

Dr inż. Katarzyna Antosz

Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics
Rzeszow University of Technology
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland
Tel. +48 17 865 1452, Fax +48 17 865 1184
E-mail: katarzyna.antosz@prz.edu.pl

Dr inż. Dorota Stadnicka

Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics
Rzeszow University of Technology
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland
Tel. +48 17 865 1452, Fax +48 17 865 1184
E-mail: dorota.stadnicka@prz.edu.pl

MIERNIKI OCENY EFEKTYWNOŚCI FUNKCJONOWANIA MASZYN W DUŻYCH PRZEDSIĘBIORSTWACH: WYNIKI BADAŃ

Słowa kluczowe: *infrastruktura techniczna, efektywność maszyn, wskaźniki oceny, utrzymanie maszyn*

Streszczenie: Utrzymanie infrastruktury technicznej przedsiębiorstwa na odpowiednim poziomie produktywności i wydajności wymaga przede wszystkim stosowania właściwych metod i narzędzi zarządzania oraz właściwej organizacji służb odpowiedzialnych za jego realizację. Nieodłącznym elementem oceny efektywności tych działań oraz funkcjonowania maszyn w przedsiębiorstwie jest stosowanie różnorodnych mierników. Dane uzyskiwane z pomiarów określonych wskaźników są podstawowym źródłem informacji o konieczności podejmowania działań określonego rodzaju. Szczególnie duże firmy są chętne, aby wdrożyć odpowiednie wskaźniki oceny efektywności maszyn ze względu na dużą liczbę maszyn i duży zakres prac związanych z ich obsługą techniczną. W literaturze przedmiotu prezentowane są różne wskaźniki wskazywane, jako skuteczne i chętnie stosowane przez przedsiębiorstwa. Celem badań, których wyniki przedstawiono w niniejszej pracy, było zidentyfikowanie rzeczywistych działań realizowanych przez badane przedsiębiorstwa w zakresie stosowania mierników oceny skuteczności maszyn oraz pozyskanie informacji o tym, jakie wskaźniki są przez firmy stosowane w praktyce. Badania przeprowadzono w dużych przedsiębiorstwach produkcyjnych funkcjonujących w różnych branżach przemysłu na określonym obszarze.

EVALUATION MEASURES OF MACHINE OPERATION EFFECTIVENESS IN LARGE ENTERPRISES: STUDY RESULTS

Abstract: Maintaining a proper productivity and efficiency level of a technical infrastructure of an enterprise requires, above all, the use of appropriate managing methods and tools as well as an appropriate organization of services responsible for their management. Using a variety of measures is indispensable to evaluate the effectiveness of these practices as well as of the machine performance in any enterprise. The data obtained from measuring particular indicators are a primary source of information on the necessity of taking particular actions. Large companies are particularly willing to implement appropriate indicators of effectiveness evaluation because of a large number of machines and a vast range of their technical maintenance. Different indicators presented in the references are said to be efficient and willingly used by enterprises. The aim of the study, of which the results are presented in this article, was to identify the real actions taken by the surveyed enterprises concerning the use of the machine effectiveness evaluation metrics. Apart from that, the study also intended to obtain the information on which indicators are actually applied by enterprises. The study was carried out in large production enterprises of different industries on a specified area.

Key words: *technical infrastructure, machine effectiveness, evaluation indicators, maintenance*

Wprowadzenie

Jednym z głównych elementów odpowiednio zorganizowanego procesu nadzorowania maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie jest dobór i stosowanie właściwej strategii zarządzania. Literatura przedmiotu szeroko opisuje rodzaje strategii zarządzania oraz działania realizowane w ich zakresie [5, 9, 10, 14, 17, 40]. Wdrożenie określonych metod nadzorowania maszyn i urządzeń technologicznych w przedsiębiorstwie wymaga jednak okresowej oceny skuteczności realizowanych działań oraz stanu posiadanej infrastruktury technicznej. Stopień wiarygodności pozyskanych informacji jest warunkiem podstawowym do otrzymania obiektywnych raportów końcowych i ułatwia podjęcie właściwych decyzji dotyczących działań prewencyjnych. Jest wiele sposobów pozyskiwania informacji o tym, jak dobrze działają poszczególne maszyny i urządzenia technologiczne, ale najważniejsze jest to, aby ustalić, co będzie mierzone.

Podstawą jest, więc dobór właściwych mierników oceny. Mierniki te służą są do oceny kluczowych działań realizowanych w ramach utrzymania maszyn oraz wskazują na wydajność prowadzonych działań w powiązaniu z założonymi celami organizacji [6, 10].

W literaturze definiowane są różne mierniki do oceny nadzoru nad maszynami [22], a wśród nich np. wskaźnik OEE [8, 18], czy też MTTR [7, 11, 21].

Dokonywano również przeglądu literatury pod kątem wskaźników wykorzystywanych do oceny efektywności maszyn w sektorze przemysłowym [24, 33], czy też oceniano korelacje wybranych wskaźników z innymi metodami oceny [2, 24].

Ponadto analiza literatury wykazała, że prowadzone były także prace dotyczące planowania działań konserwacyjnych na podstawie uzyskanych wartości MTTF [22].

Prowadzono również badania w zakresie oceny uzyskiwanych wartości wskaźnika OEE [2, 18], możliwości jego doskonalenia [31, 39] oraz komputerowego wspomaganie jego wyznaczania [30]. Prezentowano także różne modele optymalizacji działań związanych z utrzymaniem maszyn [32].

Według autorów w analizowanej literaturze brak jest jednak kompleksowej, porównawczej analizy stosowanych w praktyce mierników oceny maszyn uwzględniającej np. wielkość przedsiębiorstwa, branżę, rodzaju kapitału przedsiębiorstwa czy typ produkcji. Ponadto trudno jest w analizowanych publikacjach znaleźć informacje dotyczące problemów, jakie miały przedsiębiorstwa ze stosowaniem mierników oceny maszyn. W niniejszym artykule wskazano podstawowe mierniki funkcjonowania maszyn, sposoby ich obliczania, a następnie sprawdzono, czy w praktyce te mierniki są rzeczywiście stosowane.

1. Mierniki oceny efektywności funkcjonowania maszyn

Efektywność jest jednym z wyróżników określających własności w zbiorze obiektów i systemów. Rozumiana jest ona zazwyczaj, jako własność obiektu eksploatacji (lub systemu) warunkująca poziom realizacji celów stawianych obiektowi bądź systemowi w określonych warunkach eksploatacji i w określonym przedziale czasu [14]. Efektywność eksploatacji możemy definiować jako iloraz efektów uzyskanych w ustalonym przedziale czasu trwania określonego stanu obiektu eksploatacji do nakładów poniesionych do uzyskania tych efektów.

Na efektywność systemu wpływ będą miały zarówno czynniki przedeksplatacyjne, czyli wymagane działania i nakłady początkowe związane z wymaganymi cechami systemu oraz cechami otoczenia systemu, jak również czynniki eksploatacyjne identyfikowane w procesie eksploatacji (czynniki zewnętrzne np. systemy współpracujące oraz własności eksploatacyjne systemu takie jak: niezawodność, trwałość, naprawialność) [40]. Natomiast w przypadku eksploatacji obiektu (maszyny, urządzenia) możemy mówić o technicznej efektywności obiektu definiowanej jako relację pomiędzy uszkodzalnością obiektu, a jego potencjalną zdolnością do wykonywania zadań w systemie. W literaturze, np. [12, 20, 26], w ujęciu klasycznym, dla opisu działania maszyn wyróżnia się stan zdatności i stan niezdatności. W kilku jednak innych opracowaniach np. [13, 35] autorzy wprowadzają klasyfikacje wielostanowe, co wynika, ze złożoności oraz wielozadaniowości niektórych maszyn.

Stan zdatności maszyny wymaga zdefiniowania dwóch zasadniczych pojęć: zdatność zadaniowa oraz zdatność funkcjonalna [5].

Zdatność zadaniowa jest to zdatność do realizowania zadania z w wybranym przedziale czasu Δt lub innej wielkości.

Zdatność funkcjonalna natomiast jest to zdatność do realizowania zadania w wybranej chwili czasu t każdego zadania ze zbioru zadań, które są możliwe do zrealizowania przez maszynę. Kształtowanie omówionych zdatności może odbywać się na każdym etapie funkcjonowania maszyny w systemie produkcyjnym lub na każdym etapie funkcjonującego systemu maszyn technologicznych (posiadanego parku maszyn technologicznych): organizowanie systemu, jego użytkowanie oraz likwidacja lub reorganizacja z zastosowaniem określonej strategii eksploatacji. Do oceny efektywności systemu możemy stosować różne kryteria oceny. W pracach [15, 16, 19, 23, 27, 29, 34, 36, 37, 42, 43] autorzy proponują kryteria oceny systemu. Do każdego z określonych kryteriów stosowane są różnego rodzaju wskaźniki. W tabeli 1 podano przykładowo wskaźniki oceny systemu wg czterech kryteriów. W tabeli podano ich charakterystykę oraz przykładowe rodzaje.

Tabela 1. Kryteria oceny systemu. Źródło: opracowanie własne na podstawie [15, 16, 19, 23, 27, 29, 34, 36, 37, 42, 43].

Table 1. Criteria of the system evaluation. Source: own study based on [15, 16, 19, 23, 27, 29, 34, 36, 37, 42, 43].

Lp.	Rodzaj kryterium	Charakterystyka	Przykładowe rodzaje wskaźników
1.	Informacyjno - operacyjne	Związane z organizacją i przebiegiem procesów eksploatacji oraz wyrażające fakt osiągnięcia zamierzonych celów lub realizacji określonych potrzeb oraz wpływ systemu sterowania na działanie.	<ul style="list-style-type: none">• Wskaźnik utechnicznienia• Wskaźnik średniego wieku maszyn• Wskaźnik intensywności obsługi naprawczej• Wskaźnik zaspokojenia potrzeb naprawczych• Wskaźnik zatrudnienia służb utrzymania ruchu• Wskaźnik terminowości wykonania napraw kapitalnych, średnich, bieżących i przeglądów,• Wskaźnik łatwości konserwacji (maintainability)
2.	Ekonomiczne	Związane z wielkością (wartością) efektów dodatnich (korzyści) i ujemnych	<ul style="list-style-type: none">• Wskaźnik rentowności• Koszty stałe i zmienne utrzymania maszyn

		(nakładów) oraz korzyść działalności inwestycyjno-finansowej w systemie.	<ul style="list-style-type: none"> • Wskaźnik kosztów remontów kapitalnych, średnich i bieżącego utrzymania maszyn • Koszt utrzymywania części zamiennych
3.	Techniczno-eksploatacyjne	Związane ze zdatnością elementów systemu, a w szczególności środków technicznych i wyrażające wpływ techniki na ich działanie; związane są z funkcjonowaniem elementów i środków działania systemu oraz wyrażają wpływ na zdolność systemu do funkcjonowania w stanie zdatnym w określonym czasie.	<ul style="list-style-type: none"> • Wskaźnik wydajności • Wskaźnik czasu postoju maszyn • Wskaźnik uszkodzeń i awarii maszyn • Wskaźnik gotowości technicznej • Wskaźnik wykorzystania maszyny • Wskaźnik zmienności
4.	Dotyczące bezpieczeństwa	Związane z ryzykiem powstawania strat (ludzkich – utrata życia lub uszczerbek na zdrowiu, ekologicznych, materialnych), które na ogół wiążą stany niezdatności elementów systemu z możliwością wystąpienia w ich wyniku strat oraz wielkością ewentualnych strat.	<ul style="list-style-type: none"> • Liczba wypadków przy obsłudze i użytkowaniu maszyn • Liczba powstałych zagrożeń przy obsłudze i użytkowaniu maszyn

