesu zmierzono czasy wykonania poszczególnych podprocesów, z uwzględnieniem czynności

głównych, przygotowawczych, które wymagają oczekiwania, oraz dodatkowych, nieprzynoszących wartości dodanej. Jako jednostkę do analizy czasów trwania poszczególnych procesów przyjęto standardowe podejście techniczne w postaci ilości godzin, natomiast część ułamkową w HM (niem. *Hundertstelminuten*), gdzie 1HM = 1/100 minuty.

Tabela 6. Proces realizacji ściany bocznej lokomotywy

Operacja	Czas normatywny [HM] <i>ICT</i>	Czas rzeczywisty <i>PPT</i>		
		<i>RT</i>	<i>ST</i>	
		Wykonanie [HM]	Oczekiwanie [HM]	Nieprzynoszące wartości dodanej [HM]
1. Tigowanie detali i montaż nakrętek	3,00	b.d.	b.d.	b.d.
2. Montaż i szepianie oraz spawanie szkieletu w pojeździe	15,25	13,18	3,28	7,37
3. Kończenie spawania poza pojazdem	1,25	1,62	0,80	1,58
4. Szlifowanie spoin dół/góra, przegląd, poprawki TIG, NS	9,60	3,53	2,82	3,23
5. Prostowanie szkieletu	3,00	4,37	0,52	1,57
6. Poprawki TIG po śrucie	1,20	0,58	9,32	10,50
7. Montaż poszycia i szkieletu	1,50	1,50	0,27	0,40
8. Zgrzewanie (Schlater)	2,50	1,50	0,32	0,80
9. Procesy końcowe, montaż części - zdawanie	3,30	1,27	0,85	3,23
10. Końcowe korygowanie	1,25	b.d.	b.d.	b.d.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

Należy zwrócić uwagę, iż omawiany proces jest bardzo skomplikowaną procedurą, a *Tabela 6* zawiera jedynie zestawienie wyników dla ogólnych czynności wskazanych w normatywie. W ramach prac badawczych zidentyfikowano i zmierzono 24 podprocesy i 284 bardziej szczegółowe czynności, jednakże omawiane zadanie jest na tyle skomplikowane, że zebrane informacje prezentują jedynie strukturę wykonywanego procesu. W *Tabeli 6* znajdują się także oznaczenia czasów potrzebnych w dalszej części do dalszych obliczeń (*PPT*, *ITC*, *RT*, *ST*).

Szereg wskaźników dotyczących wykorzystania czasu pracy można odnaleźć w opracowaniu GUS-u (GUS 2008, s. 70-72). Na potrzeby artykułu postanowiono wykorzystać bardzo popularny wskaźnik KPI: *OEE* (ang. *Overall Equipment Effectiveness*), służący do pomiaru produktywności urządzeń (Kumar i in. 2013, s. 241), a właściwie jego odpowiednik: *OLE* (ang. *Overall Labor Effectiveness*), oceniający pracę rąk ludzkich, tzw. całkowita efektywność pracy (Jasiulewicz-Kaczmarek i in. 2014, s. 12143-12144).

Wskaźniki *OLE* i *OEE* składają się z iloczynu trzech parametrów: dostępności (*A* – ang. *availability*), wydajności (*P* – ang. *performance*) oraz jakości (*Q* – ang. *quality*), jedyną różnicą pomiędzy nimi jest wykorzystanie do oceny wydajności maszyny w *OEE* bądź człowieka w *OLE*. Całkowita efektywność pracy to zatem:

$$OEE = A \cdot P \cdot Q \quad (1)$$

Każdy z parametrów *A*, *P*, *Q* oraz wskaźnik *OLE* przyjmuje wartości procentowe od 0% do 100%. Dostępność (*A*) opisuje, jak wiele czasu tracone jest na przestoje w stosunku do rzeczywistego czasu pracy, i wyraża się wzorem:

$$A = \frac{RT}{PPT} \quad (2)$$

gdzie:

RT (ang. *run time*) – rzeczywisty czas wykonania procesów nieuwzględniający czasów postojów;
PPT (ang. *planned production time*) – zaplanowany czas produkcji, oznacza czas wszystkich zmian potrzebnych do wykonania elementu, czyli suma czasów wykonania (*RT*) i wszystkich czasów przestojów (*ST* – ang. *stop time*). Poprzez przestój rozumie się zarówno nieprzewidziane awarie, jak i niezbędne dostrojenie maszyn, wymiany sprzętu itp. Można zatem zapisać, iż $ST = US + PS$, co oznacza, że czas przestojów składa się z nieplanowanych *US* (ang. *unplanned stops*) oraz zaplanowanych postojów *PS* (ang. *planned stops*). Dodatkowo $PPT = RT + ST$.

