

OCENA PRZEBIEGU PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Marek WIRKUS, Alicja KUKUŁKA

Streszczenie: W artykule poruszono zagadnienie oceny przebiegu procesów produkcyjnych. Zaprezentowano możliwość oceny procesu nie tylko pod kątem oceny technicznej, ale również przez kryteria ekonomiczne, rynkowe, społeczne oraz ekologiczne, dzięki czemu dokonuje się kompleksowej oceny procesu. Podczas realizacji badań w przedsiębiorstwie X, mających na celu ocenę przebiegu procesu dla stanowiska roboczego opracowano wielokryterialny miernik procesu. Uwzględniał on mierniki takie jak: OEE (całkowita efektywność wyposażenia), efektywność pracy pracownika, MTTR (średni czas naprawy) i MTBF (średni czas bezawaryjnej pracy).

Słowa kluczowe: Wielokryterialny miernik procesu, ocena wielokryterialna

1. Wstęp

Potrzeba oceny przebiegu procesów produkcyjnych związana jest z rozwojem procesów wytwórczych oraz systemów produkcyjnych. W sytuacji gdy przedsiębiorstwo w procesie produkcyjnym wykorzystuje kosztowne i bardzo złożone systemy produkcyjne, proste metody oceny technicznej przebiegu procesu stały się niewystarczające. Dlatego też obecna ocena przebiegu procesu wymaga nie tylko oceny technicznej stosowanej przy użyciu takich metod jak OEE, ale szerszego spojrzenia na dostępne kryteria oceny. Wyróżnić tu można dodatkowo kryteria rynkowe, ekonomiczne, społeczne czy ekologiczne. Mówiąc o kryterium rynkowym można oceniać proces pod kątem dostosowania jego produktów do indywidualnych potrzeb klienta, możliwości elastycznego doboru produktu, cen dostarczanych produktów oraz terminów i czasookresów dostarczania wyrobów, czyli można mówić o ocenie procesu przez pryzmat efektu widzianego oczami klienta. Kryterium ekonomiczne wiąże się z oceną poziomu kosztów produkcji związanych z analizowanym procesem oraz niezbędnych do jego realizacji kapitałowych nakładów inwestycyjnych. Ocena społeczna polega na zmierzeniu warunków pracy, związanych z ergonomią na stanowisku pracy, określeniu kwalifikacji wymaganych od pracowników oraz zadowolenia i satysfakcji z wykonywanej pracy, poprzez na przykład określenie absencji, czy też przeprowadzenie ankiety. Kryterium ekologiczne wiąże się ze sposobami ochrony środowiska naturalnego, utylizacji i segregacji odpadów, a także zużycia różnego rodzaju mediów, kryterium to wiąże się z pojęciem społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw.

Konieczność oceny procesu pod kątem różnych kryteriów spowodowała łączenie wielu wskaźnik oceny tworząc wielokryterialne wskaźniki oceny procesów produkcyjnych. Tworzenie tych wskaźników jest złożonym zadaniem, gdyż wymaga wiedzy pozwalającej na właściwy wybór kryteriów oraz przypisanie do nich wag, które uwypuklą mierniki najważniejsze z punktu widzenia dokonywanej oceny. Dodatkowo decyzja dotycząca wyboru mierników powinna być uzależniona od typu procesu produkcyjnego, gdyż poszczególne wskaźniki w przypadku innych procesów produkcyjnych mogą dać

niemiarodajne wyniki. Przeprowadzono badania w przedsiębiorstwie X proponując ocenę procesu produkcyjnego uwzględniając wielokryterialny miernik procesu.

2. Potrzeba oceny przebiegu procesu produkcyjnego

Rozwijające się systemy produkcyjne pozwoliły nie tylko na zwiększenie zdolności produkcyjnej, ale też na tworzenie wyrobów o wyższej złożoności, przez co procesy produkcyjne zaczęły stawać się coraz bardziej skomplikowane. Kosztowne i złożone systemy produkcyjne wymusiły rozwój nowych metod oceny przebiegu procesów produkcyjnych.

