



SIEDMIOKRYTERIALNY MIERNIK OCENY NIEPOTOKOWYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Alicja Kukułka

Katedra Inżynierii Zarządzania Operacyjnego, Wydział Zarządzania i Ekonomii, Politechnika Gdańska

Autor korespondencyjny:

Alicja Kukułka

Katedra Inżynierii Zarządzania Operacyjnego

Wydział Zarządzania i Ekonomii

Politechnika Gdańska

ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska

telefon: +48 58 347 2803

e-mail: kukulka.alicja@gmail.com

SŁOWA KLUCZOWE

wielokryterialna ocena, proces niepotokowy

A SEVEN CRITERION MEASURER FOR BATCH PRODUCTION PROCESS EVALUATION

KEYWORDS

multi-criterion rating, batch process, production measurement

ABSTRACT

Growing expectations of clients, who demand products adapted to their individual needs is inducing the development of batch processes. The author developed a model of batch processes rating based on the following criterions:

- Economical criterion applies to evaluation of the productions' cost levels connected with the process subjected to analysis and necessary investment funds.
- Ecological criterion is about means of natural environment protection, utilization and segregation of wastes and usage of various media. This criterion is about social responsibility of companies.
- Social criterion concerns working conditions (ergonomics on work centers), requirements on personnel qualifications and satisfaction from work - rated for example by measuring absence at work or with survey.
- The market criterion is about evaluation if the product or additional services meet clients' individual needs and if the prices and time between the product beeing ordered and delivered to the client are elastic. It is about evaluation of product based on clients' point of view.
- Technological criterion, which concerns implementation of production process course, is based on machines' work and production workers' work evaluation.
- General development criterion allows the evaluation of a companies' state not only by measuring fulfilled production processes, but by its general condition as well.
- Planning criterion is related to fulfilling general production schedules, which is one of the main targets of production control

For each criterion the authors performed selection of indicators, which enable evaluation of the process. Developed conception allows performing complex and synthetic evaluation of batch processes.

1. Wstęp

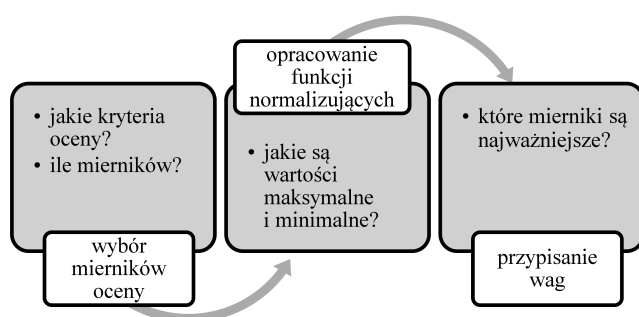
Ocena przebiegu procesów produkcyjnych ewoluowała wraz z rozwojem tych procesów oraz całych systemów produkcyjnych. Proste mierniki oceniające poszczególne aspekty związane z realizacją procesu produkcyjnego stały się z czasem niewystarczające. Zaczęto zatem tworzyć coraz bardziej skomplikowane mierniki oraz łączyć je tak, aby umożliwiły ocenę wielokryterialną, dzięki czemu zaczęto mierzyć procesy pod różnymi aspektami, a uzyskane wyniki pozwalały na opracowanie planów doskonalenia realizowanych procesów

produkcyjnych. Różnice w specyfice podstawowych typów procesów produkcyjnych, czyli procesów potokowych, niepotokowych i stacjonarnych [1, 5] wymagają zindywidualizowanego podejścia. Oznacza to, iż niektóre mierniki, które rzetelnie oceniają produkcję potokową, zastosowane w przypadku innego typu produkcji dadzą niemiarodajne wyniki. Dlatego też, badacze poświęcili swoją uwagę opracowaniu wielokryterialnego miernika dostosowanego do produkcji niepotokowej. Opracowana koncepcja siedmiokryterialnej oceny obejmuje kryteria: technologiczne, ekonomiczne, ekologiczne, społeczne, rynkowe, planistyczne oraz ogólnorozwo-

jowe. Dla każdego z wymienionych kryteriów badacze dobrali mierniki cząstkowe, dzięki czemu uzyskuje się kompleksową ocenę danego aspektu.