Większość z tych wskaźników może być wykorzystana również na różnych poziomach do pomiaru jakości obszaru produkcji, wybranej linii produkcyjnej lub wykorzystywanego urządzenia lub maszyny technologicznej. Norma PN-EN 15341:2007 również klasyfikuje kluczowe wskaźniki efektywności obsługi wg trzech podstawowych kryteriów: ekonomicznego, organizacyjnego i technicznego. Dodatkowo norma ta definiuje wskaźniki wg podanych kryteriów na trzech poziomach. Ponadto norma ta [28] precyzuje sposób właściwego doboru wskaźników oceny efektywności. Wg normy przy wyborze wskaźników do oceny powinno się uwzględnić odpowiednie kryteria np.: efektywność działań utrzymania maszyn, niezawodność wyposażenia. Przy poszukiwaniu właściwych wskaźników norma zaleca dwa podejścia:

- pierwsze: wybór wskaźników spośród dostępnych, które po analizie spełnią wymagania;
- drugie: zacząć od metody, która rozpoczyna ocenę różnych procesów utrzymania maszyn wybranych poprzez analizę funkcyjną. W praktyce obydwie podejścia mogą być wykorzystane. Wśród wskaźników zalecanych przez normę jest: MTBF (Mean Time Between Failure) oraz MTTR (Mean Time To Repair). Wskaźnik MTBF (*Mean Time Between Failure*) pokazuje, jak często ze statycznego punktu widzenia następuje uszkodzenia danego obiektu technicznego. W przedsiębiorstwach wskaźnik służy do określania harmonogramu przeglądów profilaktycznych. MTTR (*Mean Time To Repair*) określa średnim czasie potrzebnym na naprawę w momencie wystąpienia awarii. Stosowany jest do oceny efektywności pracowników służb utrzymania ruchu, jak i oceny prowadzonych przez nich zadań naprawczych [11].

Sposoby obliczania tych wskaźników są następujące.

- **MTBF (Mean Time Between Failures)** – średni czas pomiędzy awariami lub częstość awarii. Wskaźnik rozumiany jest, jako średni czas pracy pomiędzy awariami w określonym czasie. Wskaźnik ten obliczany według wzoru (1).

$$MTBF = \frac{\text{czas pracy}}{\text{liczba awarii w tym czasie}} \quad (1)$$

- **MTTR (Mean Time To Repair)** – średni czas do zakończenia naprawy. Wskaźnik rozumiany jest, jako średni czas trwania rzeczywistej naprawy od momentu zgłoszenia do momentu jej zakończenia. Obliczany jest według wzoru (2).

$$MTTR = \frac{\text{czas wykonanych napraw}}{\text{liczba awarii}} \quad (2)$$

Kolejnym wskaźnikiem, którego ważną rolę w doskonaleniu procesu produkcyjnego podkreślono w pracach [1, 30, 31, 38] jest wskaźnik OEE. Wskaźnik OEE opisuje trzy podstawowe obszary działalności przedsiębiorstwa: dostępność, efektywność wykorzystania oraz jakość produkowanych wyrobów. Obliczanie wskaźnika OEE umożliwia definiowanie działań doskonalących w zakresie realizowanych procesów produkcyjnych, pozwala zmierzyć ich efekt po wdrożeniu oraz eliminację istniejących problemów. Pozwala zidentyfikować wąskie gardła i główne problemy przedsiębiorstwa.

- **OEE (Overall Equipment Effectiveness)** – Całkowita Efektywność Wyposażenia. Wskaźnik ten liczony jest jako iloczyn trzech parametrów dostępności, wydajności i jakości, które są jego składnikami. Wskaźnik OEE obliczany jest według wzoru (3). Poszczególne jego parametry obliczane są wg wzorów (4-7).

$$OEE = Dostepnosc \times Wydajnosc \times Jakosc \times 100\% \quad (3)$$

Dostępność obliczana jest według wzoru:

$$D = \frac{\text{czas zmiany} - \text{czas przestoju}}{\text{czas zmiany}} \quad (4)$$

gdzie:

$$\text{czas przestoju} = \text{konserwacje} + \text{przebrojenia} + \text{awarie} + \text{inne} \quad (5)$$

Wydajność obliczana jest według wzoru:

$$O = \frac{\text{produkcja wykonana (dobra + zła jakość)}}{\text{czas zmiany} \times \text{wydajność znamionowa}} \quad (6)$$

Jakość obliczana jest według wzoru:

$$J = \frac{\text{produkcja wykonana} - \text{braki}}{\text{produkcja wykonana}} \quad (7)$$

OEE zwraca się w stronę procesu, tzn. bierze pod uwagę nie tylko czas dostępności maszyn, ale również wydajność (wydajność rzeczywista / wydajność nominalna) i współczynnik jakości (ilość sztuk dobrych / cała produkcja). Jego istota polega na porównywaniu wykorzystania maszyny do wykorzystania idealnego, które zachodzi wówczas, gdy produkcja i jej przygotowanie prowadzone są zgodnie z planem [25, 39, 41].

2. Zakres oraz metodyka przeprowadzonych badań

W przedstawionej pracy zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w wybranych dużych przedsiębiorstwach ulokowanych na ograniczonym obszarze geograficznym (Polska, woj. podkarpackie). Głównym celem badań była identyfikacja rzeczywistych działań realizo-

wanych przez analizowane przedsiębiorstwa w ramach stosowania mierników oceny skuteczności maszyn oraz wskazania, jakie wskaźniki są przez firmy stosowane w praktyce. Przeprowadzone badania zrealizowano w dwóch etapach. Pierwszy etap zrealizowano w następującym zakresie:

1. Analiza aktualnego stanu wiedzy.
2. Określenie zakresu i obszaru badań.
3. Opracowanie arkusza badawczego.
4. Wybór przedsiębiorstw do badań.
5. Przeprowadzenie badań i analiza wyników.

Drugi etap badań zrealizowano następująco: wybór przedsiębiorstwa, przeprowadzenie badań, analiza uzyskanych wyników, propozycja zmian w zakresie stosowanych wskaźników oceny maszyn. Szczegółową analizę uzyskanych wyników przedstawiono w dalszej części pracy.

3. Wyniki badań

3.1. Etap pierwszy badań

3.1.1 Obszar i realizacja badań

Etap pierwszy badań dotyczył identyfikacji stosowanych mierników oceny efektywności funkcjonowania maszyn technologicznych. Badania dotyczyły przedsiębiorstw produkcyjnych funkcjonujących w różnych branżach przemysłu na obszarze województwa podkarpackiego (Polska). Jako szczegółowy przedmiot badań analizie poddano następujące obszary:

- informacje zbierane w zakresie nadzoru nad maszynami,
- rodzaje przestojów rejestrowane w przedsiębiorstwach,
- sposób rejestrowania informacji o awariach maszyn,
- średni czas trwania awarii,
- wskaźniki jakości, wydajności i dostępności maszyn,
- wskaźnik OEE.

Do badań zaproszono 150 przedsiębiorstw. Obiektem badań mogło być przedsiębiorstwo, zakład, bądź wydział tego przedsiębiorstwa posiadające własną strategię i rozliczane z uzyskanych osiągnięć. Z przeprowadzonych badań zebrano 46 ankiet.

Badania przeprowadzono w formie wywiadów. W badaniach uczestniczyli przedstawiciele średniego i najwyższego kierownictwa oraz pracownicy bezpośrednio odpowiedzialni za proces nadzorowania maszyn i urządzeń technologicznych w firmie, a także wybrani operatorzy maszyn. Badania realizowane były w formie koniunktywnych pytań zamkniętych, które zawierały listę przygotowanych, z góry przewidzianych odpowiedzi przedstawionych respondentowi, umożliwiającą dokonanie wyboru więcej niż jednej z podanych na nie możliwych odpowiedzi. Dodatkowo można było udzielić innych odpowiedzi, jeżeli nie znajdowały się one w przygotowanych opcjach.

3.1.2. Struktura badanych przedsiębiorstw

W trakcie prowadzonych badań przedsiębiorstwa klasyfikowano według następujących kryteriów: branża, typ produkcji, typ własności przemysłowej (rodzaj kapitału), struktura infrastruktury technicznej. W tabeli 2 przedstawiono strukturę badanych przedsiębiorstw.

Tabela 2. Struktura badanych przedsiębiorstw.

Table 2. The structure of the studied enterprises.

Kryterium	Struktura badanych przedsiębiorstw
-----------	------------------------------------

Branża	Lotnicza	Motoryzacyjna	Obróbka metali	Drzewna i papiernicza	Spożywcza	Chemiczna
	42%	34%	13%	5%	3%	3%
Typ produkcji	Jednostkowa	Małoseryjna	Średniose-ryjna	Wielkoseryjna	Masowa	Kilka typów
	20%	22%	18%	27%	12%	6%
Rodzaj własności	Prywatne			Państwowe		
	91%			9%		
Rodzaj kapitału	Kapitał całkowicie polski	Większościowy kapitał polski		Większościowy kapitał zagraniczny		
	17%	15%		68%		
Rodzaj posiadanych maszyn	W większości maszyny sterowane ręcznie		W większości maszyny sterowane numerycznie		Inne	
	24%		74%		12%	

Najwięcej firm, bo aż 42% stanowiły firmy z branży lotniczej, 34% to firmy branży motoryzacyjnej. Pozostałe branże to, m.in. obróbka metali, chemiczna, drzewna i papiernicza oraz spożywcza. Wśród badanych przedsiębiorstw najczęściej było organizacji, w których dominowała produkcja wielkoseryjna – 27%. W 6% badanych przedsiębiorstw występuje kilka typów produkcji jednocześnie.