Podczas analizy procesu należy odpowiedzieć na pytania dotyczące [1]:

- celu procesu – zidentyfikowanego w obecnej sytuacji poprzez określenie co i dlaczego się robi, a także przypuszczeń co jeszcze może i powinno być zrobione,
- miejsca procesu – poprzez określenie gdzie dany proces jest wykonywany i dlaczego został zaplanowany w tym miejscu, a także rozważań gdzie jeszcze można by go wykonać lub też gdzie powinien być wykonywany,
- sekwencji – oznaczającej analizę czasu wykonywania danego procesu, identyfikacji przyczyn ustalenia określonego czasu oraz możliwości innych terminów wykonania,
- osób – poprzez ustalenie kto i dlaczego wykonuje dane czynności oraz zidentyfikowanie kto jeszcze mógłby to wykonać oraz kto powinien to wykonywać,
- środków – rozumianych jako sposoby wykonywania zadania i przyczyn obecnego stanu oraz ustalenie jak jeszcze można by lub powinno się dane zadanie wykonywać.

Powyższe pięć odniesień pozwala na zidentyfikowanie obecnej realizacji procesu oraz przyczyn tegoż stanu, a także na opracowanie wariantów dotyczących możliwości i powinności wykonywania procesu. Kompleksowa identyfikacja procesu pozwala na dokładniejszą analizę jego przebiegu.

Osoby odpowiedzialne za ocenę przebiegu procesu produkcyjnego powinny określić co rozumieją przez słowa „ocena procesu” gdyż od zdefiniowania tego terminu zależeć będzie wybór metod oceny oraz sposób przeprowadzania pomiarów. Zgodnie z literaturą [1] można mówić o ocenie procesu pod kątem:

- efektywności – odzwierciedlającej skutek działalności całego procesu lub jego elementów, wyróżnić tu można na przykład wskaźnik efektywności:
 - wykorzystania materiału, obliczany jako przychód ze sprzedaży przypadający na jednostkę masy materiału użytego do produkcji,
 - pracy pracowników, obliczany np. jako stosunek masy wyprodukowanych produktów wyrobów do liczby roboczogodzin, podczas których wyroby były wytwarzane,
- produktywności – wyznaczanej jako stosunek efektów oraz nakładów koniecznych do ich osiągnięcia, najczęściej wykorzystuje się tu relację między przychodami ze sprzedaży do kapitałów zaangażowanych w uzyskanie przychodu,
- rentowności – mówiącej o uzyskanym zysku finansowym z jednostki pieniężnej sprzedanego produktu (zysk netto ze sprzedaży do przychodu ze sprzedaży),
- dokładności – odzwierciedlającej w jakim stopniu rezultaty całego procesu lub jego zadań są zgodne z wymaganiami określonymi w dokumentacji,

- niezawodności – wskazującej na prawdopodobieństwo, zgodnie z którym proces spełnia określone wymagania przez określony czas, można wyróżnić tu czas między uszkodzeniami urządzeń lub czas między wykryciem a usunięciem awarii,
- terminowości – mówiącej o spełnieniu wymagań związanych z czasem realizacji procesu, wyróżnić tu można czas związany z opóźnieniami w procesie, czas dostaw czy też czas rozwoju produktu,
- wydajności – odzwierciedlającej stopień wykorzystania dostępnych zasobów (technologicznych, ludzkich, surowcowych), poprzez określenie liczby sztuk wyrobu, które zostały wyprodukowane poprzez określony zasób w jednostce czasu
- ilości – wyznaczonej jako ilość wykonanych produktów lub usług.

Odpowiedni dobór wskaźników jest trudnym zadaniem, ale jego poprawne wykonanie pozwoli na opracowanie wielokryterialnego miernika procesu, który umożliwi gruntowną ocenę procesu pod kątem kilku kryteriów.

3. Wyznaczanie wielokryterialnego miernika oceny procesu

Zalecana ocena procesów produkcyjnych za pomocą wielokryterialnego miernika procesu następuje w trzech krokach [1, 2].

