

**Dr inż. Katarzyna Antosz**

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa  
Politechnika Rzeszowska  
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland  
E-mail: [katarzyna.antosz@prz.edu.pl](mailto:katarzyna.antosz@prz.edu.pl)

## **Utrzymanie ruchu – identyfikacja i analiza luki kompetencyjnej**

### **Maintenance - identification and analysis of the competency gap**

**Słowa kluczowe:** *utrzymanie ruchu, efektywność eksploatacji, kompetencje pracowników, luka kompetencyjna*

**Key words:** *maintenance management, exploitation efficiency, employees competence, competence gap*

**Streszczenie:** Efektywność działań utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie w dużej mierze zależy od zapewnienia odpowiednich zasobów do jego realizacji. Podstawowym czynnikiem, który ma wpływ na jakość realizacji tych działań są kompetentni pracownicy. Ich wiedza, umiejętności i zdolności reagowania na nieprzewidziane sytuacje, w dużej mierze decydują o sprawności funkcjonowania posiadanej infrastruktury technicznej w przedsiębiorstwie. W świetle perspektyw rozwoju koncepcji Przemysł 4.0, a tym samym rozwoju wysoce zautomatyzowanych systemów, wzrośnie zapotrzebowanie na wykwalifikowanych pracowników utrzymania ruchu. Dlatego ważnym zadaniem menedżerów przedsiębiorstw jest zapewnienie właściwego poziomu kompetencji pracowników utrzymania ruchu, poprzez ich odpowiednią ocenę i identyfikację luki kompetencyjnej, co w wielu przedsiębiorstwach nie jest realizowane. Celem przedstawionej pracy było opracowanie kompleksowego modelu oceny kompetencji pracowników utrzymania ruchu. Zastosowanie opracowanego modelu umożliwi identyfikację aktualnego poziomu kompetencji pracowników, identyfikację luki kompetencyjnej, jak również pozwoli ocenić skutki niezapewnienia wymaganego poziomu kompetencji. Dodatkowo w pracy przedstawiono wyniki badań, których celem było zidentyfikowanie rzeczywistych działań realizowanych w przedsiębiorstwach w zakresie oceny kompetencji pracowników służb utrzymania ruchu. Badania przeprowadzono w przedsiębiorstwach produkcyjnych, w różnych branżach przemysłu na określonym obszarze. Wyniki badań opracowano i przedstawiono w postaci graficznej.

**Abstract:** The efficiency of maintenance processes in an enterprise largely depends on ensuring adequate resources for its implementation. The main factor that affects the quality of these processes is competent employees. Their knowledge, skills and ability to respond to unexpected situations largely determine the efficiency of the functioning of the technical infrastructure in an enterprise. In the light of the prospects for the development of the Industry 4.0 concept, and, thus, for the development of highly automated systems, the demand for qualified maintenance employees will increase. Therefore, in order to ensure the right level of competency of maintenance workers, through the proper assessment and identification of their competency gap, is an important task of managers. In many enterprises this is not implemented. The aim of the presented work was to develop a comprehensive model of the competency assessment of maintenance workers. The implementation of the developed model enables the identification of the current level of employees' competencies and identification of the competency gap, as well as it allows to assess the effects of a failure to meet the required level of competency. Additionally, the results of the identification of the real activities taken by the surveyed enterprises concerning the competency assessment of maintenance services employees are presented in this article. The study was carried out in manufacturing enterprises in different industries on a specific area. The results were analysed and presented in a graphic form.

## 1. Wprowadzenie

Obecny działanie projektowania i instalowania systemów produkcyjnych ukierunkowany jest na wzrost ich efektywności, elastyczności i zamienności. W szczególności jest to widoczne w dobie rozwoju koncepcji Przemysł 4.0, który wymaga od przedsiębiorstw m.in. wdrożenia informatyzacji w obszarach produkcyjnych. Wymusza to stosowanie coraz bardziej skomplikowanych i złożonych rozwiązań m.in. technologicznych i organizacyjnych, związanych ze zbieraniem i analizą danych, rozwojem technologii, umiejętnością szybkiego reagowania na zmiany zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne, doskonaleniem obecnie realizowanych działań [9, 14, 18, 33].

Rozwój technologii oraz systemów produkcyjnych, wiąże się koniecznością wprowadzania zmian w organizacji i środowisku pracy [11]. Zagadnienie to jest szczególnie istotne z punktu widzenia zapewnienia właściwego poziomu działań utrzymania ruchu, gdzie skutkiem niewłaściwej ich realizacji są nagłe przerwy w procesie realizacji produkcji, czy usług, co często naraża przedsiębiorstwa na ogromne straty finansowe [27, 28].

W literaturze przedmiotu znaleźć można prace, które oceniają perspektywę funkcjonowania służb utrzymania ruchu w kontekście szybkiego rozwoju przemysłu. W wielu pracach podkreślana jest potrzeba zapewnienia odpowiedniego poziomu i rozwoju kompetencji pracowników w zakresie utrzymania maszyn. W pracy [25] dokonano szerokiej analizy perspektyw rozwoju utrzymania ruchu. Analizę podzielono na trzy główne obszary: podstawy utrzymania maszyn, technologiczne wyzwania na przyszłość i utrzymanie maszyn w świetle koncepcji 4.0. Przeprowadzona analiza pozwoliła zidentyfikować konkretne wyzwania takie jak: planowanie konserwacji na poziomie systemu, interoperacyjność, bezpieczeństwo IT, długoterminowe zarządzanie danymi w całym okresie eksploatacji. Reasumując, autor podkreślił, że nowa technologia może mieć wpływ na zmniejszenie ludzkich błędów, ale ważna jest współpraca między „człowiekiem, a maszyną” w działaniach eksploatacyjnych. Dodatkowo w pracach [12, 21] stwierdzono, że pracownicy utrzymania ruchu w najbliższej przyszłości będą potrzebować nowych umiejętności, które pozwolą na skuteczne wykorzystanie nowoczesnych technologii oraz właściwą realizację procesu eksploatacji wysoce zautomatyzowanymi i złożonymi systemami. Wymagać to będzie odpowiedniej edukacji i szkoleń na wielu poziomach.

W ramach pracy [3] opracowano scenariusze funkcjonowania przyszłego utrzymania ruchu w realizacji produkcji w dobie koncepcji 4.0. Studium planowania scenariuszy oparto na metodzie delfickiej, badając 34 prognozy dotyczące potencjalnych zmian w środowisku wewnętrznym i zewnętrznym organizacji utrzymania ruchu. Wśród analizowanych prognoz znalazła się również potrzeba rozwoju kompetencji pracowników utrzymania ruchu. Autor podkreślił, że aby nadążyć za rozwojem technologicznym należy zapewnić niezbędne kompetencje pracowników w zakresie utrzymania ruchu. Określił wysokie prawdopodobieństwo konieczności zarządzania przyszłymi kompetencjami, nowymi wymaganiami dotyczącymi kompetencji, edukacji i szkoleń w związku z możliwością zmiany profilu kompetencji. Zaakcentował, że kierownictwo powinno być świadome, iż niezapewnienie właściwego poziomu kompetencji związane jest z nieefektywnym procesem utrzymania maszyn, co zwiększa wrażliwość na zakłócenia, obniża reakcję na awarie, a tym samym obniża konkurencyjność przedsiębiorstwa.