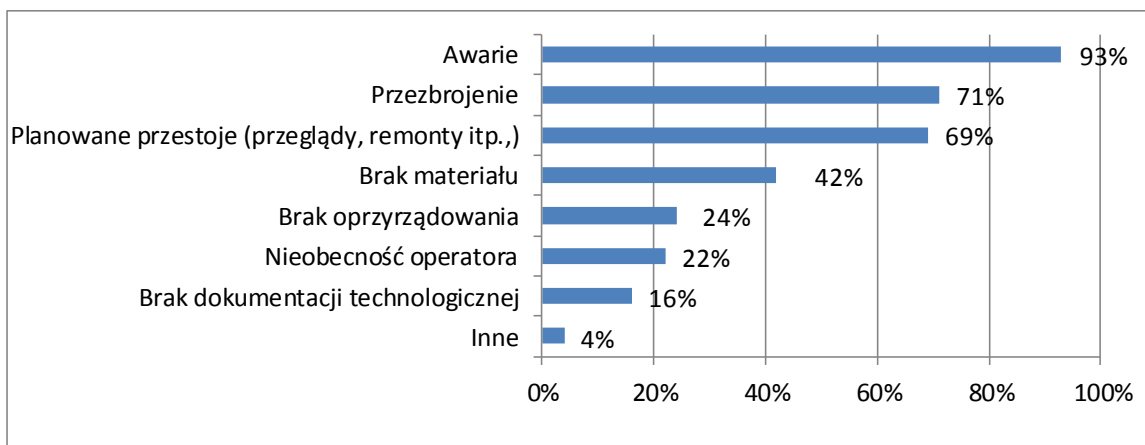
Większość badanych firm (91%) to przedsiębiorstwa prywatne, pozostałe zaś (9%) państwowe. 68% z nich posiadała większościowy kapitał zagraniczny, 15% większościowy kapitał krajowy, natomiast 17% z nich to firmy z kapitałem całkowicie polskim. W większości badanych przedsiębiorstwach dominujące były maszyny sterowane numerycznie (74%). A wśród innych urządzeń technicznych wymieniano, m.in. automaty. Większość z badanych przedsiębiorstw, bo aż 72% ocenia swoją sytuację, jako rozwojową, a 28% przedsiębiorstw, jako stabilną. Żadna z firm nie oceniła swojej sytuacji, jako trudnej.

3.1.3. Uzyskane wyniki

Efektywność procesu zarządzania infrastrukturą techniczną w dużej mierze zależy od rodzaju oraz ilości informacji zbieranych o maszynach. Gdyż, jeżeli nie wiemy, że są problemy oraz gdzie one występują nie możemy ich eliminować, ani im zapobiegać.

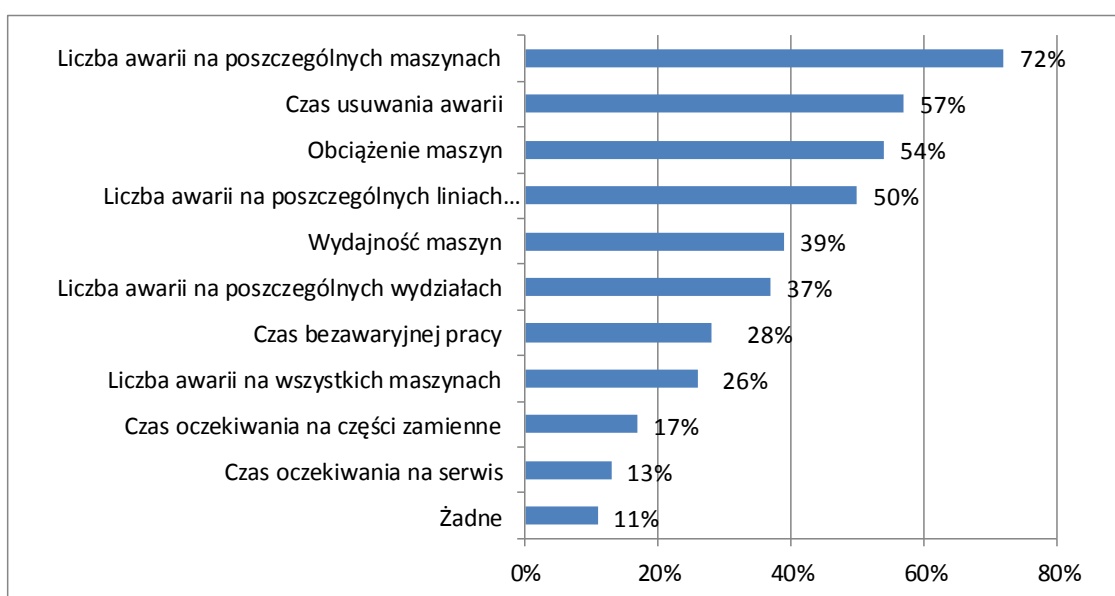
Gromadzenie potrzebnych informacji, podejmowanie właściwych decyzji w odpowiednim czasie oraz zapewnienie celowego działania i właściwego reagowania są ciągłym wyzwaniem dla systemu informacji organizacji.

Jedną z grup informacji, które powinny być rejestrowane w firmach są informacje o przesto-
 jach. Z przeprowadzonych badań wynika, że najczęściej rejestrowanymi rodzajami przesto-
 jów są awarie maszyn, na co wskazuje 93% badanych przedsiębiorstw (rys. 1). W 71% firm
 rejestrowane są przestoje spowodowane przezbrojeniami.



Rys. 1. Rodzaje przestoju rejestrowane w przedsiębiorstwach
 Fig. 1. Types of downtimes recorded in enterprises

W przedsiębiorstwach zbierane są różne rodzaje informacji związanych z maszynami. Dotyczą one zarówno pojedynczych stanowisk roboczych, jak również linii czy wydziałów produkcyjnych. Dotyczą zarówno czasu bezawaryjnej pracy maszyn, czasu oczekiwania na serwis, części zamiennych do maszyn, wydajności jak i obciążenia maszyn. Prowadzone badania wykazały, że informacje, które najczęściej są zbierane w firmach w celu ułatwienia realizacji działań związanych z maszynami to liczba awarii na poszczególnych maszynach (72%). Na rysunku 2 przedstawiono również inne zbierane informacje oraz udział procentowy przedsiębiorstw, które te informacje rejestrują.



Rys. 2. Rodzaje informacji dotyczących maszyn zbierane w przedsiębiorstwach
 Fig. 2. Types of machine-related information gathered in enterprises

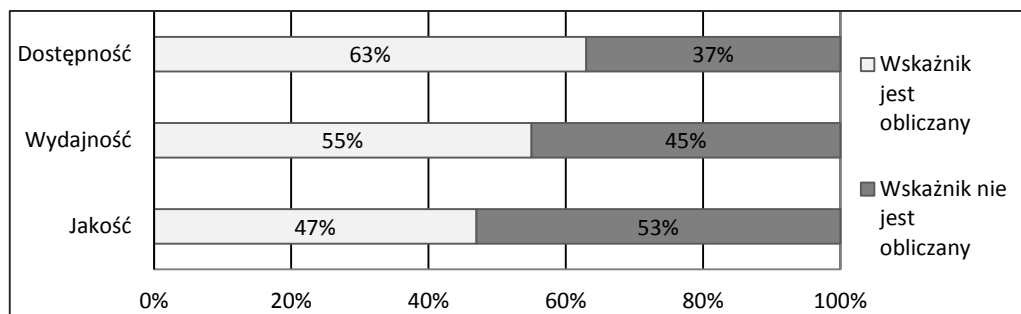
Ważnym elementem kompletności i wiarygodności uzyskiwanych danych jest określenie właściwego, skutecznego sposobu ich zbierania i rejestrowania. Z przeprowadzonych badań wynika, że w większości firm (81%) osobą odpowiedzialną za zbieranie informacji o maszynach jest pracownik służb utrzymania ruchu. Przy czym warto zaznaczyć, że w 52% badanych firm kilka osób zbiera i rejestruje informacje. Może pojawić się pytanie, czy te same informacje

rejestrowane są przez różne osoby i czy w takiej sytuacji dane się ze sobą pokrywają. W przeprowadzonych badaniach nie zostało to jednak sprawdzone. Wśród innych osób zaangażowanych do zbierania informacji wymieniono m.in. specjalistę ds. ciągłego doskonalenia w firmie oraz technologa.

W 65% przypadków miejscem rejestrowania informacji dotyczących maszyn jest dział utrzymania ruchu. W 42% firm informacje wprowadzane są bezpośrednio do systemu informatycznego, np. przez kiosk informatyczny znajdujący się na hali produkcyjnej.

Głównym obszarem prowadzonych badań było zebranie informacji dotyczących stosowanych rodzajów mierników do oceny efektywności funkcjonowania maszyn. Pytania ankietowe dotyczyły sprawdzenia czy obliczany jest wskaźnik jakości, wydajności i dostępności maszyny. Wskaźnik jakości definiowany był jako liczba wyrobów zgodnych do wszystkich wyrobów wyprodukowanych na maszynie. Wydajność maszyny definiowana była jako liczba wyprodukowanych wyrobów w stosunku do liczby wyrobów możliwych do wyprodukowania na maszynie w określonym czasie. Dostępność maszyny rozpatrywano, jako rzeczywiście przepracowany czas pracy w stosunku do dostępnego na stanowisku czasu pracy. Szczegółowe wyniki tych badań przedstawiono w pracy [3].

Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 3. Przeprowadzone badania wskazują, że 53% przedsiębiorstw nie analizuje wskaźników jakościowych na swoich maszynach. Taka sytuacja znacznie utrudnia analizę i możliwości wykrywania potencjalnych przyczyn powstawania wyrobów niezgodnych w produkcji.



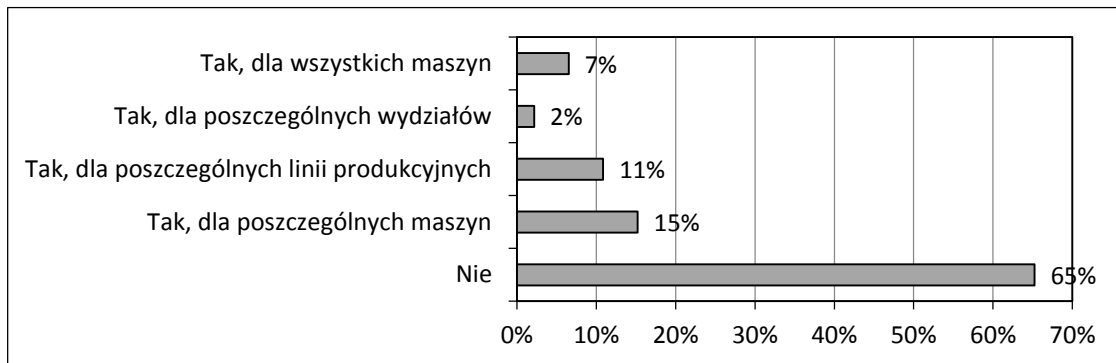
Rys. 3. Udział procentowy przedsiębiorstw obliczających wskaźniki jakości, wydajności i dostępności

Fig. 3. Percentage of the enterprises which calculate quality, performance and availability parameters.

Inaczej kształtuje się sytuacja w przypadku zbierania danych dotyczących wydajności i dostępności maszyn. W przypadku wskaźnika wydajności aż 55% badanych przedsiębiorstw oblicza go i analizuje. Zbieranie takiego rodzaju informacji znacznie ułatwia proces planowania produkcji pozwalającej na terminową realizację zleceń klientów. Pozwala zidentyfikować maszyny o większych, bądź mniejszych możliwościach produkcyjnych, a tym samym pośrednio ocenić stan techniczny posiadanych maszyn.