Pierwszym krokiem jest wybór odpowiednich wskaźników, czyli takich które umożliwią kompleksową ocenę procesu. Decyzja związana z wyborem wskaźników jest decyzją arbitralną podejmowaną przez kierownika przy udziale najbardziej doświadczonych pracowników. Należy tak dobrać wskaźniki cząstkowe, aby odzwierciedlały one różne kryteria oceny procesu, uwzględniając kryterium najważniejsze z punktu widzenia decydenta oraz aby reprezentowały kluczowe zasoby przedsiębiorstwa (pracowników, kapitał, materiały oraz energie).

Drugim krokiem jest wyznaczenie postaci funkcji normalizujących. W związku z możliwością uzyskania danych cechujących się różnymi jednostkami oraz skalami wartości konieczne jest sprowadzenie zebranych danych do bezwymiarowej jednolitej skali, dzięki czemu możliwe będzie porównanie poszczególnych procesów. Funkcja normalizująca pozwala właśnie na przekształcenie wartości z danego wskaźnika wyrażonej w typowych dla niego jednostkach na wartość ze znormalizowanego zakresu (typowo wykorzystuje się zakres 0-10), dzięki czemu wartości ze wszystkich wskaźników zostają sprowadzone do wspólnego mianownika. W ten sposób różne, wcześniej nieporównywalne ze sobą wskaźniki można zestawić w formie wielokryterialnego miernika oceny. Istotne jest opracowanie dokładnie jednej funkcji do każdego wskaźnika w taki sposób aby wynik znormalizowany odzwierciedlał stan procesu opisanego tym wskaźnikiem. Przyjmuje się, iż wartość 0 przypisywana jest stanowi nieakceptowalnemu, 10 stanowi idealnemu, a wartość 5 wielkości przeciętnej. Funkcję normalizującą można wyznaczyć w oparciu o zestawienia historyczne dla danego wskaźnika pochodzące z przedsiębiorstw z danej branży (metoda porównawcza) lub też zgodnie z metodą badania opinii ekspertów. Oczywiście przy tworzeniu funkcji można korzystać z obu metod jednocześnie.

Ostatnim, **trzecim krokiem** jest przypisanie wag poszczególnym wskaźnikom. Odpowiedni dobór wag polega na przypisaniu wyższych wartości wskaźnikom obliczającym kluczowe aspekty oceny procesu. Przyjmuje się, iż suma wag powinna być równa 1 (100%). Wartość ta nie jest warunkiem koniecznym jednak stanowi ułatwienie w dalszych obliczeniach wartości wskaźnika syntetycznego. Tak jak w przypadku wyboru wskaźników czy tworzenia funkcji, zaleca się powierzenie tego zadania ekspertom, przez co przypisane wagi pozwolą na przeprowadzenie oceny dającej wiarygodny wynik.

Powyższe etapy pozwalają na samodzielne opracowanie miernika, który pozwoli na kompleksową ocenę procesu produkcyjnego. Jednakże można też wykorzystać już istniejące wskaźniki, które pozwalają na ocenę procesu pod kilkoma kryteriami. Przykładem takiego miernika jest wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia (z angielskiego overall equipment effectiveness OEE). Wskaźnik ten umożliwia określenie stopnia wykorzystania maszyn w zakładach produkcyjnych oraz sposobu organizacji procesów produkcyjnych. W celu jego obliczenia należy zebrać dane dotyczące czasów poszczególnych działań na stanowisku roboczym oraz wielkości produkcji. Wskaźnik ten jest iloczynem trzech składowych, tj. dostępności, wydajności i jakości, przy czym dostępność rozumiana jest jako stosunek czasu pracy poświęconego na produkcję elementów do czasu operacyjnego netto, który to określa ilość czasu podczas którego maszyna technologiczna mogła wytwarzać elementy. Wydajność wyrażona jest poprzez stosunek rzeczywistej produkcji (obejmującej produkty spełniające wymagania klienta jak i nieprawidłowo wykonane wyroby) do produkcji docelowej, obliczonej na podstawie parametrów, podanych przez producenta maszyny. Jakość natomiast jest ilorazem dobrej produkcji (czyli liczby wyrobów wytworzonych bez konieczności poprawy) do rzeczywistej produkcji [3][4]. Podczas gromadzenia danych pozwalających na obliczenie wskaźnika OEE zbiera się informacje o:

- czasach trwania poszczególnych działań takich jak produkcja, przebrojenie, przerwa, szkolenia, brak pracownika, awaria,
- ilości wytworzonych wyrobów z podziałem na produkcję wadliwą i wyroby spełniające wymagania
- cechach wyrobów – w zależności od rodzaju maszyny i wykonywanych na niej operacjach można gromadzić dane dotyczące wymiarów czy masy wyrobów.