2. Wyznaczanie wielokryterialnego miernika oceny procesu

Oceniając przebieg procesu produkcyjnego, można zastosować wiele dostępnych mierników, można też, o ile zostały już opracowane, posłużyć się gotowym miernikiem wielokryterialnym. Jeżeli jednak dla realizowanego w przedsiębiorstwie typu procesu nie został opracowany taki miernik, konieczne jest jego samodzielne opracowanie. Tworząc wielokryterialny miernik należy wykonać trzy etapy postępowania [4, 9, 12] przedstawione schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Kroki opracowania wielokryterialnego miernika oceny [4, 7, 9]

Pierwszy etap dotyczy wyboru odpowiednich mierników. Przy czym słowo „odpowiedni” oznacza takie, które umożliwią kompleksową ocenę procesu, czyli pozwolą ocenić proces pod różnymi aspektami, które będą reprezentować kluczowe zasoby przedsiębiorstwa, przykładowo mierniki związane z pracą maszyn, z pracą pracowników, z oceną klienta oraz z wykorzystaniem nakładów finansowych. Decyzja związana z wyborem mierników jest decyzją arbitralną, podejmowaną przez kierownika przy udziale najbardziej doświadczonych pracowników.

Drugi etap wiąże się z wyznaczeniem funkcji normalizujących dla wszystkich mierników. W związku z możliwością uzyskania danych wyrażonych w różnych jednostkach oraz skalach wartości konieczne jest sprowadzenie zebranych danych do bezwymiarowej jednolitej skali, dzięki czemu możliwe będzie porównanie poszczególnych procesów. Funkcja normalizująca umożliwia przekształcenie wartości z danego miernika wyrażonej w typowych dla niego jednostkach na wartość ze znormalizowanego zakresu (typowo wykorzystuje się zakres 0–10), dzięki czemu wartości ze wszystkich mierników zostają sprowadzone do wspólnego mianownika. W ten sposób różne, wcześniej nieporównywalne ze sobą mierniki można zestawić w formie wielokryterialnego miernika oceny. Istotne jest opracowanie jednej funkcji do każdego miernika w taki sposób, aby wynik znormalizowany odzwierciedlał stan procesu opisanego tym miernikiem. Przyjmuje się, iż wartość 0 przypisy-

wana jest stanowi nieakceptowalnemu, 10 stanowi idealnemu, a wartość 5 wielkości przeciętnej. Można też przyjąć inne funkcje matematyczne w celu znormalizowania wyników. Funkcję normalizującą można wyznaczyć w oparciu o zestawienia historyczne dla danego miernika, 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 etapem jest przypisanie wag poszczególnym miernikom. Odpowiedni dobór wag polega na przypisaniu wyższych wartości miernikom 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 miernika syntetycznego. Tak, jak w przypadku wyboru mierników czy tworzenia funkcji, zaleca się powierzenie tego zadania ekspertom, przez co przypisane wagi pozwolą na przeprowadzenie oceny dającej wiarygodny wynik.

Rysunek 1. obrazuje schemat postępowania przy stosowaniu wielokryterialnego miernika oceny procesu produkcyjnego wraz z pytaniami, na które należy odpowiedzieć, w celu opracowania miernika. Pokazane etapy pozwalają na samodzielne opracowanie miernika, który umożliwi kompleksową ocenę procesu produkcyjnego.

Samodzielne opracowanie wielokryterialnego miernika jest trudnym zadaniem, gdyż poszczególne kroki wymagają gruntownej wiedzy o procesach realizowanych w przedsiębiorstwie oraz o zapleczu technologicznym, ponadto należy uważać na zbyt ni subiektywizm podczas przygotowania i stosowania miernika.