Wskaźnik dostępności maszyn zbierany i analizowany jest w 63% badanych przedsiębiorstw. Wartość tego wskaźnika wskazuje na rzeczywisty przepracowany czas maszyny w procesie produkcyjnym. Pozwala zidentyfikować stanowiska produkcyjne, na których maszyny, często ulegają awariom, bądź czas ich przebrojenia jest zbyt długi. Dzięki takim informacjom przedsiębiorstwo może podjąć działania, których efektem jest minimalizacja ryzyka pojawiania się nieprzewidzianych przestojów i awarii takie jak np. wdrożenie TPM (Total Productive Maintenance – Produktywne Utrzymanie Maszyn) czy wdrożenie metod pozwalających na skrócenie czasu przebrojenia np. SMED (Single Minute Exchange of Die).

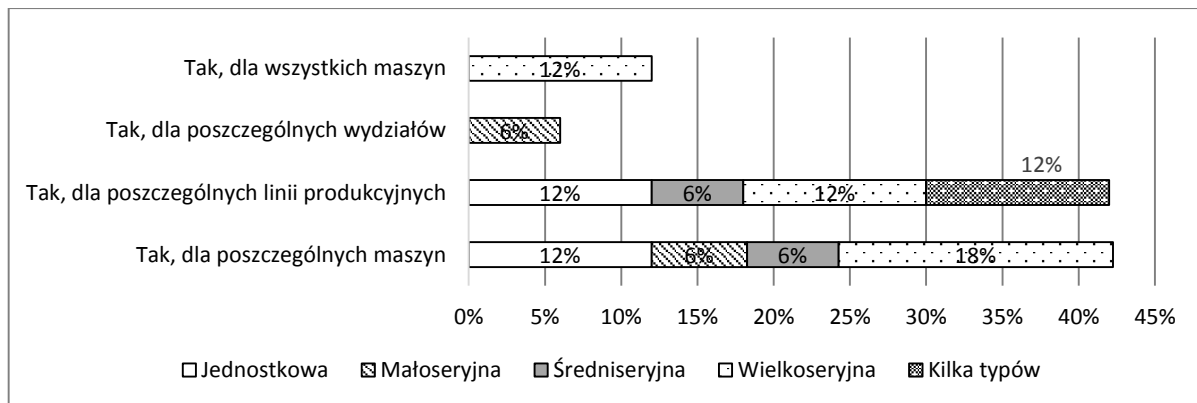
Jednym ze wskaźników zalecanych w literaturze jest wskaźnik OEE. Przy ocenie efektywności posiadanych maszyn i wdrożenia metody TPM parametr ten jest bardzo ważny. Jak pokazują jednak prowadzone badania nie zawsze jest on stosowany [4]. W zakresie prowadzonych badań, również ten miernik został poddany analizie. Zebrane informacje wykazały, że aż w 65% badanych przedsiębiorstw nie jest on w ogóle wykorzystywany, a tylko 15% firm oblicza wskaźnik OEE dla wybranych maszyn (rys. 4.). Zaledwie 7% analizowanych firm kalkuluje go dla wszystkich posiadanych maszyn.



Rys. 4. Odsetek firm obliczających wskaźnik OEE

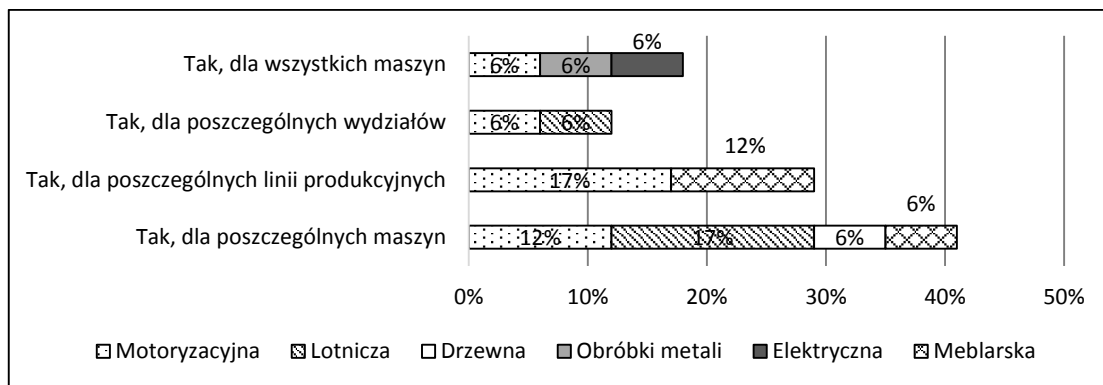
Fig. 4. Percentage of the companies calculating OEE indicator.

Analizując szczegółowo badane firmy ze względu na rodzaj produkcji (rys. 5) oraz branżę (rys. 6) okazuje się, że dla wszystkich maszyn wskaźnik OEE obliczany jest w przypadku produkcji wielkoseryjnej. Głównie dotyczy to branży elektrycznej, obróbki metali i motoryzacyjnej. Dla poszczególnych wydziałów wskaźnik ten obliczany jest tylko w przypadku produkcji małoseryjnej, w branży lotniczej i motoryzacyjnej. Analizowane przedsiębiorstwa najczęściej obliczają wskaźnik OEE dla poszczególnych, wybranych maszyn w większości typów produkcji i branż.



Rys. 5. Odsetek firm obliczających wskaźnik OEE ze względu na rodzaj produkcji.

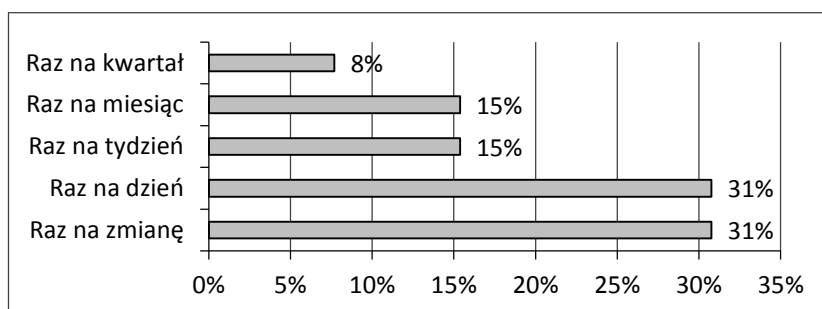
Fig. 5. Percentage of the companies calculating the OEE indicator on the basis of the production type.



Rys. 6. Odsetek firm obliczających wskaźnik OEE ze względu na branżę

Fig. 6. Percentage of the companies calculating the OEE indicator on the basis of the industry.

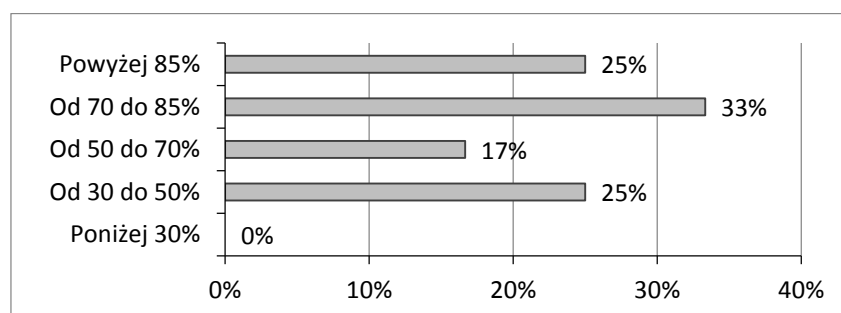
Kolejną znaczącą kwestią było uzyskanie informacji dotyczącej częstotliwości obliczania wskaźnika OEE. Częstotliwość uzyskiwania takich informacji jest o tyle istotna, że wartości wskaźnika OEE na bieżąco informują nas o produktywności posiadanych maszyn. Jeżeli informacje zbierane są zbyt rzadko, nie będziemy mogli szybko zareagować w przypadku, gdy nastąpi spadek wykorzystania maszyn. Prowadzone badania wykazały, że w 31% analizowanych przedsiębiorstwach oblicza się wskaźnik zmianowy lub dzienny (rys. 7). Tylko w 8% firm wskaźnik OEE obliczany jest kwartalnie (rys. 8).



Rys. 7. Częstotliwość obliczania wskaźnika OEE

Fig. 7. The OEE calculation rate

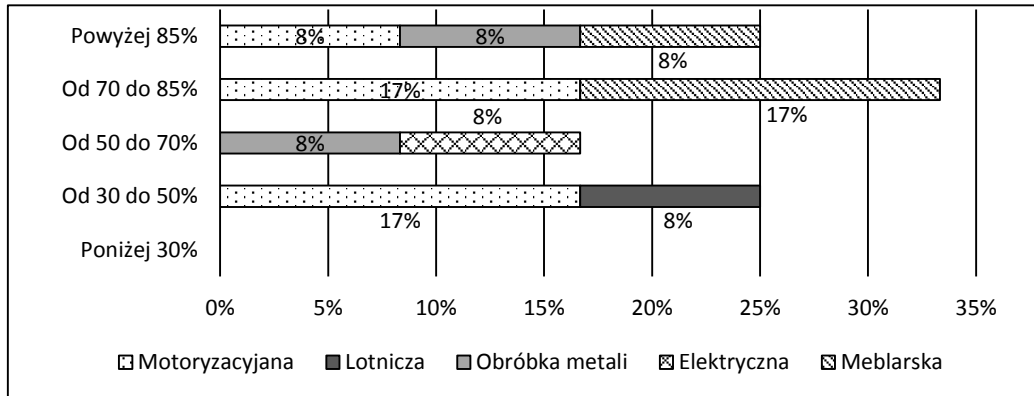
Ważnym elementem w trakcie realizowanych badań było zebranie informacji dotyczących wartości wskaźnika OEE. Jego wartość jest ważna, ponieważ pozwala wstępnie dokonać ogólnej analizy efektywności posiadanych maszyn. Za światowy poziom wartości tego wskaźnika uznaje się wartość powyżej 85%. W analizowanych przedsiębiorstwach poziom taki uzyskuje tylko 25% analizowanych przedsiębiorstw, 33% firm notuje wartość wskaźnika OEE w przedziale 70-85 % (rys. 8).



Rys. 8. Średnia wartość wskaźnika OEE w przedsiębiorstwach

Fig. 8. The average value of the OEE indicator in the enterprises.

Na rysunku 9 przedstawiono uzyskiwane wartości wskaźnika OEE w poszczególnych branżach. Najwyższa wartość wskaźnika uzyskiwana jest w branży motoryzacyjnej oraz dla maszyn wykorzystywanych do obróbki metali i w branży meblarskiej. Najniższą wartość wskaźnika najczęściej odnotowano w branży lotniczej i motoryzacyjnej.



Rys. 9. Wartości wskaźnika OEE w poszczególnych branżach

Fig. 9. The values of the OEE indicator for particular industries.

Najniższą wartość wskaźnika najczęściej odnotowano w branży lotniczej i motoryzacyjnej.

3.1.4. Dyskusja i analiza danych po pierwszym etapie badań

Przeprowadzone w pierwszym etapie badania wskazują, że w wielu firmach zbierane jest wiele informacji dotyczących efektywności posiadanej infrastruktury technicznej. Zbierane są informacje dotyczące zarówno awarii, nieplanowanych przestoju czy też dane dotyczące wydajności i jakości wszystkich, jak również poszczególnych maszyn. Z przeprowadzonych badań wynika również, że prawie połowa z przebadanych firm nie ocenia efektywności posiadanych maszyn i nie stosuje wskaźników do ich oceny. Wyniki badań pokazują, że warto to zagadnienie badać i uświadamiać przedsiębiorstwom, jak ważne dla terminowej realizacji produkcji jest monitorowanie wydajności, jakości i dyspozycyjności posiadanego parku maszyn technologicznych.