Oznacza to, iż podczas obliczania składowych wskaźnika uwzględniamy możliwość oceny procesu pod kątem dokładności poprzez odsetek wyrobów niespełniających wymagań wynikających z dokumentacji technicznej (składowa jakość), wydajności przez określenie liczby wyrobów w jednostce czasu (składowa wydajność). Dodatkowo zebrane dane pozwalają na ocenę pod kątem efektywności, np. jako stosunek masy wyrobów do liczby roboczogodzin poświęconych do ich produkcji, niezawodności poprzez określenie czasów między wystąpieniem awarii, lub czasy między wykryciem usterki a jej eliminacją oraz ilości jako liczbę wytworzonych wyrobów. Ponadto jeżeli pozyska się dane dotyczące finansów uzyskanych dzięki sprzedaży wytworzonych wyrobów można ocenić proces pod kątem rentowności.

4. Zastosowanie wielokryterialnego wskaźnika w praktyce

W związku z tym, iż badaniom poddany został jedynie fragment procesu realizowany na jednym stanowisku roboczym, analiza wielokryterialna ograniczona została do oceny aspektów techniczno – organizacyjnych.

4.1 Charakterystyka procesu produkcyjnego

Przeprowadzono pomiary w przedsiębiorstwie X z branży metalowej. Przedsiębiorstwo zajmuje się wytwarzaniem wyrobów wykorzystywanych w kolejnictwie, wojsku oraz infrastrukturze drogowej. Pomiarom poddano maszynę wytwarzającą elementy do produkcji wojskowej. Proces produkcyjny cechował się:

- Występowaniem wielu partii produkcyjnych w ilościach zwykle do 10 sztuk, co było przyczyną częstych przebrojeń maszyny.
- Produkcją prototypów powodującą konieczność nagłych zmian planów produkcyjnych.
- Produkcją nowych elementów wymagających opracowania nowych programów sterowania.

Same elementy cechowały się znaczną różnorodnością, złożonością, a co za tym idzie zróżnicowanymi czasami trwania wykonywanych operacji oraz różną liczbą samych operacji oraz małymi partiami produkcyjnymi.

Konsultacja z kierownikiem produkcji oraz operatorem analizowanej maszyny umożliwiły dokładną identyfikację procesu, czyli pozwoliły ustalić odpowiedzi na pytania związane z pięcioma odniesieniami cechującymi proces. Ustalono, iż celem procesu jest wykonywanie elementów aluminiowych, będących częściami składowymi sprzętu wojskowego, takiego jak тренаżery uzbrojenia, czy systemy sterowania uzbrojeniem. Maszyna została usytuowana w pobliżu magazynu, co ułatwia dostarczanie wielkogabarytowych bloków aluminiowych. Operatorem maszyny jest jeden pracownik, który przeszedł niezbędne szkolenia zalecane przez producenta maszyny oraz posiadający 7 letnie doświadczenie na tym stanowisku. Zauważono, że w zakładzie nie ma innej osoby, która mogłaby wykonywać pracę na analizowanym stanowisku. Odnosnie środków wykonywania działań wieloletnie doświadczenie pracownika sprawiło, iż opracował metody zarówno wykonywania elementów, jak i dbania o wyposażenie na stanowisku. Przykładem jest opracowanie i wykonanie nakładki do imadła. Standardowym wyposażeniem maszyny było imadło, w którym w przypadku umieszczania elementów o przekroju kołowym dochodziło to przesunięć elementu względem frezu, przez co wykonana część zostawała odrzucana z produkcji. Operator przygotował nakładkę aluminiową z czterema klipsami, która ułatwiła produkcję takich elementów.