3. Koncepcja siedmiokryterialnego miernika oceny przebiegu procesu niepotokowego

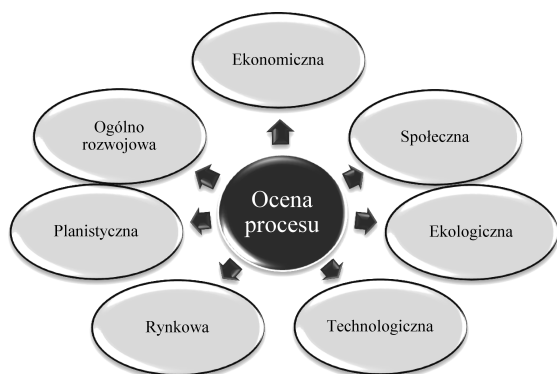
Koncepcja siedmiokryterialnej oceny przebiegu procesu niepotokowego obejmuje kryteria:

- Ekonomiczne – wiążące się z oceną poziomu kosztów produkcji związanych z analizowanym procesem oraz niezbędnych do jego realizacji kapitałowych nakładów inwestycyjnych.
- Ekologiczne – wiążące 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.
- Społeczne – polegające na zmierzeniu warunków pracy, związanych z ergonomią na stanowisku pracy, określeniu kwalifikacji wymaganych od pracowników oraz zadowolenia i satysfakcji z wykonywanej pracy, np. poprzez określenie absencji czy też przeprowadzenie ankiety.
- Rynkowe – związane z dostosowaniem produktu oraz usług dodatkowych do indywidualnych potrzeb klienta, dodatkowo z możliwością elastycznego doboru produktu, cen oraz terminów realizacji, można

tu mówić o ocenie procesu przez pryzmat efektu widzianego oczami klienta.

- Technologiczne – dotyczące realizacji przebiegu procesów technologicznych, wiąże się z oceną pracy maszyn oraz pracowników produkcyjnych.
- Planistyczne – związane z realizacją harmonogramów głównych oraz harmonogramów produkcji, co wiąże się z jednym z głównych celów sterowania produkcją.
- Ogólnorozwojowe przedsiębiorstw, które z kolei pomogłoby zweryfikować ogólną kondycję przedsiębiorstwa, a nie tylko realizowane procesy produkcyjne.

Rysunek 2. obrazuje budowę wielokryterialnego miernika oceny procesu, pokazując główne kryteria oceny, w ramach których wybrano następnie mierniki szczegółowe.



Rys. 2. Wielokryterialny miernik oceny niepotokowego procesu produkcyjnego

W ramach każdego z siedmiu kryteriów pokazanych na rysunku 2. wybrane zostaną mierniki cząstkowe, które umożliwią ocenę danego aspektu uwzględniając przykładowo charakterystyki procesów czy kluczowe zasoby.

3.1. Kryterium technologiczne

Podczas wyboru mierników oceniających kryterium technologiczne skupiono się na ocenie wykorzystania poszczególnych stanowisk roboczych, na których jest realizowany proces produkcyjny, takich jak maszyny oraz pracownicy produkcyjni. Początkowo planowano wykorzystać mierniki:

- OEE – całkowita efektywność wyposażenia, składający się ze mierników:
 - dostępności,
 - wydajności,
 - jakości [3, 10, 11],
- Wykorzystania czasu pracy pracownika – obliczany jako stosunek czasu, podczas którego pracownik wykonywał czynności bezpośrednie związane z produkcją do czasu zmiany roboczej,
- MTTR – średni czas naprawy [8],
- MTBF – średni czas bezawaryjnej pracy [8].

Powyższy zestaw mierników zweryfikowałby czas poświęcony przez maszyny i pracowników na wykonanie czynności produkcyjnych, jakość obrabianych wyrobów, czasy napraw maszyn oraz bezawaryjność.

Po wstępnych badaniach w przedsiębiorstwie produkcyjnym [6, 13] badacze uznali, iż stosowanie miernika OEE dla stanowisk realizujących procesy w trybie niepotokowym jest obciążone znacznym błędem. Chodzi mianowicie o aspekt związany z mierzeniem wydajności. Obliczenie wartości miernika 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 od 3 do 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 miernik wydajności wyniósł 0,66. Istotny podczas obliczenia wydajności był fakt, iż prędkości skrawania zostały obniżone przez pracownika w celu zwiększenia żywotności frezów oraz zmniejszenia drgań maszyny, które mogą prowadzić do powstania defektów obróbkowych.