Istnieje, zatem potrzeba kształcenia i szkolenia pracowników, jak również opracowywanie nowych innowacyjnych metod zarządzania kompetencjami takie jak: np. modeli kompetencji, ocena i monitorowanie umiejętności, stosowanie najlepszych praktyk bazujących na doświadczeniu i wykorzystanie narzędzi IT.

## 2. Rola i ocena kompetencji pracownika

Kompetencja jest to połączenie trzech elementów: wiedzy, umiejętności i postawy. Wyróżniają one daną osobę, która w sprawny, skuteczny, odpowiadający oczekiwaniom jakościowym sposób realizuje przydzielone mu zadania. Do oceny kompetencji stosowanych jest wiele modeli, które mogą być klasyfikowane w następujących pięciu kategoriach [13]: ilościowe pomiary (takie jak testy, kwestionariusze, wywiady lub systematyczne obserwacje), opisowe, analizy porównawcze, metody symulacyjne, metody badawcze odnoszące się bezpośrednio do osoby i jego środowiska pracy. Modele kompetencyjne są opracowywane w celu oceny zbadania poziomu i zakresu posiadanych kompetencji oraz dają możliwość identyfikacji obszarów, w których te kompetencje należy uzupełnić [21]. Jak podkreślono w pracach [6, 7] ocena kompetencji jest procesem zdobywania dowodów i oceny poziomu kompetencji wśród osób wykonujących zadania w oparciu o określone standardy. Właściwy model kompetencji, dla określonego obszaru, to taki, który pozwala określić poziomy wszystkich potrzebnych kompetencji i dodatkowo jednoznacznie wskazać obszary do doskonalenia. Model taki powinien być dokładny, wiarygodny, oceniać nie tylko poziom wiedzy, ale również umiejętności, zdolności i wydajność pracy pracownika. Jest to szczególnie ważne do oceny kompetencji technicznych np. w obszarze utrzymania maszyn, wśród których należy ocenić wiedzę specjalistyczną, wiedzę o działaniach, umiejętności oraz zdolność do samodzielnego podejmowania decyzji [22].

Proces rozwoju i oceny kompetencji jest czasochłonny i kosztowny. Dodatkowo delegowanie pracowników do dedykowanego szkolenia nie zawsze jest możliwe. Problem ten jest szczególnie istotny dla małych i średnich przedsiębiorstw, dlatego ważne jest, aby wiedzieć, jakie kompetencje są dostępne lub muszą być rozwijane [1].

W literaturze przedmiotu problem oceny kompetencji w różnych obszarach jest szeroko poruszany np. w obszarach produkcyjnych [2, 10, 19, 32]. W zakresie tematu kompetencji w utrzymaniu ruchu znaleziono tylko nieliczne przykłady prac poruszających ten temat.

W pracy [29] autorzy dokonują przeglądu oceny umiejętności w zakresie utrzymania ruchu. Autorzy poprzez ocenę określają mocne i słabe strony danego pracownika lub danej grupy pracowników. Do oceny proponują wykorzystanie pytań ankietowych. Analiza uzyskanych w ten sposób wyników oceny pozwala zidentyfikować lukę, określić umiejętności potrzebne do skutecznego wykonywania pracy oraz określić plan szkoleniowy. Prace [5, 17] przedstawiają zastosowanie macierzy kompetencji do oceny poziomu dla pracowników utrzymania ruchu, jak również dla działań realizowanych w zakresie autonomicznego utrzymania maszyn w produktywnym Utrzymaniu Maszyn TPM dla operatorów.

W literaturze poruszano zagadnienia oceny i podnoszenia kompetencji pracowników obsługi technicznej i realizacji działań utrzymania samolotów. W pracy [4] zaproponowano metodę szkoleń elearningowych w podnoszeniu kwalifikacji pracowników obsługi technicznej. Dodatkowo w pracy [30] zaprezentowano problem doboru pracowników z odpowiednimi kwalifikacjami do realizacji poszczególnych zadań związanych z procesem remontu samolotów.

W analizowanych pracach brak jest jednak kompleksowego modelu oceny kompetencji pracowników w obszarze utrzymania ruchu. Modelu, który pozwoliłby oceniać kompetencje na kilku poziomach dojrzałości i szczegółowości. Dodatkowo perspektywy rozwoju obszaru utrzymania ruchu wskazują na potrzebę zwrócenia szczególnej uwagi na to zagadnienie.

W związku z powyższym w niniejszym artykule podjęto problem zapewnienia odpowiedniego poziomu i oceny kompetencji w procesie utrzymania ruchu.

### **3. Zakres oraz metodyka przeprowadzonych badań**

Zaprezentowaną pracę zrealizowano w dwóch etapach. W ramach etapu pierwszego przeprowadzono badania dotyczące identyfikacji działań realizowanych przez przedsiębiorstwa w zakresie oceny kompetencji pracowników służb utrzymania ruchu (UR) w wybranych przedsiębiorstwach województwa podkarpackiego. Etap ten zrealizowano w następujących krokach:

1. Określenie zakresu i obszaru badań.
2. Opracowanie arkusza badawczego.
3. Wybór przedsiębiorstw do badań.
4. Przeprowadzenie badań i analiza wyników.

W ramach etapu drugiego zaproponowano metodykę oceny kompetencji pracowników służb utrzymania ruchu oraz dokonano szczegółowej analizy i możliwości doskonalenia oceny kompetencji pracowników losowo wybranego przedsiębiorstwa z wykorzystaniem proponowanego modelu. Drugi etap zrealizowano następująco: opracowanie trzypoziomowej metodyki oceny kompetencji pracowników UR, wybór przedsiębiorstwa, przeprowadzenie badań, analiza uzyskanych wyników, propozycja zmian. Szczegółową analizę uzyskanych wyników przedstawiono w dalszej części pracy.

## **4. Wyniki badań**

### **4.1. Etap pierwszy badań**

#### **4.1.1 Obszar i realizacja badań**

W ramach pierwszego etapu przeprowadzono badania, które dotyczyły identyfikacji rzeczywistych działań realizowanych przez analizowane przedsiębiorstwa w zakresie oceny kompetencji pracowników służb utrzymania ruchu (SUR). Przeanalizowano następujące zagadnienia: Czy firmy identyfikują potrzebne kompetencje pracowników UR? Czy dokonują oceny ich spełnienia przez pracowników UR? Czy podejmują działania w celu ich poszerzenia i uzupełnienia?. Badania dotyczyły przedsiębiorstw produkcyjnych i przeprowadzono je na wyodrębnionym geograficznie obszarze (województwo podkarpackie) (Polska). W ramach realizowanych badań analizie poddano obszary, które bezpośrednio wynikają z prawidłowo realizowanego procesu oceny kompetencji. Proces ten wg podejścia zawartego w pracy [26] powinien opierać się na następujących etapach:

1. Identyfikacja wymagań dla pracowników służb utrzymania ruchu.
2. Określenie pożądanego poziomu kwalifikacji.
3. Przeprowadzenie oceny kompetycji, wg określonych wymagań, z wykorzystaniem określonej metody (np. wywiadu, obserwacji).
4. Analiza uzyskanych wyników i podjęcie dalszych działań.

Badania obejmowały następujące zagadnienia:

- określenie wymagań kompetencyjnych dla poszczególnych stanowisk utrzymania ruchu,
- analizę kompetencji pracowników – częstotliwość i metody,
- uzupełnienie/poszerzenie kompetencji pracowników w zakresie szkoleń podstawowych i specjalistycznych,
- opracowanie i funkcjonowanie instrukcji pracy na stanowiskach utrzymania ruchu.