4.2. Wybór wskaźników

Kolejnym krokiem, po identyfikacji procesu, był wybór odpowiednich wskaźników jego oceny. Wykorzystane wskaźniki to:

- OEE – całkowita efektywność wyposażenia, składający się ze wskaźników:
 - dostępności,
 - wydajności,
 - jakości,
- Efektywności pracy pracownika – obliczany jako stosunek czasu podczas którego pracownik wykonywał czynności bezpośrednio związane z produkcją do czasu zmiany roboczej
- MTTR – średni czas naprawy [5],
- MTBF – średni czas bezawaryjnej pracy [5].

Wskaźnik OEE ocenia zadania związane ze stanowiskiem roboczym pod kątem efektywności, produktywności, wydajności i dokładności. Jednak definicja tego wskaźnika mówi o wykorzystaniu maszyny, przez co przy maszynach wymagających stałej obsługi pomija aspekt związany z koniecznością wykonywania przez operatora maszyny zadań związanych z produkcją nie związaną bezpośrednio z analizowanym stanowiskiem, dlatego też wprowadzono wskaźnik efektywności pracy pracownika. W ocenie niezawodności posłużyły wskaźniki MTTR i MTBF. Postanowiono wprowadzić te wskaźniki ponieważ

analizowana maszyna jest jedyną tego typu maszyną w zakładzie i konieczność wstrzymania produkcji spowodowana awarią uniemożliwi wykonanie całej partii produkcyjnej. W analizie pominięto kryterium rentowności, ponieważ wytwarzane na analizowanym stanowisku elementy aluminiowe stanowią tylko część wyrobu finalnego, a w związku ze złożonością wyrobów gotowych oraz ich wojskowym przeznaczeniem ustalono, iż wgląd w dane kosztowe zostanie utajniony.

4.3. Ocena procesu

Podczas oceny procesu posłużono się:

- Arkuszem gromadzenia danych A, Rys. 1 [6], związanych z czasami trwania poszczególnych działań, takich jak produkcja, przebrojenia, zaburzenia, przerwy,

Arkusz gromadzenia danych **Strona A**

Maszyna: _____ Zespół: _____ Data: _____ Zmiana: 1. 2. 3.

Produkcja													<input type="checkbox"/>
Nr zamówienia													
Okres bezczynności													<input type="checkbox"/>
Przebrojenie													<input type="checkbox"/>
Kod													
Zaburzenia procesu													<input type="checkbox"/>
Kod													
Przerwa													<input type="checkbox"/>
Planowane przestoje													<input type="checkbox"/>
Szkolenie													<input type="checkbox"/>
Kod													
Spotkania zespołu													<input type="checkbox"/>
Kod													
Brak pracowników													<input type="checkbox"/>
Kod													
Różne													<input type="checkbox"/>
Kod													
Całkowity czas planowanych przestoju													<input type="checkbox"/>
Całkowity czas produkcji, bezczynności i planowanych przestoju													<input type="checkbox"/>

Rys. 1 Arkusz gromadzenia danych A

- Arkuszem gromadzenia danych B, Rys. 2 [6], dotyczących wytwarzanych wyrobów,

Arkusz gromadzenia danych B							
Nr zamówienia	Typ	[kg/m ²]	Grubość [m]	Szerokość [m]	Docelowa prędkość [m]	Czas produkcji [h]	Zakładana wielkość produkcji [kg]

Rys. 2 Arkusz gromadzenia danych B

- Danymi wewnętrznymi przedsiębiorstwa zawierającymi dane dotyczące awarii maszyny i ich naprawy,
- Wywiadu z kierownikiem produkcji, dzięki któremu uzyskano dane związane z miejscem danego stanowiska w całym systemie produkcyjnym,

- Wywiadu z operatorem frezarki, dzięki czemu uzyskano dane szczegółowe dotyczące wytwarzanych elementów.

Zgodnie z zebranymi danymi ustalono wartości poszczególnych wskaźników.