W dalszych analizach autorzy poszukiwali zależności pomiędzy:

- rodzajem kapitału, a stosowanymi wskaźnikami oceny efektywności maszyn,
- branżą, w jakiej firma działa, a stosowanymi wskaźnikami,
- realizowaną wielkością produkcji, a stosowanymi wskaźnikami.

Dla przedstawionych danych przeprowadzono analizy χ^2 , aby ocenić czy istnieje statystycznie uzasadniony wpływ branży, rodzaju posiadanego kapitału, czy wielkości produkcji na działania podejmowane w ramach zbierania danych i dokonywanej oceny wartości analizowanych wskaźników w przedsiębiorstwie. Do analizy wykorzystano program Minitab 16. Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Postawione hipotezy oraz uzyskane wartości *P-value*

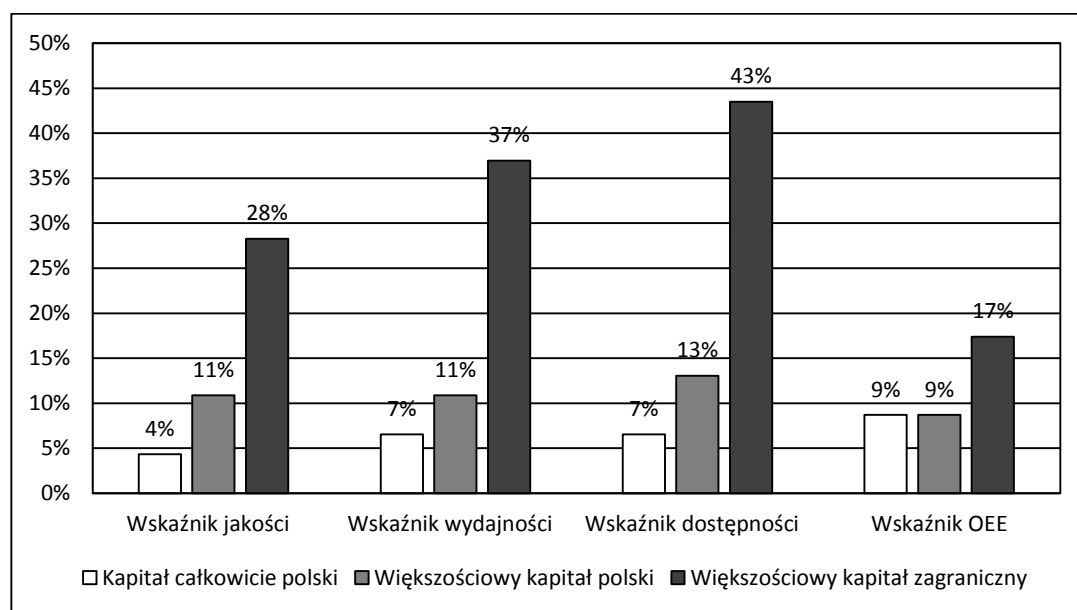
Tabel 3. Hypotheses made and *P-values* obtained

Lp.	Hipoteza	P-value
1.	Nie ma różnicy pomiędzy rodzajem obliczanych wskaźników przez przedsiębiorstwa z kapitałem polskim lub większościowym kapitałem polskim, a przedsiębiorstwami z kapitałem zagranicznym	0,000

2.	Nie ma różnicy pomiędzy rodzajem obliczanych wskaźników przez przedsiębiorstwa z różnych branż	0,995
3.	Nie ma różnicy pomiędzy rodzajem obliczanych wskaźników przez przedsiębiorstwa realizujące różną wielkość produkcji	0,981

Z przeprowadzonych analiz wynika, że zbieranie i ocena wartości analizowanych wskaźników nie zależy ani od branży, ani od wielkości produkcji realizowanej w dużych przedsiębiorstwach. Zależy natomiast od rodzaju kapitału, o czym świadczy uzyskana wartość *P-value*, która wyniosła 0,000 ($<0,005$).

Na rysunku 10 przedstawiono rodzaje obliczanych wskaźników w zależności od posiadanego przez przedsiębiorstwa rodzaju kapitału.



Rys. 10. Rodzaje zbieranych wskaźników w zależności od posiadanego przez firmę kapitału

Fig. 10. Types of the metrics collected based on the capital possessed by a company

Jak widać na rysunku 10 zarówno wskaźnik jakości, wydajności oraz dostępności maszyny obliczany jest najczęściej w przedsiębiorstwach posiadających kapitał zagraniczny. Wskaźnik jakości oblicza 28%, wydajności 37%, a dostępności maszyny 43% analizowanych firm z kapitałem zagranicznym.

3.2. Etap drugi badań

3.2.1. Obszar i metodyka badań

Etap drugi badań dotyczył szczegółowej analizy stosowanych mierników oceny efektywności funkcjonowania maszyn technologicznych na przykładzie losowo wybranego przedsiębiorstwa. Jako szczegółowy przedmiot badań analizie poddano następujące obszary:

- rodzaje działań realizowanych w ramach utrzymania maszyn,
- rodzaje mierników oceny efektywności stosowane w przedsiębiorstwie,
- wartości stosowanych wskaźników,
- sposób rejestrowania informacji o maszynach,

- stosowanie wskaźnika OEE i uzyskane wartości.

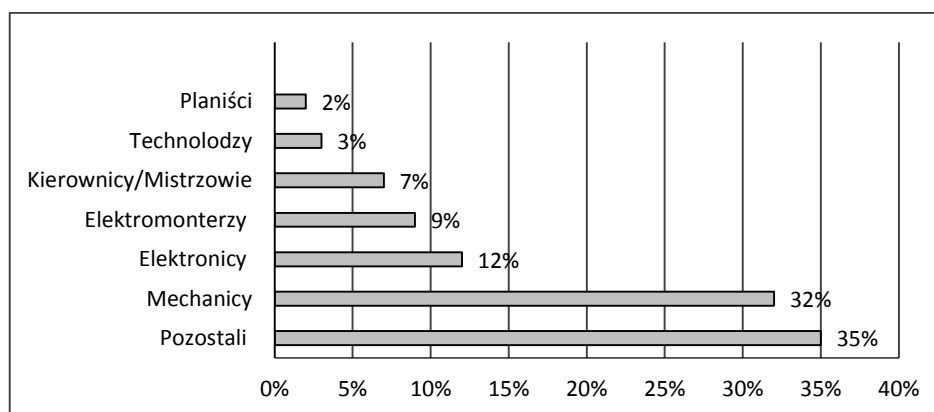
Wyniki analiz przeprowadzonych na etapie pierwszym badań wskazały, że zbieranie i ocena wartości analizowanych wskaźników zależy od rodzaju kapitału, dlatego przy wyborze przedsiębiorstwa stanowiło to główne kryterium. Do dalszych badań wybrano jedno przedsiębiorstwo z spośród badanej grupy, które posiada większościowy kapitał zagraniczny.

Badane przedsiębiorstwo produkcyjne funkcjonuje w branży lotniczej na terenie województwa podkarpackiego. Do analizy wykorzystano dane z badań własnych oraz dane z pracy [44]. Analizowane przedsiębiorstwo prowadzi działalność produkcyjną, remontowo-serwisową, usługową oraz projektowo-badawczą. Działalność firmy w szczególności obejmuje produkcję komponentów lotniczych i jednostek napędowych.

3.2.2. Działania realizowane w ramach utrzymania maszyn

Działania związane z utrzymaniem maszyn w przedsiębiorstwie realizowane są przez Służby Utrzymania Ruchu (SUR), które zlokalizowane są centralnie oraz na poszczególnych wydziałach produkcyjnych. W przedsiębiorstwie stosuje się przede wszystkim prewencyjne utrzymanie maszyn. Firma stosuje nowoczesną strategię zarządzania infrastrukturą techniczną TPM. Wielkość posiadanego parku maszyn technologicznych to ok. 2500 maszyn. Są to głównie maszyny sterowane numerycznie.

W SUR zatrudnionych jest ponad 300 pracowników w różnych zawodach i na różnorodnych stanowiskach. Na rysunku 11 przedstawiono zestawienie pracowników centralnego i wydziałowego utrzymania ruchu.



Rys. 11. Zestawienie pracowników Służb Utrzymania Ruchu

Fig. 11. Workers of the Maintenance Services.

Największą liczbę pracowników stanowią osoby zatrudnione na stanowisku mechanika. Do grupy pracowników „pozostali” zakwalifikowano pracowników służb pomocniczych: BHP, rozdzielni, ostrzarni, funkcjonujących w strukturze organizacyjnej SUR. Stanowią oni 35% osób zatrudnionych w SUR, a ich obowiązki i zakres prac w żaden sposób nie jest związany z tą jednostką.

W ramach zasadniczych działań realizowanych przez SUR analizowanego przedsiębiorstwa można znaleźć działania realizowane w pięciu podstawowych obszarach funkcjonowania. Obszary oraz ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 4.

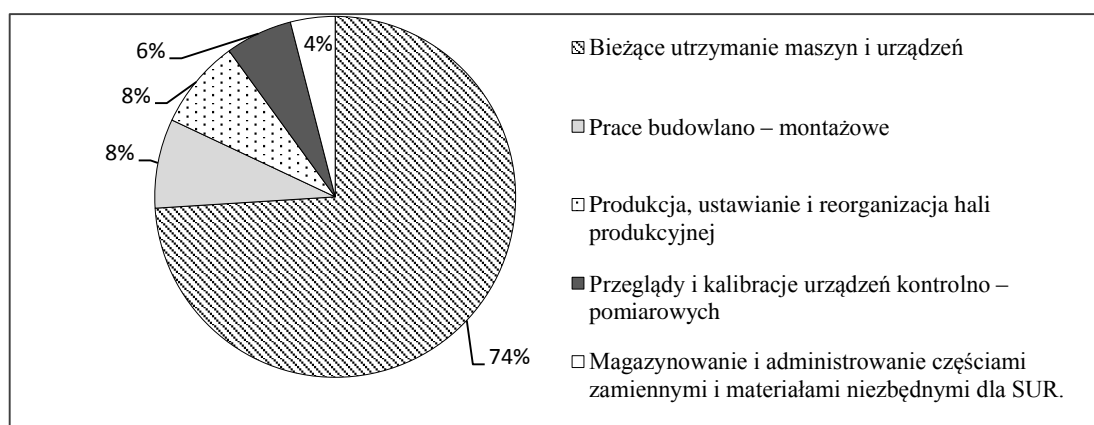
Tabela . 4. Obszary funkcjonowania SUR w analizowanym przedsiębiorstwie

Table 4. Areas of MS operating in the analyzed enterprise.