Do badań zaproszono 50 przedsiębiorstw. Obiektem badań mogło być przedsiębiorstwo produkcyjne, posiadające i funkcjonujące na jego terenie służby utrzymania ruchu niezależnie od sposobu ich organizacji oraz wdrażające założenia filozofii Lean Manufacturing.

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 pracownicy służb utrzymania ruchu. Badania przeprowadzone były w formie koniunktywnych pytań zamkniętych. Dla każdego pytania określono stopień spełniania w skali od 0 – 10. Dodatkowo każdy respondent mógł dodać swoje uwagi oraz spostrzeżenia w zakresie ocen.

#### 4.1.2. Struktura badanych przedsiębiorstw

Przedsiębiorstwa, które uczestniczyły w badaniach klasyfikowano według następujących kryteriów: branża, typ produkcji, typ własności przemysłowej (rodzaj kapitału), sytuacja firmy. W tabeli 1 przedstawiono strukturę badanych przedsiębiorstw.

Tabela 1. Badane przedsiębiorstwa - struktura.

Table 1. The studied enterprises structure.

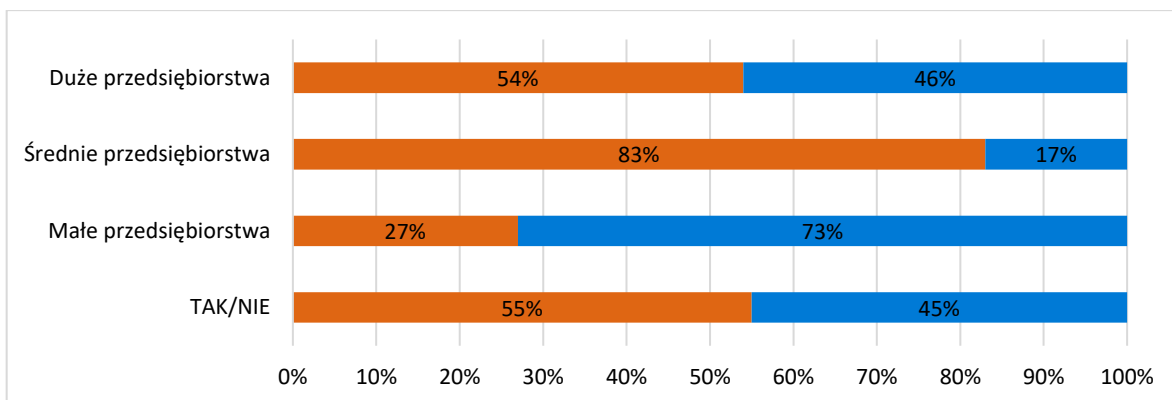
Kryterium	Struktura badanych przedsiębiorstw					
	Małe i mikro		Średnie		Duże	
Wielkość	16%		21%		63%	
Branża	Lotnicza	Motoryzacyjna	Obróbka metali i hutnicza	Drzewna i papiernicza	Chemiczna	Inna
	45%	20%	10%	5%	5%	15%
Typ produkcji	Jednostkowa	Małoseryjna	Średnioseryjna	Wielkoseryjna	Masowa	
	18%	9%	32%	32%	9%	
Rodzaj kapitału	Kapitał całkowicie polski		Większościowy kapitał polski		Większościowy kapitał zagraniczny	
	26%		11%		63%	
Sytuacja firmy	Trudna		Stabilna		Rozwojowa	
	11%		28%		61%	

45% (najwięcej) to przedsiębiorstwa z branży lotniczej, następnie 20% to motoryzacja. Pozostałe branże to m.in. obróbka metali i hutnicza -10%, chemiczna, drzewna i papiernicza po 5% oraz inna (branża poligraficzna i elektroniczna) 15%. Wśród analizowanych przedsiębiorstw dominowała produkcja wielkoseryjna i średnioseryjna – 32%.

63% z nich posiadała większościowy kapitał zagraniczny, 26% stanowiły firmy z kapitałem polskim, tylko 11% z nich posiadało większościowy kapitał krajowy. Większość z badanych firm, bo 63% ocenia swoją sytuację, jako rozwojową, a 28% przedsiębiorstw jako stabilną. 11% oceniła swoją sytuację jako trudną.

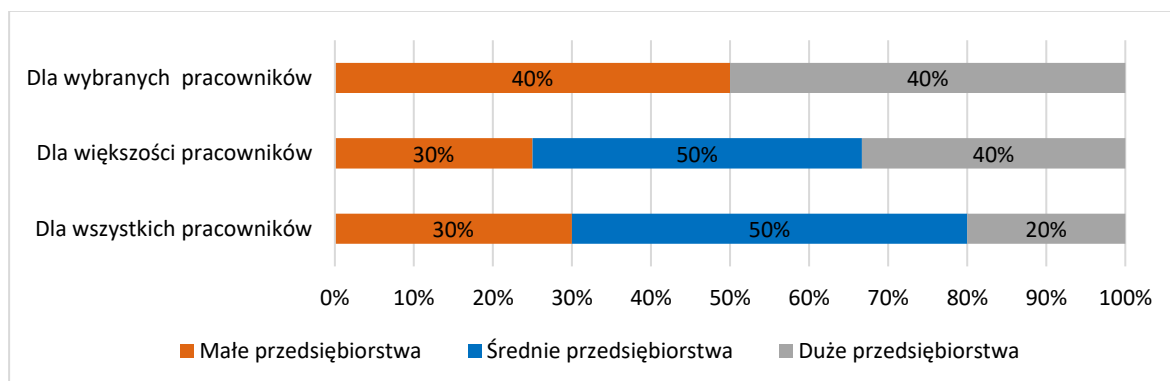
#### 4.1.3. Uzyskane wyniki

Zgodnie z prawidłowo realizowanym procesem oceny kompetencji pracowników pierwszym etapem jest identyfikacja wszystkich wymagań. Wymagania te są bezpośrednio związane z rodzajem i zakresem prac realizowanych przez pracowników w poszczególnych jednostkach utrzymania ruchu, ale wynika to również ze sposobu organizacji działów UR w przedsiębiorstwie. W prowadzonych badaniach sprawdzono, jaki procent analizowanych przedsiębiorstw identyfikuje kompetencje pracowników UR (Rys.1.).



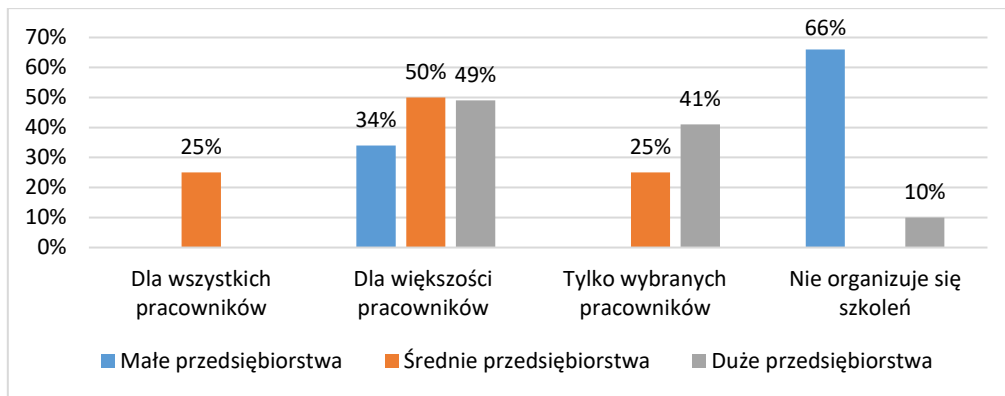
Rys. 1. Identyfikacja kompetencji pracowników UR dla różnych wielkości przedsiębiorstw.  
 Fig. 1. Identification of competencies in maintenance management in different size companies.