- OEE dostępność - podczas sześciu dni pracy w systemie jednozmianowym całkowity czas pracy wyniósł 2880 min (6 dni x 8 godzin x 60 minut), co po odjęciu planowanych spotkań zespołu, szkoleń oraz planowanych przestoju dało czas operacyjny netto, 2840 min. Natomiast odnotowany czas przeznaczony na produkcję wyniósł 1536 min, co oznacza iż wskaźnik dostępności wyniósł 0,54 [7].
- OEE wydajność - Obliczenie wartości wskaźnika wydajności w zakładzie wiązało się z obliczeniem produkcji docelowej, przy założeniu katalogowych parametrów obrabiarki podanych przez producenta. Jednakże w przypadku produkcji małoseryjnej, w której czasy wykonania operacji technologicznych są bardzo zróżnicowane, np. podczas przeprowadzonych pomiarów czasy te wynosiły między 3 a 50 minut, wyznaczenie produkcji maksymalnej okazało się niemożliwe. Dlatego też porównano rzeczywiste czasy produkcji do czasów produkcji przy założeniu maksymalnych parametrów pracy obrabiarki. Przy takich założeniach wskaźnik wydajności wyniósł 0,66 [7].
- OEE jakość – w analizowanym okresie wykonano 99 operacji technologicznych z czego 92 zostały uznane jako wykonane zgodnie z wymaganiami, natomiast 7 wiązało się z koniecznością poprawy, oznacza to iż wartość wskaźnika wynosi 0,93.
- efektywności pracy pracownika – ustalono iż pracownik poświęcił na wykonywanie zadań związanych z produkcją, takich jak obsługa maszyny, zmiany elementów, przebrojenia, przygotowanie programów do frezarki dla poszczególnych elementów 1960 min, co w stosunku do całkowitego czasu pracy zmiany roboczej w analizowanym okresie wyniosło 0,7.
- MTTR – w analizowanym okresie doszło do 28 zdarzeń, podczas których czas niezdatności maszyny wyniósł 648 minut, oznacza to iż średni czas naprawy wyniósł 23 minuty.
- MTBF – stanowiący sumę MTTR i MTTF, wartość MTTF wyniosła 1780 minut (57600-648)/28. Oznacza to iż wartość MTBF wyniosła 2080 minut.

Wyznaczenia składowych OEE i efektywności pracy pracownika dokonano w oparciu o dane zgromadzone podczas badania procesu produkcyjnego, natomiast MTTR i MTBF na podstawie danych historycznych z półroczna.

4.4. Opracowanie funkcji normalizujących dla poszczególnych wskaźników

W celu opracowania funkcji normalizujących dla poszczególnych wskaźników konieczne było ustalenie wartości maksymalnych, które można uzyskać w danym wskaźniku, zaleca się tu aby wartości te były maksymalne dla branży, a niekoniecznie dla danego wskaźnika. Przyjęto skalę funkcji normalizującej od 0-10.

Składowe wskaźnika OEE przyjmują wartość od 0 do 1, jednak w praktyce uzyskanie wartości równej jeden jest niemal niemożliwe. Dlatego też uznano za wartości maksymalne wielkości uznane przez japońskie stowarzyszenie – Japan Institute of Plant Maintenance, założone przez Ceichi Nakajimę – za „Produkcję Światowej Klasy”, wartości poszczególnych wskaźników wynoszą: dostępność 0,9, wydajność 0,95 jakość 0,999 [8]. Zatem wartość dostępności wynosząca 0,54 stanowi 0,6 wartości maksymalnej, co

przekłada się na wartość 6 w funkcji znormalizowanej. Wskaźnik wydajności równy 0,66, stanowi 0,69 wartości maksymalnej, 6,9 w skali znormalizowanej. Wskaźnik jakości wyniósł 0,93, stanowi 0,931 wartości maksymalnej, 9,31 wynik znormalizowany. Wskaźnik efektywności pracy pracownika wyniósł 0,7 co daje w skali znormalizowanej wynik 7.