Ponadto należało rozważyć pomiar miernika jakości. W założeniach teoretycznych miernik ten liczony jest jako iloraz dobrej produkcji, czyli wyrobów spełniających założenia jakości do rzeczywistej produkcji. W przypadku, gdy wytwarza się wiele różnych wyrobów na stanowisku konieczne jest zastanowienie się co oznacza produkcja rzeczywista. Podczas przeprowadzonych pomiarów w przedsiębiorstwie X na stanowisku roboczym wytworzono 11 różnych typów elementów, w liczbie sztuk między 1 a 14 każdego z nich, co dało w sumie 45 elementów. W celu ich wytworzenia wykonano 99 operacji technologicznych, których czasy trwania wynosiły pomiędzy 2 a 40 min. Elementy cechowały się różnym stopniem złożoności podczas produkcji, część z nich została ukończona i przekazana do montażu, natomiast niektóre wymagały dalszej obróbki na innym stanowisku roboczym, po czym powracały do montażu lub do ponownej obróbki na analizowanym stanowisku. Wykonanie operacji technologicznej oznacza realizację na jednym elemencie czynności, która to rozpoczyna się w chwili umieszczenia elementu na maszynie oraz jej uruchomieniu, a kończy w chwili wyjęcia elementu. Natomiast określenie wiele operacji technologicznych odnosi się do wytwarzania elementów, które to na jednym stanowisku wymagają wykonania więcej niż jednej, kolejno następującej operacji technologicznej [13].

Podczas pomiarów 40 elementów uznano za produkcję (wartość F) – spełniającą wymagania jakościowe, zatem wartość składowej jakości wyniosłaby:

$$\text{Jakość} = \frac{F}{E} = \frac{40}{45} = 0,8888. \quad (1)$$

Natomiast, jeżeli uznać za produkcję rzeczywistą realizację wszystkich operacji technologicznych, to składowa jakość wyniosłaby:

$$\text{Jakość} = \frac{G}{H} = \frac{92}{99} = 0,9293, \quad (2)$$

gdzie: G – liczba poprawnie wykonanych operacji, H – liczba operacji technologicznych.

Przyjęto, iż ocena technologiczna dotyczyć będzie wszystkich stanowisk roboczych osobno. Dodatkowo, wykonywana będzie w formie stale gromadzonych danych za pomocą oprogramowania komputerowego. Natomiast interpretacja wyniku polegać będzie na wyznaczeniu wartości nieakceptowanych i podejmowaniu działań korygujących na stanowiskach, na których to osiągnięty wynik będzie niższy niż przyjęte normy.

3.2. Kryterium ekologiczne

W związku z rozwojem koncepcji społecznej odpowiedzialności biznesu oraz wzrostem zainteresowania kwestią ochrony środowiska wprowadzono ocenę procesów pod kątem kryterium ekologicznego. Badacze zaproponowali, aby oceniać tu dwa aspekty. Pierwszy wiąże się z gospodarką odpadami, czyli uwzględnia ilość generowanych odpadów oraz sposoby ich utylizacji. Drugi aspekt dotyczy zużycia mediów, takich jak woda, energia. Wybrano zatem mierniki, które będą odzwierciedlać oba aspekty.

Pierwszy miernik dotyczy wielkości wytworzonych odpadów, jednakże, jeżeli ocena ta będzie polegać na określeniu masy odpadów, nie będzie można wyznaczyć funkcji normalizującej, gdyż różne procesy niepotokowe w przedsiębiorstwie generować będą odmienne wartości odpadów. Zatem konieczne będzie opracowanie miernika będącego ilorazem masy odpadów w stosunku do liczby wytworzonych wyrobów w danym okresie. Oznacza to, iż ten miernik będzie wymagał ciągłego generowania danych i okresowego obliczenia wartości miernika.

Drugi miernik będzie dotyczył sposobów utylizacji odpadów. Miernik ten będzie określany w oparciu o okresowo przeprowadzany audyt z uwzględnieniem pytań o sposoby przechowywania odpadów, ich przewożenia, utylizacji oraz możliwości powtórnego wykorzystania w procesie produkcyjnym. Po wykonaniu analizy audytu, w zależności od uzyskanego wyniku, podjęte zostaną działania korygujące. Audyt również należy przeprowadzić przy wprowadzeniu do systemu produkcyjnego nowej maszyny oraz nowych wyrobów.