Badania wykazały, że 55% analizowanych przedsiębiorstw określa kompetencje pracowników UR. Najwięcej, bo aż 83% kompetencje identyfikują przedsiębiorstwa średniej wielkości, najmniej małe, bo tylko w 27%. Kompetencje dla wszystkich pracowników identyfikuje 50% przedsiębiorstw średnich, 30% dużych i tylko 20% małych (Rys.2). Identyfikację kompetencji dla wybranych pracowników realizują przedsiębiorstwa małe i duże po 40%. Dla większości pracowników kompetencje najczęściej identyfikują przedsiębiorstwa średnie, potem duże i małe. Odpowiednio 50, 40 i 30%.



Rys. 2. Zakres oceny kompetencji pracowników.  
 Fig. 2. The range of competency assessment.

Kolejnym ważnym etapem procesu oceny kompetencji jest stopień spełnienia zidentyfikowanych wymagań przez pracowników utrzymania ruchu. Okresową ocenę kompetencji pracowników wśród analizowanych przedsiębiorstw realizuje aż 84%. Najwięcej, bo prawie wszystkie analizowane przedsiębiorstwa średnie, 90% duże, tylko 30% przedsiębiorstwa małe. Do analizy kompetencji najczęściej wykorzystywana jest macierz kompetencji (duże i średnie przedsiębiorstwa) oraz arkusz oceny pracownika z ustalonymi kryteriami oceny. Analiza taka realizowana jest corocznie lub co dwa lata. Około 75% firm po zrealizowanej ocenie podejmuje działania mające na celu poszerzenie i uzupełnienie kompetencji w postaci dodatkowych szkoleń. Są to zarówno szkolenia wewnętrzne, prowadzone przez specjalistów przedsiębiorstwa i zewnętrzne, prowadzone przez firmy szkoleniowe. Szczegółową analizę uzyskanych wyników przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Doskonalenie kompetencji pracowników.

Fig. 3. Improving worker's competencies.

Wyniki przedstawione na rys. 3 wskazują, że tylko 25% analizowanych średnich firm doskonalili kompetencje wszystkich pracowników. Warto jednak zauważyć, że, mimo iż tak niewiele firm ocenia kompetencje swoich pracowników, bardzo wiele z nich podejmuje działania w celu ich doskonalenia. Najgorzej sytuacja przedstawia się w małych przedsiębiorstwach.

#### 4.1.4. Dyskusja i analiza danych po pierwszym etapie badań

Przeprowadzone badania wskazują, że 45% przedsiębiorstw nie ocenia kompetencji swoich pracowników realizujących proces utrzymania. Brak oceny kompetencji znacznie utrudnia analizę i możliwości wykrywania tzw. braków kadrowych czyli luk kompetencyjnych. Brak pracowników z odpowiednimi kompetencjami może wpływać na efektywność maszyn, która uzależniona jest m.in. od jakości realizowanych działań obsługowo - naprawczych. Z przeprowadzonych badań wynika również, że prawie połowa z przebadanych firm nie identyfikuje kompetencji pracowników utrzymania ruchu. Wyniki badań pokazują, że warto to zagadnienie badać i uświadamiać przedsiębiorstwom, jak ważne dla realizacji produkcji jest efektywność maszyn, co jest również efektem sprawnie funkcjonujących i kompetentnych służb utrzymania ruchu. Przedstawione badania wskazują, że najgorzej sytuacja przedstawia się w małym przedsiębiorstwach. Ponieważ, warto szczególnie tym małym przedsiębiorstwom pokazać, w jaki sposób te kompetencje oceniać, w dalszej części artykułu opracowano metodykę oceny kompetencji pracowników.

### 5. Etap drugi badań

#### 5.1. Metodyka oceny pracowników w zakresie utrzymania ruchu.

Etap drugi badań dotyczył opracowania metodyki oceny kompetencji pracowników utrzymania ruchu (Rys.4) oraz jej weryfikacji w przedsiębiorstwie. Opracowana metodyka składa się z trzech poziomów:

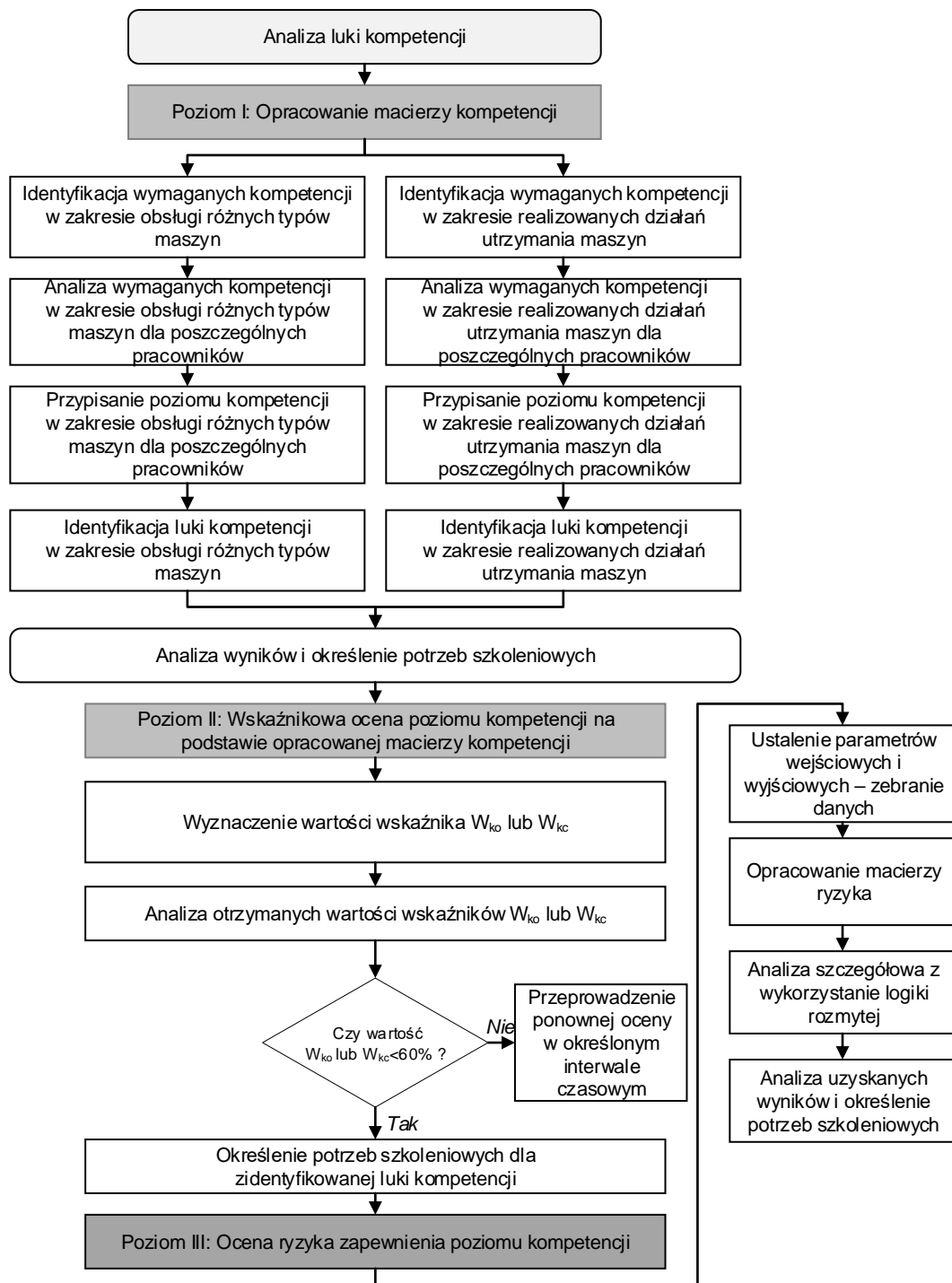
I – Opracowanie macierzy kompetencji.