Wartości znormalizowane dla wskaźnika MTTR zostały opracowane na podstawie ustaleń z kierownikiem dotyczących zapotrzebowania na analizowaną maszynę oraz informacji o reklamacjach i awariach z dłuższego okresu czasu. Tabela 1 pokazuje przypisane wartości znormalizowane w zależności od czasu trwania naprawy. Uzyskany wynik 20 min oznacza wynik 8 w skali znormalizowanej.

Tab. 1 Wartości znormalizowane dla wskaźnika MTTR

Wartość MTTR [min]	Wartość znormalizowana
0 – 15	10
16 – 30	8
31 – 45	6
46 – 60	4
61 -	2

Wartości znormalizowane dla wskaźnika MTBF zostały opracowane na podstawie ustaleń z kierownikiem, dotyczących zapotrzebowania na analizowaną maszynę oraz informacji o reklamacjach i awariach z dłuższego okresu czasu. Tabela nr 2 pokazuje przypisane wartości znormalizowane w zależności od czasów pracy. Uzyskany wynik 2080 min oznacza wynik 7 w skali znormalizowanej.

Tab. 2 Wartości znormalizowane dla wskaźnika MTBF

Wartość MTBR [min]	Wartość znormalizowana
2501 -	10
2251 –2500	9
2001 – 2250	8
1751 – 2000	7
1501 – 1750	6
1251 – 1500	5
1001 – 1250	4
751 – 1000	3
501 – 750	2
251 – 500	1
0 – 250	0

4.5. Przypisanie wag poszczególnym wskaźnikom oraz wyznaczenie wielokryterialnej oceny procesu

Zgodnie z literaturą [2] ustalono iż suma wag poszczególnych kryteriów musi być równa 1. Podczas ustalania wag istotnymi czynnikami było:

- posiadanie w zakładzie tylko jednej frezarki sterowanej numerycznie,
- zatrudnianie tylko jednego pracownika wykwalifikowanego do obsługi maszyny,
- produkcja elementów aluminiowych o dużej tolerancji,

- produkcja elementów w małych partiach produkcyjnych.

Wraz z kierownikiem produkcji ustalono, iż wagi dla poszczególnych wskaźników wynoszą odpowiednio:

- OEE dostępność – 0,25,
- OEE wydajność – 0,20,
- OEE jakość – 0,15,
- EPP – Efektywność pracy pracownika – 0,12,
- MTTR – 0,10,
- MTBF – 0,18.

Uznano, iż kryteria najistotniejsze to dostępność, wydajność i MTBR, wynika to z faktu, iż w zakładzie nie ma drugiego takiego urządzenia, a zatem każdy przestój na analizowanym stanowisku spowoduje wstrzymanie produkcji. Kryterium jakości przypisano wagę jedynie 0,15 ponieważ produkowane na stanowisku elementy cechowały się dużą tolerancją parametrów.

Przypisanie wag pozwoliło na opracowanie wzoru Wielokryterialnego miernika procesu (WMP).

$$WMP = \text{dostępność} * 0,25 + \text{wydajność} * 0,2 + \text{jakość} * 0,15 + EPP * 0,12 + MTTR * 0,1 + MTBF * 0,18$$

$$WMP = 6 * 0,25 + 6,9 * 0,2 + 9,31 * 0,15 + 7 * 0,12 + 8 * 0,1 + 7 * 0,18 = 7,1765$$

Wynik oceny przebiegu procesu produkcyjnego wskaźnikiem wielokryterialnym wyniósł 7,1765, w skali 1-10. Za składową o najwyższej wadze uznano dostępność maszyny, wynika to z posiadania na hali produkcyjnej tylko jednej obrabiarki sterowanej numerycznie.

5. Podsumowanie

Ocena przebiegu procesu wykonana pod kątem różnych kryteriów, przy użyciu kilku wskaźników pozwala na kompleksową ocenę procesu. Należy pamiętać, iż efektem procesu produkcyjnego nie jest tylko wyrób gotowy przewieziony do magazynu, ale również stopień zadowolenia pracowników, klientów, uzyskany przychód w stosunku do poniesionych nakładów czy nawet ocena całego przedsiębiorstwa pod kątem społecznej odpowiedzialności. Właśnie dlatego użycie wskaźnika wielokryterialnego jest istotne z punktu widzenia oceny przebiegu procesu, gdyż zapewnia szerokie spojrzenie na proces produkcyjny, a nie tylko na jego ocenę techniczną.