Mierniki zużycia mediów będą wymagały stałego pomiaru. W tym przypadku, tak jak dla miernika określającego wielkość odpadów, konieczne jest porównanie otrzymanej wartości w celu późniejszego porównania różnych procesów. Zatem mierniki te będą ilorazem wartości zużytych mediów oraz wielkości produkcji. Przy czym, rozważane są dwa podejścia – pierwsze wymagać będzie szacowania wartości zużycia mediów dla poszczególnych typów produktów, drugie zużycia całkowitego liczonego dla całej produkcji. Pierwsze podejście pozwala na uwzględnienie specyfiki produkcji niepotokowej, gdzie wytwarzane wyroby mogą znacznie różnić się między sobą i wymagać przez to innego czasu produkcji oraz zużycia mediów, jednakże jego obliczenie jest znacznie bardziej skomplikowane. Drugie podejście jest prostsze w stosowaniu, jednakże, o ile w przedsię-

biorstwie nie wytwarzane są produkty o zbliżonych procesach produkcyjnych, wynik może być obciążony błędem.

3.3. Kryterium społeczne

Kryterium społeczne wiąże się z oceną procesów przez pryzmat pracowników realizujących dany proces. Kryterium to należy rozpatrzyć uwzględniając dwa aspekty – pierwszy dotyczy oceny stanowisk roboczych z punktu widzenia norm i przepisów, drugi natomiast oceny stanowisk oraz warunków pracy przez pracownika.

Ocena stanowisk roboczych wymaga przeprowadzenia okresowego audytu, zawierającego pytania zgodne z poszczególnymi normami, a dotyczącymi odległości między maszynami, wyposażenia ochronnego itd. Po wykonaniu oceny w zależności od uzyskanego wyniku wykonane zostaną działania korygujące.

Drugi aspekt będzie wymagał przeprowadzenia ankiet wśród pracowników. Będą oni oceniać stanowisko i warunki pracy. Dodatkowo, w celu uniknięcia niemiarodajnych wyników – ankiety są subiektywną metodą gromadzenia danych, wprowadzone zostaną mierniki związane z absencją oraz rotacją pracowników.

3.4. Kryterium rynkowe

Zgodnie z definicją, *proces produkcyjny jest uporządkowanym ciągiem działań, w wyniku którego konsument (użytkownik) otrzymuje produkty (wyroby lub usługi)* [2], zatem konieczne jest uwzględnienie kryterium związanego z opinią klienta o realizowanych procesach produkcyjnych. Pierwotnie badacze rozważali wprowadzenie ankiety, którą wypełnialiby klienci, jednakże takie rozwiązanie wiązałoby się z wieloma trudnościami dotyczącymi rzetelności ankiet, odsetka ich wypełnień oraz możliwości przekazania ankiety do klienta. Dlatego też, zaproponowano inne mierniki.

Pierwszym miernikiem jest iloraz liczby zgłoszonych reklamacji w stosunku do liczby sprzedanych produktów. Obliczanie tego miernika jako ilorazu, a nie jako liczby reklamacji umożliwi porównanie różnych procesów oraz różnych okresów czasowych.

Drugi miernik dotyczy średniego czasu rozpatrzenia reklamacji, przy czym w przypadku reklamacji rozpatrzonych pozytywnie czasu realizacji naprawy lub zwrotu produktu lub pieniędzy.

Trzeci miernik wiązać się będzie z możliwością modyfikacji oferowanych produktów. Mianowicie chodzi tu o czas między złożeniem zindywidualizowanego zamówienia do jego otrzymania.

3.5. Kryterium planistyczne

Procesy niepotokowe cechują się zmiennym przebiegiem realizacji, dużą różnorodnością oraz zmiennością, dlatego też istotne jest ich właściwe zaplanowanie. Stąd też badacze zdecydowali się na uwzględnienie kryterium planistycznego. Kryterium to dotyczy terminowości realizacji poszczególnych działań.

Pierwszy miernik dotyczy terminowości dostaw wyrobów gotowych do klienta, drugi terminowości poszczególnych procesów produkcyjnych. Oba liczone będą poprzez obliczenie ilorazu do wielkości produkcji. Trzeci zaś, to terminowość realizacji dostaw od poszczególnych dostawców.