II – Wskaźnikowa ocena poziomu kompetencji.

III – Ocena ryzyka zapewnienia poziomu kompetencji.

Na każdym poziomie metodyka wykorzystuje inną, o zróżnicowanym stopniu skomplikowania metodę oceny kompetencji pracowników utrzymania ruchu począwszy od metody najprostszej - macierzy kompetencji, metody wskaźnikowej do zastosowania logiki rozmytej. Rozwiązanie takie pozwoli kompleksowo połączyć metody już stosowane w tym obszarze [17] oraz w ocenie kompetencji pracowników produkcyjnych [2] poszerzając o metody inteligentne, co stanowi jednoznaczne, spójne nowe rozwiązanie. Opracowany model umożliwia identyfikację aktualnego poziomu kompetencji pracowników, identyfikację luki kompetencyjnej, jak

również umożliwi ocenę skutków niezapewnienia wymaganego poziomu kompetencji. Przy opracowaniu metodyki wzięto pod uwagę wymagania stawiane modelom oceny kompetencji przedstawione w rozdziale 2.



Rys. 4. Metodyka oceny kompetencji pracowników.

Fig. 4. Methodology for the assessment of maintenance workers' competency.

Proponowana metodyka została zastosowana do analizy i możliwości doskonalenia oceny kompetencji pracowników zajmujących się utrzymaniem ruchu w wybranym przedsiębiorstwie.



## 5.2. Działanie nadzoru nad maszynami w analizowanym przedsiębiorstwie - opis problemu.

Pierwszy etap badań wskazał, że proces oceny kompetencji pracowników służb utrzymania ruchu najgorzej jest realizowany w małych przedsiębiorstwach, dlatego takiej wielkości firmę wybrano do dalszej analizy. Badane przedsiębiorstwo produkcyjne funkcjonuje w branży metalowej i hutniczej na terenie województwa podkarpackiego. Do analizy wykorzystano dane z badań własnych oraz dane z pracy [20]. Analizowana firma zajmuje się produkcją części maszyn, a także przygotowywaniem konstrukcji stalowych. Dodatkowo zajmuje się dystrybucją wyrobów hutniczych oraz gazów technicznych. Innowacyjne produkty, terminowa realizacja zleceń, personel o wysokich kwalifikacjach, sprawna obsługa techniczna, wysoka, jakość, a także indywidualne podejście do potrzeb klientów sprawiły, że firma od wielu lat cieszy się dużym zainteresowaniem i zaufaniem odbiorców.

W analizowanym przedsiębiorstwie nadzorowanych jest kilkanaście maszyn. Są to zarówno maszyny konwencjonalne, jak i maszyny sterowane numerycznie. W większości małych przedsiębiorstw, ze względu na małą liczbę maszyn, służby utrzymania ruchu funkcjonują jako stanowisko jednoosobowe. W związku z tym za wiele czynności związanych z bieżącą realizacją czynności autonomicznych na maszynach, czynności obsługowych odpowiedzialni są operatorzy maszyn. Podobnie jest w analizowanym przedsiębiorstwie. Główny nadzór na maszynami sprawuje specjalista ds. utrzymania ruchu, natomiast bieżące czynności obsługowe na maszynach realizowane są przez operatorów.

Nadzór nad parkiem maszyn prowadzi się poprzez przeglądy wykonywane w okresie gwarancyjnym, ocenę stanu maszyny przed rozpoczęciem pracy przez operatora oraz ciągle monitorowanie ich stanu technicznego. Realizacja działań w obszarze nadzoru maszyn przebiega w sposób samodzielny i częściowo dzięki firmom zewnętrznym. W zakresie nadzoru maszyn zbiera się informacje związane z ich obciążeniem i czasem oczekiwania na serwis. Za zbieranie tych danych odpowiada operator i pracownik kontroli jakości. W przedsiębiorstwie rejestruje się przestoje związane z planowanymi przeglądami, nie rejestruje się natomiast informacji dotyczących awarii maszyn. Działania podejmowane w celu zapobiegania powstawania nieplanowanych przestojów to: realizacja obsługi autonomicznej i prewencyjnej, modernizacja maszyn, a także zlecenie firmom zewnętrznym części działań obsługowo - naprawczych.

Wyzwaniem dla wybranej firmy jest określenie i analiza potrzeb kompetencyjnych nie tylko w zakresie obsługi bieżącej posiadanych typów maszyn, ale również w zakresie obsługi prewencyjnej. Jest to również o tyle istotne, że posiadane maszyny odgrywają mniejszą, bądź większą rolę w procesie produkcyjnym. Niewłaściwa realizacja procesu obsługowo – prewencyjnego na stanowiskach, szczególnie maszynach będących wąskimi gardłami, powoduje nieoczekiwane awarie, a w rezultacie opóźnienia realizacji zamówień i konsekwencji finansowo- wizerunkowych dla firmy.

W tym kontekście ważne jest, aby pracownicy obsługujący maszyny i realizujący podstawowe działania prewencyjne posiadali do tego odpowiednie kwalifikacje. W związku z tym konieczna jest ocena kompetencji pracowników zajmujących się utrzymaniem ruchu. Ponadto ważne jest posiadanie formalnych podejść do przeprowadzenia analizy kompetencji w zakresie utrzymania maszyn i możliwości określenia luki kompetencyjnej w celu zminimalizowania ocen *ad hoc*. Brak formalizacji takiego procesu powoduje, że decyzje mogą być niewłaściwe, ze względu na to, że są one podjęte nie tylko w oparciu o istniejące dane i informacje, na podstawie wiedzy, doświadczenia, ale także intuicji lub zamiarów osoby dokonującej oceny.

## 5.3. Weryfikacja metodyki oceny kompetencji pracowników w wybranym przedsiębiorstwie

### 5.3.1. Poziom I: Opracowanie macierzy kompetencji

Macierz kompetencji systematyzuje poziom wiedzy oraz umiejętności, jakie posiada pracownik w określonym obszarze. Jest ona z powodzeniem stosowana do zarządzania procesem standaryzacji stanowisk produkcyjnych, jak również dla działań realizowanych w zakresie autonomicznego utrzymania maszyn w Produktywnym Utrzymaniu Maszyn TPM dla operatorów [2, 5, 17]. Do opracowania macierzy kompetencji należy zrealizować następujące kroki:

#### 1. Identyfikacja wymagań w zakresie utrzymania ruchu.

Etap ten obejmuje identyfikację wymaganych kompetencji dla zidentyfikowanych obszarów. Powszechnie macierz kompetencji opracowuje się dla realizowanych działań. Jednak na podstawie doświadczenia autora z przedsiębiorstw, często okazuje się, że pracownicy utrzymania ruchu przypisani są nie tylko do określonych działań realizowanych w nadzorowaniu maszyn, ale również określonych typów maszyn. Dlatego w przedstawionym modelu proponuje się, aby kompetencję pracowników określać w dwóch obszarach: dla poszczególnych typów nadzorowanych maszyn oraz zidentyfikowanych działań.