Otrzymane wyniki pozwalają na opracowanie działań doskonalących, w różnych działach przedsiębiorstwa. Każdy wskaźnik cząstkowy powinien zawierać adnotację działów wpływających na jego wartość i w sytuacji gdy dana wartość zostanie uznana za niezadowalającą można rozpocząć planowanie poprawy w konkretnym dziale. Aspekt ten jest szczególnie istotny na przykład gdy w produkcji dochodzi do przestojów spowodowanych brakiem surowca, taka sytuacja, pomimo iż zmniejsza wyniki wskaźnika na analizowanym stanowisku może wynikać ze złego zarządzania zapasami, należącego do zadań pracowników magazynu.

W dalszych badaniach ocena procesów uwzględniać będzie wskaźniki pozwalające na ocenę kryteriów rynkowych, ekonomicznych, społecznych czy ekologicznych, wymagać to będzie analizy całego procesu, a nie tak jak w przypadku opisanych badań jednego

stanowiska roboczego. Przykładowo ocena rynkowa wiąże się z oceną produktu z punktu widzenia klienta, na analizowanym stanowisku wykonywane były elementy konstrukcyjne, takie jak śruby, płytki aluminiowe, które często znajdują się we wnętrzu produktu, zatem są niewidoczne dla klienta, w takim przypadku nie można zweryfikować ich oceny dokonanej przez klienta.

W analizowanym przykładzie obok wskaźników składowych OEE, czasów awarii i czasów napraw, zalecono uwzględnienie wskaźnika efektywności pracy pracownika. Uznano to za konieczność, gdyż w opisanym procesie operator ma kluczowy wpływ na czas produkcji elementów, poprzez opracowanie programów do obrabiarki, sposób pracy, na jakość wyrobów. Ocena przebiegu procesu niezautomatyzowanych zawsze musi uwzględniać czynnik ludzki, gdyż pracownicy odpowiedzialni są za odpowiednie zaplanowanie procesu oraz jego realizację.

6. Literatura

1. Pająk E.: Zarządzanie produkcją Produkt, technologia, organizacja, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2006, s.97-104
2. Kosieradzka A.: Metoda wielokryterialnej oceny produktywności, Zarządzanie przedsiębiorstwem, 2, 2004
3. Francis W., Mathot J., OEE Overall Equipment Effectiveness, ABB, 2002
4. Wirkus M., Kufel K.: Problem analizy obniżenia wartości OEE zautomatyzowanego parku maszynowego spowodowanego spadkiem prędkości pracy oraz mikroprzestojami technicznymi, [w.] Zarządzanie a inżynieria produkcji red. P. Łebkowski, AGH, Kraków, 2014 (w druku)
5. Mączyński W.: Wskaźnik OEE, MTBF i MTTR – czy to coś więcej niż wartości bezwzględne? „Utrzymanie Ruchu” 1/2011, s 28-30
6. The Productivity Press Development Team, OEE dla Operatorów. Całkowita efektywność wyposażenia. (red.) Kornicki L., Kubik Sz., ProdPress.com, Wrocław 2009
7. Kukulka A., Barylski A.: Metodyka Badawcza z wykorzystaniem wskaźnika całkowitej efektywności wyposażenia, [w.] Zarządzanie operacyjne w teorii i praktyce, Systemy techniczne i społeczne, red J. Łopatowska, G. Zieliński, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014
8. Flynn B., Schroeder R., Flynn J., World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheelwright's foundation, Journal of Operations Management 17 1999, s. 249– 252

Dr hab. inż. Marek WIRKUS, prof. PG
Mgr inż. Alicja KUKUŁKA
Katedra Inżynierii Zarządzania Operacyjnego,
Wydział Zarządzania i Ekonomii
Politechnika Gdańska
80-233 Gdańsk, ul. Gabriela Narutowicza 11/12
e-mail: Marek.Wirkus@zie.pg.gda.pl
kukulka.alicja@gmail.com