Wydajność *P* pokazuje, o ile wolniej działa proces w stosunku do jego teoretycznego czasu wyliczonego na bazie standardów technologicznych, i opisany jest wzorem:

$$P = \frac{TC \cdot ICT}{PPT} \quad (3)$$

gdzie:

TC (ang. *total count*) – liczba produkowanych elementów;
ICT (ang. *ideal cycle time*) – idealny czas jednego cyklu wykonania procesu, czyli czas normatywny (standardowo nie uwzględnia się w nim czasów postojów).
 Czas *PPT* zdefiniowany przy wzorze (2), w artykule analizowana jest tylko jedna sztuka, czas trwania wszystkich czynności procesu to prawie 9 i pół dnia (por. *Tabela 6*), zatem $TC = 1$.

Trzecim wskaźnikiem jest jakość *Q* – ocenia, ile wytworzonych części nie spełnia standardów jakościowych, i jest zdefiniowany następująco:

$$Q = \frac{GC}{TC} \quad (4)$$

gdzie:

GC (ang. *good count*) – liczba prawidłowo wyprodukowanych elementów (Choudhary 2015, s. 98; Jonsson, Lesshammar 1999, s. 62).

Dla badań przeprowadzonych w artykule parametr *Q* został przyjęty arbitralnie jako jeden – w tak długim procesie nie ma możliwości przeprowadzenia badań wielokrotnych. Na uwagę zasługuje również fakt, że proces nie w pełni wpisuje się w specyfikę parametru jakościowego *Q*, gdyż w sytuacji gdy element nie spełnia żądanej jakości, to wykonuje poprawki na bieżąco. Takie dodatkowe czynności gwarantują spełnienie maksymalnej jakości, zatem *Q* zawsze wynosi 1. Ponadto

sytuacja, w której istnieją problemy ze spełnieniem żądanych wymogów, powoduje że proces produkcyjny trwa dłużej, zatem pogarszają się współczynniki A i P . Dlatego mimo praktycznego pominięcia parametru Q stosowanie metodologii OLE w przedstawionym przypadku jest uzasadnione.

W Tabeli 7 przedstawiono wyniki obliczeń współczynnika OLE dla omawianego procesu. Górna część tabeli, oznaczona jako normatyw podstawowy, zawiera dane zebrane z Tabeli 1 oraz obliczenia pośrednie niezbędne do uzyskania współczynnika efektywności pracy zgodnie z wzorami (1), (2) i (3). Obliczenia „przed optymalizacją” prezentują wyniki dla stanu obecnego, natomiast sformułowanie „po optymalizacji” oznacza idealny stan, w którym usunięto wszystkie czynności niedające wartości dodanej.

Na podstawie obliczeń okazało się, że wydajność P przyjęła dla operacji 4, 8 i 9 wartości powyżej 100% (komórki oznaczone szarym kolorem w Tabeli 7), taka sytuacja pojawia się wtedy, gdy dana czynność została wykonana szybciej niż założona w normatywie, czyli czas wykonania (PPT) jest mniejszy niż idealny czas jednego cyklu wykonania danego procesu (ICT). W praktyce oznacza to, że czasy ICT dla wskazanych operacji powinny zostać skrócone, gdyż gdyby usunąć wszystkie czynności nieprzynoszące wartości dodanej, to można wykonać dany proces jeszcze szybciej, a czas ICT z definicji oznacza najszybszy możliwy. Taka modyfikacja dla procesów 4, 8 i 9 została zaprezentowana w części Tabeli 7 jako normatyw poprawiony.