#### 2. Identyfikacja kompetencji dla poszczególnych pracowników.






Etap ten wymaga oceny poziomu spełnienia wymaganych kompetencji dla każdego pracownika. Określenie kompetencji powinno być zrealizowane dla poszczególnych pracowników wg ustalonych wymagań oraz obszarów (typów maszyn oraz działań) zidentyfikowanych w kroku 1.

#### 3. Przypisanie poziomów kompetencji.

Poziomy kompetencji określają poziom wiedzy i umiejętności w analizowanym obszarze. Proponowane poziomy kompetencji opracowane na podstawie prac [17, 20] przedstawiono w tabeli 2. Poziomy te można przedstawić graficznie w postaci określonych symboli lub liczbowo. Dla każdego pracownika należy przypisać poziom kompetencji zgodnie z zidentyfikowanymi kompetencjami w kroku 2.

Tabela. 2. Poziomy kompetencji pracowników.

Table 2. Levels of workers' competencies.

Poziom	Symbol	Charakterystyka
Poziom 4	 4	Pracownik może szkolić.
Poziom 3	 3	Pracownik w pełni samodzielny do wykonywania określonych zadań.
Poziom 2	 2	Pracownik posiada wiedzę i doskonali swoje umiejętności, wymaga jednak nadzoru.
Poziom 1	 1	Pracownik w trakcie nabywania wiedzy i umiejętności.
Poziom 0	 0	Pracownik nie posiadający wiedzy i umiejętności do wykonywania określonych zadań.

#### 4. Analiza wyników i określenie potrzeb szkoleniowych.

Na podstawie uzyskanych wyników należy opracować w formie graficznej macierz kompetencji. Opracowana macierz kompetencji pozwoli zidentyfikować obszary o niskim poziomie kompetencji (lukę kompetencyjną). Ocenie należy poddać każdy zidentyfikowany obszar. W pierwszej kolejności szkolenia wymagane są w obszarze, w którym zidentyfikowano najwięcej poziomów kompetencji z wartością 0 oraz 1.

### 5.3.2. Opracowanie macierzy kompetencji w analizowanym przedsiębiorstwie

W analizowanym przedsiębiorstwie punktem wyjściowym w sporządzaniu macierzy było ustalenie najistotniejszych umiejętności, wiedzy, postaw pracowników, zarówno w obszarze obsługiwanych maszyn oraz realizowanych działań w zakresie obsługi autonomicznej i prewencyjnej. Wymagane kompetencje zidentyfikowano w dwóch obszarach: obsługiwane maszyny oraz realizowane działania w zakresie utrzymania maszyn. W obszarze obsługiwane maszyn zidentyfikowano cztery podstawowe typy maszyn. Wśród realizowanych działań wyszczególniono sześć podstawowych: wymiana i uzupełnienie mediów, przeglądy, usuwanie podstawowych awarii, konserwacja, wypełnianie kart usterek i napraw oraz pomiar drgań. Rodzaj zidentyfikowanych działań wynika ze specyfiki realizowanych w przedsiębiorstwie prac. Następnie zidentyfikowano kompetencje dla poszczególnych pracowników oraz ustalono ich poziomy zgodnie z tabelą 2. Na podstawie zebranych informacji opracowano macierz kompetencji – tabela 3.

Tab. 3. Macierz kompetencji pracowników.

Tab. 3. A competency matrix of workers.

Pracownicy	Maszyny				Działania					
	Obsługa maszyn typ 1	Obsługa maszyn typ 2	Obsługa maszyn typ 3	Obsługa maszyn typ 4	Wymiana i uzupełnianie mediów	Przegląd	Reakcja na podstawowe awarie	Konserwacja	Wypełnianie kart napraw i usterek	Pomiar drgań
Pracownik 1	2	3	3	3	3	3	4	1	4	4
Pracownik 2	4	1	3	0	2	3	0	2	3	4
Pracownik 3	1	4	3	0	3	4	0	2	2	0
Pracownik 4	0	2	4	2	4	3	3	3	1	0
Pracownik 5	0	2	0	3	0	3	1	3	0	0
Pracownik 6	3	1	4	4	0	0	3	4	0	4

Aby można było ocenić poziom kompetencji ocenianych pracowników należy określić ilościowo ilu pracowników w danym obszarze posiada określony poziom kompetencji. W tabeli 4 przedstawiono taką analizę dla danego przedsiębiorstwa.

Tab. 4. Wyniki oceny kompetencji.

Tab. 4. Results of a competency assessment.

Poziomy kompetencji	Maszyny				Działania					
	Obsługa maszyn typ 1	Obsługa maszyn typ 2	Obsługa maszyn typ 3	Obsługa maszyn typ 4	Wymiana i uzupełnianie mediów	Przegląd	Reakcja na podstawowe awarie	Konserwacja	Wypełnianie kart napraw i usterek	Pomiar drgań
4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3
3	1	1	3	2	2	4	2	2	1	0
2	1	2	0	1	1	0	0	2	1	0
1	1	2	0	0	0	0	1	1	1	0
0	2	1	0	2	2	0	2	0	2	3

W pierwszej kolejności szkolenia wymaga obszar, w który zidentyfikowano najwięcej poziomów kompetencji: w pierwszej kolejności z wartością 0, a potem z wartością 1.

W analizowanym przedsiębiorstwie jest to działanie – pomiar drgań, wymiana i uzupełnianie mediów, reakcja na podstawowe awarie, wypełnianie kart usterek i napraw oraz obsługa maszyn typ 1 i 4. Dla tych obszarów należy opracować plan szkoleń.

### 5.3.3. Poziom II: Wskaźnikowa ocena kompetencji

Analizę macierzy kompetencji łatwo jest zrealizować, gdy ocenianych jest tylko kilku pracowników. Przy większej liczbie pracowników, taka analiza jest znacznie utrudniona, ze względu na dużą liczbę danych. W oparciu o pracę [2], proponuje się, aby wprowadzić wskaźnikową ocenę kompetencji pracowników utrzymania ruchu jako:

1. Całościowy wskaźnik oceny kompetencji dla poszczególnego pracownika ( $W_{kc}$ ).
2. Wskaźnik kompetencji pracowników w wybranym obszarze (wybrane jedno działanie lub jeden obsługiwany typ maszyn) ( $W_{ko}$ ).

Całościowy wskaźnik oceny kompetencji pracownika ( $W_{kc}$ ) określi poziom kompetencji każdego z pracowników dla wszystkich realizowanych działań, zarówno w obsłudze maszyn, jak również ich nadzorowania. Wskaźnik należy wyznaczyć ze wzoru (1).

$$W_{kc} = \frac{(\sum D_0 \cdot 0) + \sum D_1 \cdot 1 + \sum D_2 \cdot 2 + \sum D_3 \cdot 3 + \sum D_4 \cdot 4}{\sum D_n \cdot 4} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$W_{kc}$ - wskaźnik kompetencji jednego pracownika,

$D_0$ - sumaryczna liczba działań, dla których pracownik posiada zerowy poziom kompetencji (parametr  $D_0$  został ujęty w nawiasie, ponieważ nie ma konieczności zapisywania go we wzorze, należy jednak pamiętać, że ma on wpływ na parametr  $D_n$ , a tym samym, również na wynik wskaźnika  $W_{kc}$ );

$D_1$ - sumaryczna liczba działań, dla których pracownik posiada pierwszy poziom kompetencji;

$D_2$ - sumaryczna liczba działań, dla których pracownik posiada drugi poziom kompetencji,

$D_3$ - sumaryczna liczba działań, dla których pracownik posiada trzeci poziom kompetencji,

$D_4$ - sumaryczna liczba działań, dla których pracownik posiada czwarty poziom kompetencji,

$D_n$ - liczba wszystkich wyszczególnionych działań ogółem.