3.6. Kryterium ekonomiczne

Ocena ekonomiczna odzwierciedla stopień wykorzystania nakładów finansowych wykorzystanych do realizacji procesów. Należy tu rozpatrzyć dwa aspekty.

Pierwszy aspekt dotyczy nakładów poniesionych w celu wytworzenia jednego konkretnego wyrobu, oznacza to uwzględnienie kosztów komponentów, z których składa się wyrób, kosztu jego magazynowania oraz kosztów zużytych mediów. Dodatkowo należy uwzględnić okres zwrotu poniesionych nakładów. Jednakże rozliczenie wszystkich nakładów w taki sposób może okazać się bardzo skomplikowane w zależności od sposobów zarządzania magazynowego.

Drugi aspekt wiąże się z koniecznością zakupu sprzętu, tj. maszyn technologicznych, jak również sprzętu pomiarowego oraz wyposażenia dodatkowego, takiego jak wiertła czy frezy. Zatem drugi aspekt dotyczyć będzie stosunku nakładów wydatków na sprzęt w stosunku do uzyskanych przychodów.

3.7. Kryterium ogólnorozwojowe

Sześć opisanych powyżej kryteriów pozwala na ocenę przebiegu niepotokowych procesów produkcyjnych realizowanych w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Jednakże badacze uznali za konieczne rozszerzenie wielokryterialnej oceny o kryterium uwzględniające ogólną kondycję przedsiębiorstwa. Ocena dokonana przy użyciu mierników będzie uwzględniać ogólną sytuację finansową przedsiębiorstwa, posiadane zaplecze technologiczne oraz pracownicze.

4. Podsumowanie

Badacze opracowali koncepcję miernika siedmiokryterialnej oceny przebiegu procesów niepotokowych. Koncepcja ta pozwoli na kompleksową ocenę procesu z uwzględnieniem wielu różnych kryteriów. Pomiar procesu został oparty na kryterium: rynkowym, ekonomicznym, ekologicznym, społecznym, technologicznym, planistycznym oraz ogólnorozwojowym. Dodatkowo wybrane mierniki zostały zmodyfikowane, co daje możliwość ich porównania z wartościami granicznymi oraz z innymi procesami realizowanymi w przedsiębiorstwie.

Literatura

- [1] Brzeziński M., *Organizacja i sterowanie produkcją, Projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją*. Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa 2002.
- [2] Durlik I., *Inżynieria Zarządzania, Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych, część 2*. Wydawnictwo PLACET, Warszawa 2005.
- [3] Francis W., Mathot J., *OEE Overall Equipment Effectiveness*. ABB, 2002, s. 3, 13–15.
- [4] Kosieradzka A., *Metoda wielokryterialnej oceny produktywności*. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, 2/2004.
- [5] Kubiński W., *Inżynieria i technologie produkcji*. Ucelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2008.
- [6] Kukułka A., Barylski A., *Metodyka Badawcza z wykorzystaniem miernika całkowitej efektywności wyposażenia*, [w:] *Zarządzanie operacyjne w teorii i praktyce, Systemy techniczne i społeczne*, red J. Łopatońska, G. Zieliński. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014.
- [7] Kukułka A., Wirkus M., *Zagadnienie opracowania i stosowania wielokryterialnego miernika oceny przebiegu procesu niepotokowego*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, red R. Knosala. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016.
- [8] Mączyński W., *Miernik OEE, MTBF i MTTR – czy to coś więcej niż wartości bezwzględne?* „Utrzymanie Ruchu” 1/2011, s. 28–30.
- [9] Pająk E., *Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 97–104.
- [10] *The Productivity Press Development Team, OEE dla Operatorów. Całkowita efektywność wyposażenia*, red. L. Kornicki, Sz. Kubik. ProdPress.com, Wrocław 2009.
- [11] Williamson R.M., *Using Overall Equipment Effectiveness: the Metric and the Measures*. Strategic Work Systems, Inc, Columbus 2006, s. 2.
- [12] Wirkus M., Kukułka A., *Ocena przebiegu procesów produkcyjnych*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, red. R. Knosala. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2015, s. 654–663.
- [13] Wirkus M., Kukułka A., *Obliczanie składowej jakości OEE przy wielu operacjach technologicznych*. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 2/2015, s. 40–47.