Lp.	Obszar	Charakterystyka
-----	--------	-----------------

1.	Bieżące utrzymanie maszyn i urządzeń	Usuwanie awarii, okresowe przeglądy maszyn i urządzeń, realizacja działań związanych z wdrażaniem TPM, obsługa prewencyjna, remonty i modernizacje maszyn.
2.	Prace budowlano-montażowe	Działania związane z utrzymaniem stanu technicznego budynków i budowli, usuwaniem usterek wyposażenia hal produkcyjnych, budową konstrukcji stalowych oraz instalacji sanitarnych.
3.	Produkcja, ustawianie i reorganizacja hali produkcyjnej	Naprawa i regeneracja oprzyrządowania, obsługa i nadzorowanie urządzeń ciśnieniowych, przebrojenia obrabiarek, reorganizacja hali produkcyjnej – relokacja maszyn i urządzeń.
4.	Przeglądy i kalibracje urządzeń kontrolnych i pomiarowych	Działania związane z kalibracją i przeglądem urządzeń takich jak: manometry, termopary, systemy rozproszone, mierniki elektryczne itp.
5.	Magazynowanie i administrowanie częściami zamiennymi i materiałami niezbędnymi dla SUR	Identyfikacja potrzebnych części zamiennych, uzupełnianie ich zapasów, gospodarka materiałami niezbędnymi do funkcjonowania SUR.

Na podstawie czasu pracy zidentyfikowano procentowy udział służb utrzymania ruchu w realizacji poszczególnych czynności (rys. 12).



Rys.12. Procentowy udział SUR w poszczególnych obszarach

Fig. 12. Percentage of MS in particular areas.

Największą część zadań Służb Utrzymania Ruchu (74%) stanowi obszar związany z bieżącym utrzymaniem maszyn i urządzeń w ciągłej sprawności. Pozostałe działania zajmują łącznie 26% dostępnego czasu.

3.2.3. Mierniki oceny efektywności maszyn

Do oceny efektywności funkcjonowania systemu maszyn badane przedsiębiorstwo stosuje kilka mierników oceny efektywności maszyn. Ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.

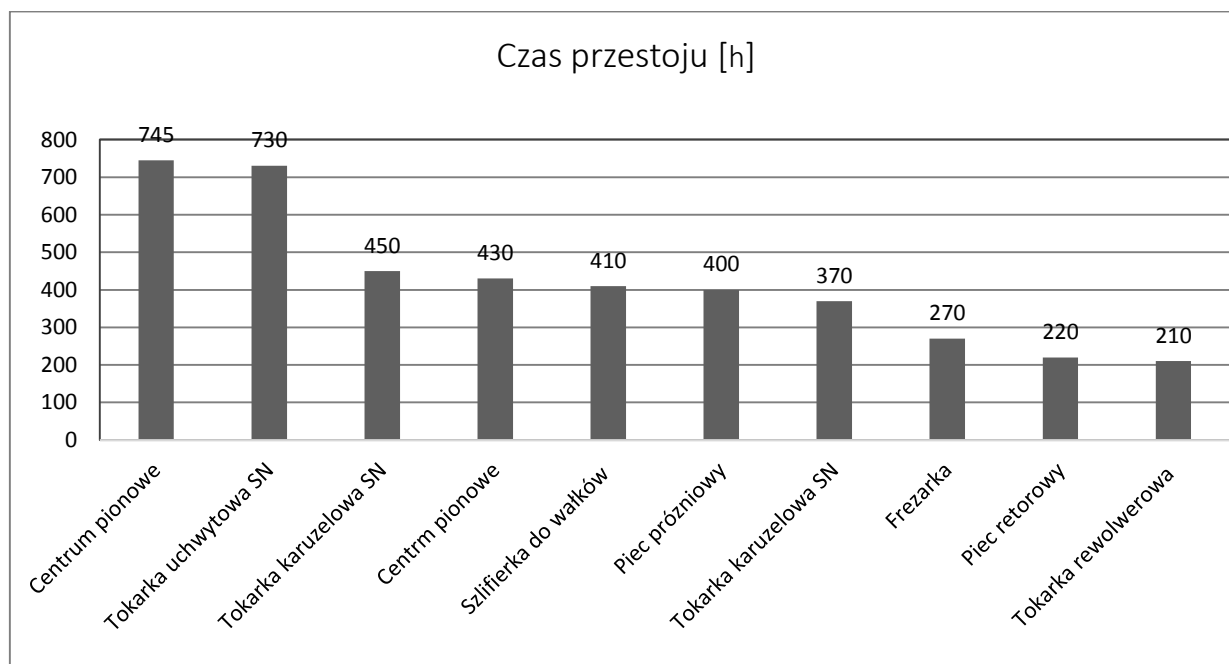
Tabela 5. Mierniki oceny efektywności systemu maszyn stosowane w badanym przedsiębiorstwie

Table 5. Measures of the machine system effectiveness evaluation in the studied enterprise.

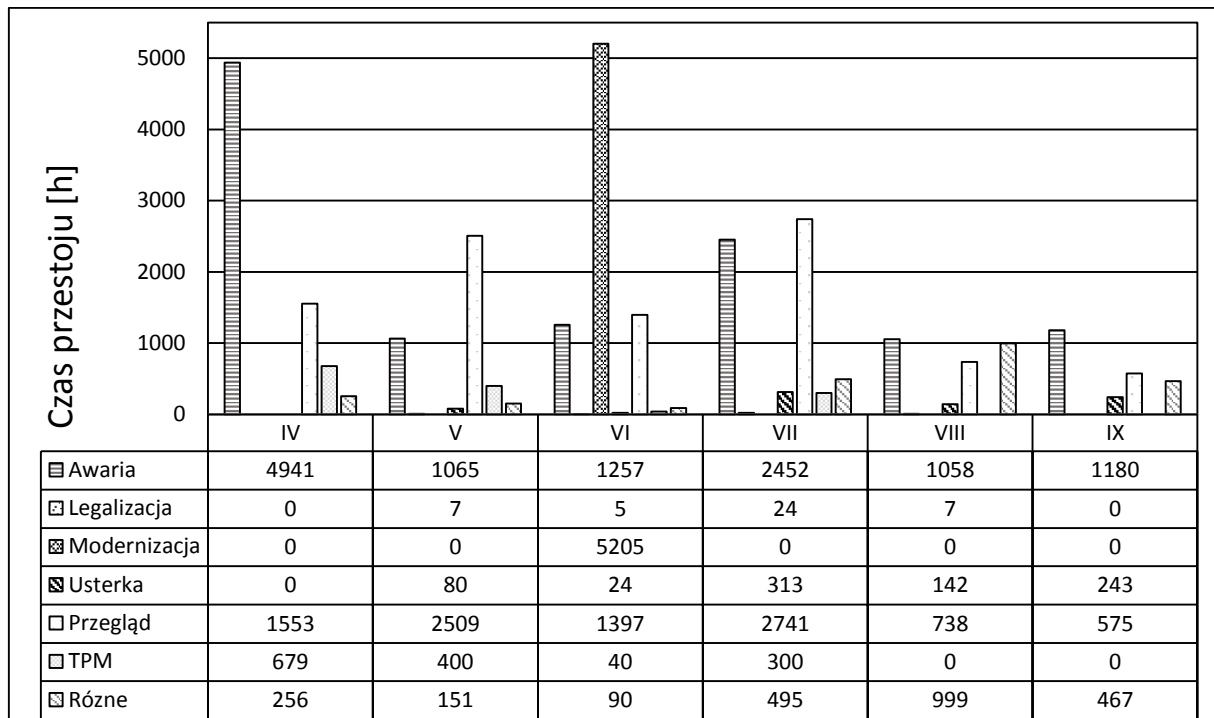
Lp.	Nazwa miernika	Charakterystyka
1.	Czas przestoju maszyn	Czas przestoju – całkowity czas zatrzymania sprzętu tj. od momentu zgłoszenia zdarzenia do czasu zakończenia jego realizacji i ponownego uruchomienia maszyny dla różnego rodzaju przestoju np. awaria, modernizacja, przegląd.

2.	Terminowość wykonywania przeglądów	Porównanie między rzeczywistą datą wykonania przeglądu i przedziałem czasowym ustalonym na obsługę tzn. czas jest liczony według harmonogramowanej daty opartej na kalendarzu obsługi ± 14 dni (Uwaga: możliwe jest przyjęcie odmiennego przedziału).
3.	Wykres awaryjności maszyn – Top 10	Wykres dziesięciu najbardziej awaryjnych maszyn za określony, analizowany okres.
4.	Procentowy miernik stosunku działań prewencyjnych do awarii	Procentowy udział czasu poświęconego na działania prewencyjne do czasu awarii (zgodnie z regułą 80:20)

Na rysunkach 13-15 przedstawiono sposób prezentacji kilku wskaźników oraz ich wartości w wybranym okresie. Na rysunku 13 przedstawiono wykres najbardziej awaryjnych maszyn – TOP 10 w wybranym okresie. W przedsiębiorstwie wykres taki opracowywany jest zarówno dla poszczególnych linii produkcyjnych, jak również dla poszczególnych wydziałów. Opracowywany jest on w cyklu tygodniowym i miesięcznym. Wskaźnik ten na bieżąco pozwala monitorować najbardziej awaryjne maszyny w danym obszarze produkcyjnym, co skutkuje zwiększeniem działań prewencyjnych na tych właśnie obiektach. Wykres trendu przedstawiony na rysunku 14 prezentuje dane dotyczące przestojów maszyn w wybranym okresie czasu.



Rys.13. Najbardziej awaryjne maszyny w wybranym okresie
 Fig. 13. The most damageable machines in a chosen period of time.

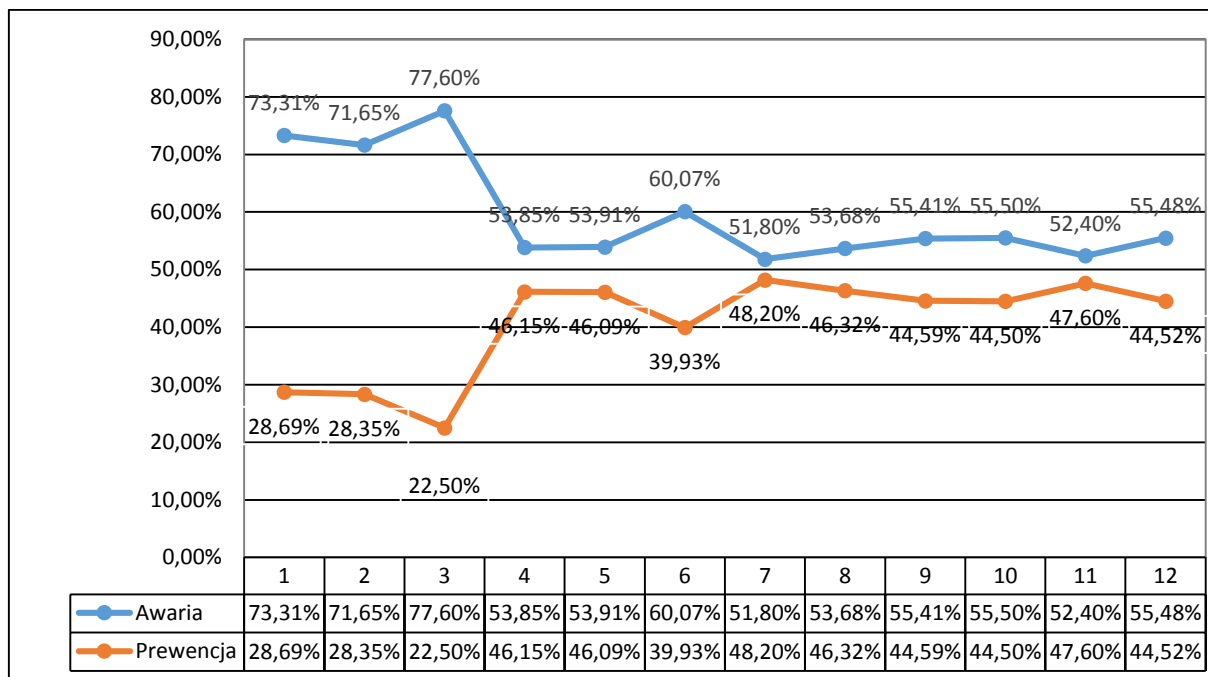


Rys.14. Przestoje maszyn w wybranym okresie

Fig. 14. Machine downtimes in a chosen period of time.