Założono, że wartość wskaźnika  $W_{kc}$  musi być większa od 60 ( $W_{kc} > 60\%$ ). Taką wartość graniczną przyjęto bazując na doświadczeniu autora oraz wymagań analizowanego przedsiębiorstwa.

Korzystając z macierzy (Tab. 3) określono liczbę działań, dla których pracownik posiada odpowiedni poziom kompetencji. Przykładowo: pracownik 1 nie posiada kompetencji na poziomie 0, posiada 1 kompetencję na poziomie 1 i 2 oraz 5 kompetencji na poziomie 3 i cztery kompetencje na poziomie 4. Korzystając ze wzoru (1) wyznaczono wartość wskaźnika kompetencji  $W_{kc}$  dla poszczególnych pracowników w analizowanym przedsiębiorstwie (Tab. 5).

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że tylko 2 z 6 pracowników spełnia wymagania kompetencyjne -  $W_{kc} > 60\%$ . Pozostali pracownicy muszą przejść dodatkowe szkolenia. Aby dokładnie określić zakres tych szkoleń należy przeprowadzić analizę kompetencji w wybranym obszarze (wybrane jedno działanie lub jeden obsługiwany typ maszyn) ( $W_{ko}$ ).

Tab. 5. Wartości wskaźnika  $W_{kc}$  w analizowanym przedsiębiorstwie.

Tab. 5. The values of  $W_{kc}$  indicator in the analysed company.

Pracownik	Liczba działań, dla których pracownik posiada odpowiedni poziom kompetencji					Wskaźnik kompetencji $W_{kc}$ [%]
	⊕ 0	⊕ 1	⊕ 2	⊕ 3	⊕ 4	
Pracownik 1	0	1	1	5	3	75
Pracownik 2	2	1	2	3	2	55
Pracownik 3	3	1	2	2	2	47
Pracownik 4	2	1	2	3	2	62
Pracownik 5	5	1	1	3	0	32
Pracownik 6	3	1	0	2	4	57

Wskaźnik poziomu kompetencji pracowników (zespołu UR) ogółem w stosunku do danego działania należy wyznaczyć ze wzoru (2).

$$W_{ko} = \frac{(\sum P_0 \cdot 0) + \sum P_1 \cdot 1 + \sum P_2 \cdot 2 + \sum P_3 \cdot 3 + \sum P_4 \cdot 4}{\sum P_n \cdot 4} \cdot 100\% \quad (2)$$

Gdzie:

$W_{ko}$ - wskaźnik kompetencji zespołu w zakresie danego działania,

$P_0$ - liczba pracowników z zerowym poziomem kompetencji (parametr  $P_0$  zapisano w nawiasie, ponieważ nie ma konieczności zapisywania go we wzorze, należy jednak pamiętać, że ma on wpływ na parametr  $P_n$ , a tym samym, również na wynik wskaźnika  $W_{ko}$ ),

$P_1$ - liczba pracowników z pierwszym poziomem kompetencji,

$P_2$ - liczba pracowników z drugim poziomem kompetencji,

$P_3$ - liczba pracowników z trzecim poziomem kompetencji,

$P_4$ - liczba pracowników z czwartym poziomem kompetencji,

$P_n$ - sumaryczna liczba pracowników (zespołu UR) podlegających ocenie.

Również założono, że wartości wskaźnika  $W_{ko} > 60\%$ .

W tabeli 6 przedstawiono wyznaczone wartości wskaźnika kompetencji  $W_{ko}$  dla poszczególnych działań ocenianego zespołu UR w analizowanym przedsiębiorstwie.

Tab. 6. Wartości wskaźnika  $W_{ko}$  w analizowanym przedsiębiorstwie.

Tab. 6. The values of  $W_{ko}$  indicator in the analysed company.

Poziomy kompetencji	Maszyny				Działanie						
	Obsługa maszyn typ 1	Obsługa maszyn typ 2	Obsługa maszyn typ 3	Obsługa maszyn typ 4	Wymiana i uzupełnianie mediów	Przegląd	Reakcja na podstawowe awarie	Konserwacja	Wypełnianie kart napraw i usterek	Pomiar drgań	
Poziom 4	2	3	3	3	3	3	4	1	4	4	
Poziom 3	4	1	3	0	2	3	0	2	3	4	
Poziom 2	1	4	3	0	3	4	0	2	2	0	
Poziom 1	0	2	4	2	4	3	3	3	1	0	
Poziom 0	0	2	0	3	0	3	1	3	0	0	
<b>Wskaźnik kompetencji <math>W_{ko}</math> [%]</b>	<b>42</b>	<b>52</b>	<b>71</b>	<b>58</b>	<b>50</b>	<b>67</b>	<b>46</b>	<b>67</b>	<b>42</b>	<b>50</b>	
<b>Wartość średnia</b>	<b>57%</b>				<b>53%</b>						

Analizując uzyskane wyniki zauważyć można, że spośród 10 ocenianych działań 6 przyjmuje wartość poniżej 60%. Oznacza to, że w tych obszarach pojawia się luka kompetencyjna. Najniżej ocenionym obszarem jest obsługa maszyn typu 1 i wypełnianie kart napraw i usterek – 42% i to dla tych obszarów w pierwszej kolejności powinno się zostać zorganizowane szkolenie. W celu identyfikacji potrzeb szkoleniowych dla poszczególnych pracowników należy uwzględnić wyniki ocen przedstawione w tabeli 3, 5 i 6. Dodatkowo do określenia potrzeb szkoleniowych przyjęto następujące założenia:

1. w pierwszej kolejności zidentyfikowano pracowników oraz obszary, dla których wartość wskaźników kompetencji  $W_{ko}$  oraz  $W_{kc}$  jest mniejsza niż 60%,
2. przyjęto, aby w każdym obszarze był przynajmniej jeden pracownik z poziomem kompetencji 4 oraz min. 2 pracowników z poziomem kompetencji 3,
3. jeżeli założenie 2 jest spełnione w danym obszarze, a wartość wskaźnika kompetencji jest mniejsza niż 60% to w pierwszej kolejności do szkolenia przewiduje się pracowników z najniższym poziomem kompetencji w danym obszarze.

W tabeli 7 przedstawiono propozycję potrzeb szkoleniowych, po uwzględnieniu ustalonych założeń.

Tab. 7. Propozycje potrzeb szkoleniowych.

Tab. 7. Proposals of trainings.