Tabela 7. Obliczenia całkowitej efektywności pracy OLE dla procesu produkcji ścian bocznej lokomotywy z i bez czynności nieprzynoszących wartości dodanej (oznaczenia zgodnie z metodą wyliczania współczynnika OLE , O – numer operacji)

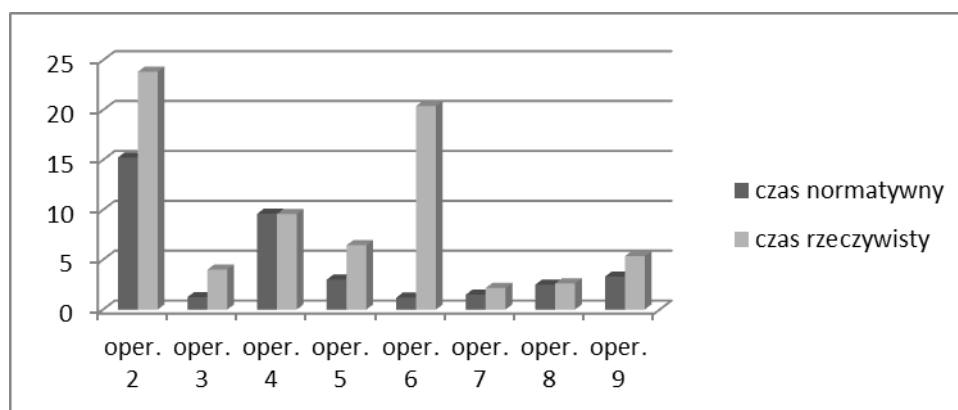
Normatyw podstawowy										
	Przed optymalizacją						Po optymalizacji			
O	RT [HM]	PPT [HM]	A [%]	ICT [HM]	P [%]	OLE [%]	PPT _{imp} [HM]	A _{imp} [%]	P _{imp} [%]	OLE _{imp} [%]
2	13,18	23,83	55,31	15,25	63,99	35,39	16,47	80,06	92,61	74,15
3	1,62	4,00	40,42	1,25	31,25	12,63	2,42	66,90	51,72	34,60
4	3,53	9,58	36,87	9,60	100,17	36,93	6,35	55,64	151,18	84,12
5	4,37	6,45	67,70	3,00	46,51	31,49	4,88	89,42	61,43	54,93
6	0,58	20,40	2,86	1,20	5,88	0,17	9,90	5,89	12,12	0,71
7	1,50	2,17	69,23	1,50	69,23	47,93	1,77	84,91	84,91	72,09
8	1,50	2,62	57,32	2,50	95,54	54,77	1,82	82,57	137,61	113,63
9	1,27	5,35	23,68	3,30	61,68	14,60	2,12	59,84	155,91	93,30
Σ	27,55	74,40	37,03	37,60	50,54	18,71	45,72	60,26	82,25	49,56
Normatyw poprawiony										
4	3,53	9,58	36,87	6,35	66,26	24,43	6,35	55,64	100,00	55,64
8	1,50	2,62	57,32	1,82	69,43	39,80	1,82	82,57	100,00	82,57
9	1,27	5,35	23,68	2,12	39,56	9,37	2,12	59,84	100,00	59,84
Σ	27,55	74,40	37,03	32,48	43,66	16,17	45,72	60,26	71,05	42,82

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

Oryginalni autorzy współczynnika *OEE* (*OLE*) sugerowali, iż powinien być na poziomie 85%, jednakże analiza rzeczywistych światowej klasy przedsiębiorstw wskazuje na jego wahanie się od 30% do 90%. Na podstawie badań Kotzego sugeruje się, że wartość około 50% stanowi dobry rezultat (Fernandez 2015, s. 14).

W przypadku badanego procesu ogólny wynik *OLE* wynosi 18,71%, bądź jeżeli zostaną uwzględnione poprawki dla normatywu, to wynik jest jeszcze gorszy, bo tylko 16,17%. Najefektywniejszą operacją jest 8 – zgrzewania, z wynikiem 54,77%, a najmniej wydajną 6 – poprawki TIG po śrucie, z wynikiem tylko 0,17%. Tak niska efektywność wynika z faktu, że wszystkie czynności procesu (operacje 2-9) trwają prawie 74,5 godziny, a powinny 27,55 HM.

Gdyby wyeliminować czynności nieprzynoszące wartości dodanej, można by sumaryczny czas realizacji poszczególnych zadań zredukować do 45,72 HM, co zwiększyłoby efektywność do 49,56% (bądź przy poprawionym normatywie do 42,82%), co z kolei stanowiłoby wyraźną poprawę. Należy pamiętać, że cały proces można przyspieszyć jeszcze bardziej i uzyskać wyższe wartości wskaźnika, teoretycznie nawet 100%, gdyby zredukować czasy oczekiwania, które są niezbędne w samym procesie produkcyjnym, na przykład przez lepszą organizację pracy, wykorzystanie większej liczby maszyn, aby zniwelować przestoje itp.