Dane zestawione tak, jak pokazano na rysunku 14 pozwalają na monitorowanie przestojów maszyn oraz ich rodzajów w danym okresie. Przestoje kwalifikowane są następująco: awaria, legalizacja, modernizacja, usterka, przegląd, działania przeznaczone na wdrożenie TPM oraz inne. Zestawienie takie pozwala dokładnie przeanalizować, jaki rodzaj przestoju występuje najczęściej oraz jaki jest czas jego trwania. Uzupełnianie przyszłych okresów np. o dane dotyczące planowanych przeglądów, działań TPM czy modernizacji umożliwia dodatkowo efektywniejszy proces planowania produkcji. Miernik ten pozwala optymalizować działania w zakresie utrzymania maszyn, zarówno na poszczególnych obszarach produkcyjnych, jak również w całym przedsiębiorstwie.

Na rysunku 15 przedstawiono procentowy udział prewencji oraz awarii w wybranym okresie. Funkcjonujące w przedsiębiorstwie służby utrzymania ruchu do analizy tego miernika kierują się zasadą 80:20 uznając, że 80% czasu pracy SUR poświęconego na działania prewencyjne ma skutkować zmniejszeniem czasu trwania awarii do poziomu 20% dostępnego czasu pracy. Przedstawione dane pokazują, że na przestrzeni dwunastu miesięcy znacznie zmalał wskaźnik awarii z największej wartości 77,8% do 51,9%. Zmiana wartości tego wskaźnika spowodowana była znacznym zintensyfikowaniem i doskonaleniem realizowanych działań prewencyjnych w przedsiębiorstwie – wartość wskaźnika zwiększyła się z poziomu 22,2% do 58,1%. Dla doskonalenia działań prewencyjnych w przedsiębiorstwie firma zastosowała wybrane metody i narzędzia Lean Manufacturing takie jak: podejście procesowe, mapowanie strumienia wartości (VSM), wdrożenie TPM dla większości maszyn oraz całkowicie zmieniła organizację prac służb utrzymania ruchu.



Rys. 15. Procentowy udział prewencji i awarii w wybranym okresie

Fig. 15. Percentage of the prevention and failure rate in a chosen period of time.

Ważnym elementem służącym do oceny efektywności działań realizowanych w zakresie utrzymania maszyn jest ocena terminowości przeglądów (tabela 6). Prowadzony rejestr na bieżąco pozwala monitorować stan realizacji planowanych przeglądów. Pozwala analizować terminowość realizacji przeglądów na poszczególnych wydziałach, co daje możliwość skierowania większej liczby pracowników na obszary wymagające przyspieszenia realizacji przeglądów maszyn. Posiadane dane służą często do różnych analiz, pozwalających w szybki i łatwy sposób zidentyfikować maszyny oczekujące na przegląd, będące po przeglądzie lub maszyny z opóźnionym terminem realizacji przeglądu. W tabeli 6 oznaczono przeglądy zrealizowane w terminie, kolorem szarym oznaczane są przeglądy z opóźnionym terminem realizacji. Elektroniczne raportowanie i zlecanie przeglądów pozwala wyeliminować bardzo pracochłonne, ręcznie prowadzone rejestry oraz usprawnić analizę danych.

Tabela 6. Baza danych dotycząca terminowości realizacji przeglądów maszyn i urządzeń w wybranym okresie

Table 6. The database of the timeliness of machine and equipment overhauls in a chosen period of time.

Stanowisko	Planowany termin	Data realizacji	Lokalizacja	Odchylenie	Terminowość /status
Tokarka konwencjonalna 1	2010-01-01	2010-01-08	Wydział Prod.	1	W terminie
Tokarka konwencjonalna 2	2010-01-01	2010-01-19	Wydział Prod.	18	Nieterminowo
Tokarka konwencjonalna 3	2010-01-02	2010-02-08	Wydział Prod.	27	Nieterminowo
Tokarka konwencjonalna 4	2010-01-02	2010-01-02	Wydział Prod.	0	W terminie
Tokarka konwencjonalna 5	2010-01-02	2010-01-19	Wydział Prod.	17	Nieterminowo
Tokarka konwencjonalna 6	2010-01-02	2009-12-28	Wydział Prod.	-5	W terminie
Tokarka konwencjonalna 7	2010-01-02	2010-01-12	Wydział Prod.	10	W terminie
Tokarka konwencjonalna 8	2010-01-02	2010-02-01	Wydział Prod.	31	Nieterminowo
Tokarka konwencjonalna 9	2010-01-03	2010-03-01	Wydział Prod.	58	Nieterminowo

Tokarka konwencjonalna 10	2010-01-03	2010-01-11	Wydział Prod.	8	W terminie
Tokarka konwencjonalna 11	2010-01-03	2010-01-08	Wydział Prod.	5	W terminie
Tokarka konwencjonalna 12	2010-01-03	2010-01-19	Wydział Prod.	16	Nieterminowo

Niestety badana firma do analizy efektywności maszyn nie wykorzystuje wskaźnika OEE. Firma już kilkakrotnie próbowała, lecz bez efektu zastosować ten wskaźnik. Jako przyczyny niepowodzeń firma podaje następujące powody:

- zbyt duża liczba potrzebnych informacji, co wymaga zaangażowania wielu osób z kilku jednostek organizacyjnych do ich zbierania,
- zbyt wysoka pracochłonność przy ręcznym systemie jego obliczania, szczególnie, że jest to duże przedsiębiorstwo, w którym funkcjonuje wiele maszyn i urządzeń,
- należałoby wprowadzić sposób gromadzenia danych w sposób automatyczny, gdyż dane zbierane ręczne często obarczone są dużym błędem pomiaru,
- pojawiające się problemy z systematycznością zbierania danych w różnych obszarach,
- elektroniczny, automatyczny system zbierania danych jest również niezbędny do tego, aby dane mogły być na bieżąco analizowane, bo tylko to pozwoliłoby na efektywne wdrożenie wskaźnika OEE, co niestety okazało się zbyt kosztowne do realizacji,
- wdrożenie OEE wymaga ujednoczenia procedur i rodzaju zbierania informacji na wszystkich wydziałach przedsiębiorstwa, co niestety okazało się procesem trudnym i czasochłonnym.

Firma planuje podjąć kolejną próbę wdrożenia wskaźnika OEE. Pierwszy krok w tym kierunku to standaryzacja procesów nadzorowania maszyn i zbierania informacji o ich funkcjonowaniu w procesie produkcyjnym na poszczególnych wydziałach.

3.2.4. Dyskusja po drugim etapie badań

Przeprowadzone badania w wybranym przedsiębiorstwie wykazały, że ważnym elementem oceny efektywności funkcjonowania maszyn jest nie tylko właściwa organizacja służb odpowiedzialnych za ich funkcjonowanie, ale przede wszystkim właściwy dobór stosowanych mierników. Analizowane przedsiębiorstwo stosuje bardzo proste mierniki oceny efektywności maszyn. Są one jednak, według analizowanego przedsiębiorstwa, wystarczające i przekazujące wiele pomocnych informacji do efektywnego procesu nadzorowania maszyn i urządzeń technologicznych. Badania wykazały, że jednym z ważnych elementów właściwego procesu monitorowania efektywności maszyn jest kompletność, dostępność oraz wiarygodność uzyskiwanych informacji do ich wyznaczenia, co niestety wymaga elektronicznego, automatycznego systemu wspomagania.

4. Wnioski końcowe i propozycje wskaźników do stosowania w przedsiębiorstwach

Efektywny proces nadzorowania maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie wymaga nie tylko doboru właściwej strategii zarządzania infrastrukturą techniczną, ale przede wszystkim miarodajnych wskaźników oceny jej funkcjonowania. Prowadzone badania wykazały, że prawie połowa z przebadanych firm nie ocenia efektywności posiadanych maszyn, ani nie stosuje zbyt wielu wskaźników do ich oceny.

Badania wykazały ponadto, że tylko 35% przedsiębiorstw stosuje zalecany wskaźnik OEE. W ramach drugiego etapu badań szczegółowo przeanalizowano stosowane wskaźniki oceny maszyn w wybranym przedsiębiorstwie. Analiza wykazała, że przedsiębiorstwo nie stosuje większości z zalecanych w literaturze wskaźników oceny maszyn takich jak: OEE, MTTR czy MTBF, mimo, że jest to duże przedsiębiorstwo z większościami kapitałem zagranicznym.

Firma opracowała i stosuje własne nieskomplikowane mierniki, które nie wymagają zbytniego, dodatkowego obciążenia pracowników do zbierania potrzebnych danych.

Przedsiębiorstwo oceniając efektywność posiadanych maszyn wymaga prostych, zwiezłych i przydatnych informacji o maszynach i ich efektywności. Dodatkowo wymaga również informacji o funkcjonowaniu służb pomocniczych odpowiedzialnych za ich nadzorowanie. Na podstawie uzyskanych informacji z przeprowadzonych badań autorzy zaproponowali zestaw wskaźników, które przedsiębiorstwa mogą stosować do oceny maszyn i funkcjonowania służb pomocniczych, których stosowanie nie wiąże się z nadmiernym nakładem pracy (tabela 7). W zestawieniu przedstawionym w tabeli 7 wskazano wskaźniki, kryteria ich wyodrębnienia, rodzaj informacji potrzebnych do ustalenia wartości każdego ze wskaźników oraz sposób ich wyznaczania. Autorzy proponują do stosowania zarówno wskaźniki, które najczęściej wykorzystywały badane przedsiębiorstwa, ale również takie, które według oceny autorów, są przydatne i powinny być stosowane.

Tabela. 7. Propozycje wskaźników do oceny funkcjonowania maszyn i służb pomocniczych
Table 7. The indicators suggested for the evaluation of machines and support services.