Rysunek 3. Porównanie czasu normatywnego i rzeczywistego dla procesu produkcji ściany bocznej lokomotywy

Źródło: Opracowanie własne

Na *Rysunku 3* zaprezentowano porównanie czasów normatywnych i rzeczywistych dla procesu produkcji ściany bocznej lokomotywy. Zgodnie z danymi zebranymi w *Tabeli 6* największy potencjał racjonalizatorski mają operacje 6 (*OLE*: 0,17%, *P*: 5,88%, *A*: 2,86%), którą można skrócić o blisko 20 godzin, następnie procesy 9 (*OLE* 9,37%), 3 (*OLE* 12,63%) oraz 4 (24,43%). Poprawa tych czterech zadań do poziomu współczynnika efektywności 30% zagwarantuje usprawnienie całej procedury na tym poziomie.

Tabela 8. Obliczenia całkowitej efektywności pracy OLE przy założonym poziomie 30% dla procesu produkcji ściany bocznej lokomotywy

	Normatyw podstawowy				Normatyw poprawiony			
	Skrócenie czasu nieprzynoszącego wartości dodanej			45,48 %	Skrócenie czasu nieprzynoszącego wartości dodanej			31,03 %
Oper.	PPT _{imp} [HM]	A _{imp} [%]	P _{imp} [%]	OLE _{imp} [%]	PPT _{imp} [HM]	A _{imp} [%]	P _{imp} [%]	OLE _{imp} [%]
2	19,82	66,53	76,95	51,19	18,75	70,30	81,32	57,17
3	3,14	51,54	39,85	20,54	2,91	55,59	42,99	23,90
4	7,82	45,18	122,75	55,46	7,35	48,05	86,36	41,49
5	5,60	78,03	53,61	41,83	5,37	81,32	55,87	45,44
6	14,68	3,97	8,18	0,33	13,16	4,43	9,12	0,40
7	1,95	76,98	76,98	59,26	1,89	79,33	79,33	62,94
8	2,18	68,79	114,65	78,87	2,06	72,64	87,98	63,91
9	3,59	35,31	91,99	32,48	3,12	40,60	67,84	27,54
Σ	58,76	46,88	63,99	30,00	54,62	50,44	59,47	30,00

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

W Tabeli 8 zaprezentowano, do jakiej wartości procentowej należałoby skrócić czasy nieprzynoszące wartości dodanej, aby uzyskać minimalny zadowalający poziom współczynnika efektywności na poziomie 30%. Przy obecnym normatywie (podstawowym) czynności nieprzynoszące wartości dodanej należałoby skrócić do poziomu 45,48% stanu obecnego. Na przykład dla operacji 6 oznaczałoby to skrócenie czasu PPT z poziomu 20,40 HM do 14,68 HM (por. Tabele 7 i 8). Warto zwrócić uwagę, że proces 6 – *poprawki TIG po śrucie* zawiera w sobie element jakościowy. Gdyby pozostałe zadania były wykonane idealnie, nie trzeba by było dokonywać poprawek, co w znacznym stopniu skróciłoby całą procedurę. W przypadku normatywu poprawionego czasy nieprzynoszące wartości dodanej należy zredukować do przynajmniej 31,03% stanu aktualnego.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wybrany podproces produkcji lokomotywy w przedsiębiorstwie X, następnie, wykorzystując oprogramowanie Adonis, dokonano jego szczegółowego mapowania. Dalej – wykonując obserwacje procesu, zmierzono czasy trwania poszczególnych operacji. W oparciu o teorię szczupłego wytwarzania (Lean Management) dokonano analizy i podziału procesów, identyfikując marnotrawstwa. Korzystając ze współczynnika *OLE* (ang. *Overall Labor Effectiveness*), dokonano oceny procesu i wskazano możliwości jego przyspieszenia.

Na podstawie analizy efektywności stwierdzono, że proces budowy ściany bocznej lokomotywy w badanym przedsiębiorstwie jest nieoptymalny. Zauważono także, iż procesy 4, 8 i 9, po usunięciu czynności nieprzynoszących wartości dodanej, posiadają współczynnik wydajności *P* powyżej 100%, dlatego należy poprawić w operacjach najkrótszy możliwy czas wykonania, czyli skrócić normatyw. Całkowity poziom efektywności *OLE* jest na poziomie 18,71% (16,17% przy po-

prawionym normatywie), a w przypadku niektórych procesów nawet 0,17%. Minimalny poziom OLE dla dobrze działającego przedsiębiorstwa to około 30% (Fernandez 2015, s. 14).

Aby usprawnić działanie organizacji, należałoby przyspieszyć operacje 3, 4, 6, i 9, do ustalonej wartości 30%, bądź skrócić wszystkie czynności nieprzynoszące wartości dodanej o około 55% (70% w przypadku poprawionego normatywu). W wyniku takiej optymalizacji proces skróciłby się o prawie 16 godzin (por. Tabela 2 i 3). Jednakże jest to absolutne minimum usprawnienia dla produkcji ściany bocznej lokomotywy, gdyż przedstawiony proces posiada ogromny potencjał racjonalizatorski, a dalsze działania reorganizacyjne są niezbędne.

Literatura

1. Adonis – opis produktu, <http://www.boc-group.com/pl/produkty/adonis/opis-produktu/> (dostęp: 17.04.2016).
2. Borkowski S., Ulewicz R. (2009), *Zarządzanie produkcją – systemy produkcyjne*, Oficyna Wydawnicza „Humanitas”, Sosnowiec.
3. Choudhary P.R. (2015), *Optimization of Load-Haul-Dump Mining System by OEE and Match Factor for Surface Mining*, “International Journal of Applied Engineering and Technology”, Vol. 5(2), April-June.
4. Fernandez Q. (2015), *Performance Indicator Design and Implementation on Semi-Automated Production Lines, Overall Equipment Effectiveness (OEE) Philosophy Adaptation*, Master of Science Thesis, Production Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management, Stockholm.
5. Gawlik J., Plichta J., Świc A. (2013), *Procesy produkcyjne*, PWE, Warszawa.
6. Gumiński A. (2011), *Czynniki obniżające efektywny czas pracy zatrudnionych w kopalni węgla kamiennego*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Organizacja i Zarządzanie”, z. 56.
7. GUS (2008), *Zasady metodyczne statystyki rynku pracy i wynagrodzeń*, Główny Urząd Statystyczny, Departament Pracy i Warunków Życia, Warszawa.
8. <http://www.boc-group.com/pl/produkty/adonis/screenshots/> (dostęp: 17.04.2016).
9. Jasiulewicz-Kaczmarek M., Drozynerz P., Kolmasiak C., Szczuka M. (2014), *Analysis of Performance by Overall Equipment Efficiency – Case Study*, “Logistyka”, nr 6.
10. Jonsson P., Lesshammar M. (1999), *Evaluation and Improvement of Manufacturing Performance Measurement Systems – the Role of OEE*, “International Journal of Operations & Production Management”, Vol. 19, Issue 1.
11. Kumar U., Galar D., Parida A., Stenström C., Berges L. (2013), *Maintenance Performance Metrics: A State of the Art Review*, “Journal of Quality in Maintenance Engineering”, Vol. 19, Issue 3.
12. Matczewski A. (2007), *Zarządzanie produkcją przemysłową. Problemy. Metody. Środki*, PWE, Warszawa.
13. Skowron-Mielnik B. (2009), *Efektywność pracy – próba uporządkowania pojęcia*, „Zarządzanie Zasobami Ludzkimi”, nr 1.
14. Womack J.P., Jones D.T., Roos D. (2008), *Maszyna, która zmieniła świat*, ProdPress.com, Wrocław.

THE PRODUCTION PROCESS OPTIMIZATION BASED ON THE PRINCIPLE OF CONTINUOUS IMPROVEMENT ON THE SELECTED EXAMPLE

Abstract: Article deal with the problem of optimizing the production process (the formation of the locomotive side wall) in the company X. In the study, the time measurements of the considered process were made. After division process into the individual activities the identification of the waste was made. On the basis of Overall Labor Effectiveness OLE the process analysis was performed. The article also presents the practical application of Lean Management.

Keywords: continuous improvement, process, Overall Labor Effectiveness, wastes