Lp.	Kryterium	Proponowany wskaźnik	Informacje niezbędne do obliczenia wskaźnika	Sposób jego obliczania
1.	Informacyjno - operacyjne	procentowy udział działalności prewencyjnej	<ul style="list-style-type: none"> rodzaj prac realizowanych przez służby pomocnicze czas trwania prac 	$DP = \frac{\sum_1^m T_{DPm}}{\sum_1^n T_{Dn}} * 100\%$ <p>gdzie: T_{DPm} – rzeczywisty czas poświęcony na działalność prewencyjną (h) T_{Dn} – dostępny czas pracy (h)</p>
		wskaźnik terminowości realizacji prac – głównie planowanych przeglądów i remontów	<ul style="list-style-type: none"> terminy realizacji prac harmonogram realizacji prac 	$T_p = T_{rz} \pm 7dni$ <p>gdzie: T_p – planowany termin przeglądu T_{rz} – rzeczywisty termin realizacji wykonania przeglądu (Uwaga: Zamiast $\pm 7dni$ możliwym jest przyjęcie odmiennego przedziału)</p>
		średni czas naprawy (MTTR)	<ul style="list-style-type: none"> czas trwania naprawy liczba awarii 	$MTTR = \frac{\sum_1^n T_{WPn}}{K_A}$ <p>gdzie: T_{WPn} – czas trwania naprawy (h) K_A – liczba awarii</p>
2.	Ekonomiczne	wskaźnik kosztów realizacji prac związanych z utrzymaniem maszyn	<ul style="list-style-type: none"> koszty realizacji poszczególnych prac rodzaj poszczególnych prac 	$K_{RP} = \sum_1^n K_{Pn}$ <p>gdzie: K_{Pn} – koszty realizacji poszczególnych prac</p>
		sumaryczny i jednostkowy koszt utrzymania i wymiany części zamiennych	<ul style="list-style-type: none"> koszt związane z utrzymaniem, wymianą części zamiennych 	$K_{CZ} = \sum_1^n K_{Wn} + \sum_1^m K_{Um}$ <p>gdzie: K_{Wn} – sumaryczny koszt wymiany części zamiennych K_{Um} – sumaryczny koszt utrzymania części zamiennych</p>

Lp.	Kryterium	Proponowany wskaźnik	Informacje niezbędne do obliczenia wskaźnika	Sposób jego obliczania
3.	Techniczno-eksploatacyjne	wskaźnik wydajności maszyn	<ul style="list-style-type: none"> rodzaje postojów maszyn informacje dotyczące liczby oraz czasu trwania zarówno przestołów planowanych, jak również nieplanowanych czas wykorzystania maszyn w procesie produkcyjnym <p><u>Uwaga:</u> Informację mogą być zbierane i analizowane dla indywidualnych stanowisk lub dla grupy maszyn</p>	$W = \frac{\sum_1^n P_{Wn}}{T_P \times W_Z}$ <p>gdzie: P_{Wn} – produkcja wykonana (dobra + zła) (szt) T_P – dostępny czas pracy (h) W_Z – wydajność znamionowa (szt/h)</p>
		wskaźnik dostępności maszyn		$D = \frac{T_P - T_{PRZ}}{T_P}$ <p>gdzie: T_P – dostępny czas pracy (h) $T_{PRZ} = T_K + T_A + T_S + \dots + N$ T_{PRZ} – czas przestoju (h) T_K – czas konserwacji (h) T_A – czas awarii (h) T_S – czas przebrojenia (h) N – inne</p>
4.	Bezpieczeństwo	liczba wypadków przy obsłudze i użytkowaniu maszyn	<ul style="list-style-type: none"> informacje dotyczące poziomu bezpieczeństwa w procesie obsługi i użytkowania maszyn 	K_W – liczba wypadków K_Z – liczba zagrożeń <p>(<u>Uwaga:</u> Wartości tych wskaźników mogą być analizowane w rytmie tygodniowym, kwartalnym lub miesięcznym)</p>
		liczba powstałych zagrożeń przy obsłudze i użytkowaniu maszyn		

Zaproponowane wskaźniki pozwolą na uzyskanie informacji, które będą podstawą do podejmowania działań na rzecz poprawy funkcjonowania parku maszyn technologicznych w firmie. A to z kolei skutkuje poprawą jakości pracy maszyn, obniżeniem kosztów oraz poprawą bezpieczeństwa pracy.

5. Potrzeba dalszych badań

Badania tego typu warto rozszerzyć o małe i średnie przedsiębiorstwa, które z reguły posiadają mniejsze środki finansowe, które mogą przeznaczyć na doskonalenia funkcjonowania infrastruktury technicznej oraz na proces monitorowania efektywności maszyn.

Uzyskane wyniki badań mogłyby wskazać kierunki działań, które powinny być podejmowane dla mobilizacji firm w zakresie doskonalenia metod nadzoru oraz dla uświadomienia im korzyści i wpływu właściwego nadzoru nad maszynami na zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw funkcjonujących na coraz trudniejszym globalnym rynku.

Literatura:

- Ahire Ch. P, Relkar A.S. Correlating Failure Mode Effect Analyses (FMEA) with Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Procedia Engineering* 2012; 38: 3482–3486.
- Ahlmann H. From traditional practice to the new understanding: The significance of life cycle profit concept in the management of industrial enterprises. *Maintenance Management & Modelling conference Växjö, 2002.*

3. Antosz K, Stadnicka D. The results of the study concerning the identification of the activities realized in the management of the technical infrastructure in large enterprises. *Eksploatacja i niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16 (1): 112–119.
4. Antosz K, Stadnicka D. TPM in large enterprises: study results. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Industrial Science and Engineering*, October 2013; Issue 82, Barcelona, 3, str. 320-327. ICIESM 2013: International Conference on Industrial Engineering and Systems Management. Barcelona, Spain October 14-15, 2013.
5. Będkowski L. *Elementy diagnostyki technicznej*, Warszawa: WAT, 1992.
6. Bergman B, Klefsjö B. *Quality: from customer needs to customer satisfaction*. Lund: Studentlitteratur, 2010.
7. Chand G, Shirvani B. Implementation of TPM in cellular manufacture. *Journal of Materials Processing Technology* 2000; 103: 149-154.
8. Dal B, Tugwell P, Greatbanks R. Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement, a practical analysis. *International Journal of Operations and Production Management* 2000; 12: 1488–1502.
9. Downarowicz O. *Systemy eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki*. Radom: ITE, 2000.
10. Fredriksson G, Larsson H. An analysis of maintenance strategies and development of a model for strategy formulation - A case study. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2012.
11. Gulati R, Smith R. *Maintenance and Reliability Best Practices*. [Electronic] New York: Industrial Press, 2009.
12. Haviland R. *Niezawodność systemów technicznych*, Warszawa: WNT, 1968.
13. Hebda M, Mazur T. *Teoria eksploatacji pojazdów*, Warszawa: WKiŁ, 1980.
14. Kaźmierczak J. *Eksploatacja systemów technicznych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2000.
15. Kwiotkowska A. *Zagadnienia działalności remontowej w przedsiębiorstwie produkcyjnym w ujęciu logistycznym*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2006.
16. Legutko S. *Eksploatacja maszyn*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007.
17. Legutko S. Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2009; 42 (2): 13-16.
18. Ljungberg, Ö. Measurement of Overall Equipment Effectiveness as a Base for TPM Activities. *International Journal of Operations & Production Management* 1998; 2(18): 495-507.
19. Loska A. Eksploatacyjna ocena obiektów technicznych z zastosowaniem metod taksonomicznych. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2013; 15 (1): 1-8.

20. Madera D. Gospodarka remontowa jako kluczowa część procesu technologicznego, Komputerowe zintegrowane zarządzanie. Warszawa: WNT, 2005.
21. McKone K. E, Schroeder R. G, Cua K. O. Total productive maintenance: a contextual view. *Journal of Operations Management* 1999; 17: 123-144.
22. Mobley R. K. *An Introduction to Predictive Maintenance*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
23. Muchiria P, Pintelona L, Geldersa L, Martinb H. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics* 2011; 1(131): 295-302.
24. Muchiria P. N, Pintelona L, Martinb H, De Meyerc A. M. Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries. *International Journal of Production Research* 2010; 20 (48): 5905-5924.
25. Oechsner R, Pfeffer M, Pfitzner L, Binder H, Muller E, Vonderstrass T. From overall equipment efficiency(OEE) to overall Fab effectiveness (OFE). *Materials Science in Semiconductor Processing* 2003; 5: 333–339.
26. Oprzędkiewicz J. *Niezawodność maszyn*. Kielce: Mała Poligrafia Politechniki Świętokrzyskiej, 1981.
27. Piasecki S. *Optymalizacja systemów obsługi technicznej*. Warszawa :WNT, 1972.
28. PN-EN 15341:2007. *Obsługa – Kluczowe wskaźniki efektywności obsługi*. Warszawa: PKN, 2007.
29. Praca zbiorowa pod redakcją Migdalskiego J. *Poradnik niezawodności. Podstawy matematyczne*. Warszawa: Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego WEMA, 1982.
30. Rathenshwar S, Dhaval D. S, Ashish M. Milesh H. S. Overall equipment efficiency(OEE) Calculation – Automation through Hardware & Software Development. *Procedia Engineering* 51 (2013) 579 – 584.
31. Relkar A.S, Nandurkar K.N. Optimizing & Analysing Overall equipment efficiency(OEE) through Design of Experiments. *Procedia Engineering* 2012; 38: 2973-2980.
32. Sharma A, Yadava G.S, Deshmukh S.G. A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 2011; 1(17): 5-25.
33. Simões J.M, Gomes C.F, Yasin M.M. A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 2011; 2(17): 116-137.
34. Słotwiński B. *Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych*. Koszalin: WU WSI, 1992.
35. Smalko Z. *Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów*. Warszawa: Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 1987.

36. Stadnicka D, Antosz K, Ratnayake R.M.C. Development of an empirical formula for machine classification: Prioritization of maintenance tasks. *Safety Science* 2014, 63: 34–41.
37. Stadnicka D, Antosz K. Lean in Large Enterprises: Study Results. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2013; Paris: 82: 31-37.
38. The Productivity Press Development Team, OEE dla Operators: Overall Equipment Effectiveness. Wrocław: ProdPress, 2009.
39. Wang T. Y, Pan H. Ch. Improving the OEE and UPH data quality by Automated Data Collection for the semiconductor assembly industry. *Expert Systems with Applications* 2011; 38: 5764-5773.
40. Ważyńska – Fiok K, Jaźwiński J. *Niezawodność systemów technicznych*. Warszawa: PWN, 1990.
41. Wilczarska J. Efektywność i bezpieczeństwo użytkowania maszyn. *Inż. i Ap. Chem.* 2012; 2: 41-43.
42. Woropay M, Knopik L, Landowski B. *Modelowanie procesów eksploatacji w systemie transportowym*. Bydgoszcz-Radom: Biblioteka Problemów Eksploatacji. Instytut Technologii Eksploatacji, 2001.
43. Woropay M, Landowski B, Jaskulski Z. *Wybrane problemy eksploatacji i zarządzania systemami technicznymi*. Bydgoszcz: ATR Bydgoszcz, 2004.
44. Wróbel P. *Analiza funkcjonowania maszyn na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa, praca zrealizowana pod opieką K. Antosz*, Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2010.