Pracownik	Wskaźnik kompetencji $W_{kc}$ [%]	Maszyny				Działania					Wartość średnia	
		Obsługa maszyn typ 1	Obsługa maszyn typ 2	Obsługa maszyn typ 3	Obsługa maszyn typ 4	Wymiana i uzupełnianie mediów	Przeгляд	Reakcja na podstawowe awarie	Konserwacja	Wypełnianie kart napraw i usterek		Pomiar drgań
Pracownik 1	75%											55 %
Pracownik 2	55%		+		+			+				
Pracownik 3	47%	+			+			+		+	+	
Pracownik 4	62%											
Pracownik 5	32%	+				+				+	+	
Pracownik 6	57%		+			+				+		
<b>Wskaźnik kompetencji <math>W_{ko}</math> [%]</b>		<b>42 %</b>	<b>58 %</b>	<b>71 %</b>	<b>58 %</b>	<b>50 %</b>	<b>67 %</b>	<b>46%</b>	<b>67 %</b>	<b>42 %</b>	<b>50 %</b>	
<b>Wartość średnia</b>		<b>57%</b>				<b>53%</b>						
		<b>54%</b>										

Przedstawiona analiza jednoznacznie określa nam, który z pracowników, w jakim obszarze powinien zostać przeszkolony. W pierwszej kolejności powinny zostać zrealizowane potrzeby szkoleniowe dla obszarów i pracowników z najniższym poziomem kompetencji.

Dzięki takiemu rozwiązaniu będzie można zapewnić wysoko wykwalifikowaną kadrę pracowników w każdym realizowanym obszarze w zakresie utrzymania ruchu. Zostaną podniesione kompetencje pracowników zapewniające takie wykonywanie zadań, aby spełniały one określone standardy i gwarantowały prawidłową eksploatację urządzeń oraz maszyn.

### 5.3.4. Poziom III: ocena ryzyka zapewnienia poziomu kompetencji

Identyfikacja luki kompetencyjnej w przedsiębiorstwie wiąże się w wielu przypadkach z zapewnieniem odpowiednich środków finansowych na ich uzupełnienie. W praktyce szczególnie dla małych przedsiębiorstw jest to bardzo trudne, więc ważna jest możliwość oceny konsekwencji niezapewnienia właściwego poziomu kompetencji pracowników utrzymania ruchu, a tym samym niewłaściwej realizacji procesu utrzymania maszyn. Dlatego niezbędnym jest opracowanie macierzy ryzyka razem ze skuteczną analizą procesu oceny ryzyka, w celu optymalizacji zapewnienia zasobów. Proponuje się, aby taką macierz ryzyka opracować na podstawie wartości wskaźników  $W_{ko}$  w odniesieniu do konsekwencji (dostępności maszyn -  $D$  oraz średniego czasu pomiędzy awariami -  $MTBF$ ), jakie mogą występować przy niewłaściwym poziomie zapewnienia kompetencji. W tabeli 8 przedstawiono opracowaną macierz ryzyka. Macierz przedstawia przy jakich wartościach wskaźników  $W_{ko}$  zmienia się ryzyko niezapewnienia odpowiedniego poziomu dostępności maszyn ( $D$ ) oraz czasu pomiędzy awariami ( $MTBF$ ) w stosunku do realizowanych działań (obszarów). Macierz identyfikuje pięć poziomów ryzyka (od bardzo niskiego – L, do bardzo wysokiego - VH) i została opracowana w oparciu o doświadczenie autora, dane z analizowanej firmy oraz przy wsparciu eksperta z zakresu utrzymania ruchu.

Tab. 8. Macierzy oceny ryzyka.

Tab. 8. The risk assessment matrix.

	Konsekwencje	Zmienna opisowa	Konsekwencje					
			Zmienna opisowa	VH	H	M	L	VL
			MTBF [h]	>800	600 – 800	400– 600	200– 400	<200
			D (%)	80 to 100	60 to 80	40 to 60	20 to 40	< 20
			Poziom ryzyka	1	2	3	4	5
Wskaźnik kompetencji	>80	VH	1	VL	VL	VL	VL	VL
	>60	H	2	M-L	M-L	L	L	L
	>40	M	3	M-H	M-H	M-H	M-L	M-L
	>20	L	4	VH	VH	H	H	H
	0-20	VL	5	VH	VH	VH	VH	VH
			<b>Ryzyko: VH= bardzo wysokie; H = wysokie;  M-H = średnie do wysokiego; M- średnie; M-L = średnie do niskiego; L = niskie;  VL = bardzo niskie</b>					

Jeżeli wartości wskaźników  $W_{ko}$  oraz  $MTBF$  i  $D$  znajdują się w środku każdego zakresu to nie ma problemu w oszacowaniu poziomu ryzyka. Jednak jeśli wartości te znajdują się na granicach zakresów to istnieje możliwość subiektywnej oceny poziomu ryzyka. Ponadto na taką niepewność może mieć wpływ wynik analizy w zależności od dostępnych informacji, wiedzy i doświadczenia. W tych okolicznościach możliwe jest wykorzystanie wnioskowania rozmytego opartego na logice. W tym kontekście macierz oceny ryzyka wykorzystana będzie jako podstawa opracowania reguł dla wnioskowania rozmytego. W niniejszej pracy przedstawiono wnioskowanie rozmyte typu Mamdami. Możliwy jest dobór odpowiednich

funkcji przynależności oraz przy wsparciu ekspertów określenie wartości tych funkcji w obszarze przyjętych zakresów. Wartości wskaźników  $W_{ko}$  oraz  $MTBF$  i  $D$  będą stanowiły wejście do systemu wnioskowania rozmytego w celu obliczenia poziomu ryzyka. W analizowanym przypadku zostanie przedstawione wyznaczenie wartości poziomu ryzyka wspomaganego logiką rozmytą dla wskaźnika  $W_{ko}$  oraz dostępności ( $D$ ). Parametry wejściowe i wyjściowe wyrażone są w postaci ilościowej, jakościowej i opisowej. Do modelowania przyjęto funkcje przynależności opisaną wzorem [3]. Funkcja tę, jak przedstawiono w pracach [7, 20, 28] zastosowano aby zminimalizować rozbieżność między rzeczywistością i modelowaniem matematycznym.

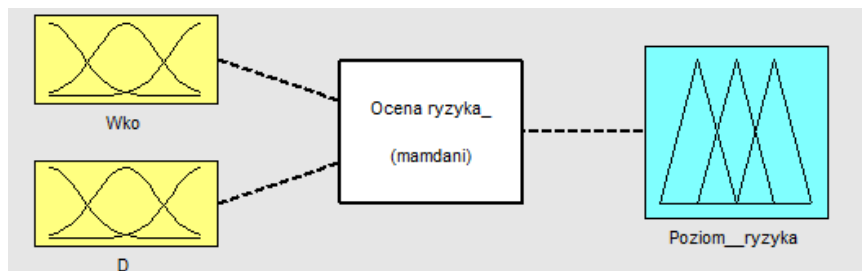
$$\text{Gaussian}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad [3]$$

gdzie  $c$  oznacza centrum,  $\sigma$  określa szerokość funkcji przynależności. Do modelowania wykorzystano funkcję "Gauss2mf", która jest dostępna w programie MATLAB (R2012) [15,16]. Funkcja określona wzorem (4) jest kombinacją dwóch parametrów ( $c, \sigma$ ). [15].

$$y = \text{gauss2mf}\{x, [\sigma_1 c_1 \sigma_2 c_2]\} \quad (4)$$

Do wykonania proponowanego procesu wnioskowania rozmytego wykorzystano narzędzie MATLAB (R2012) [16].

Na rys. 5 przedstawiono model systemu rozmytego.



Rys. 5 Model systemu rozmytego.

Fig. 5. Fuzzy logic model.

Na rys. 6 przedstawiono część reguł, które opracowano na podstawie tabeli 8.

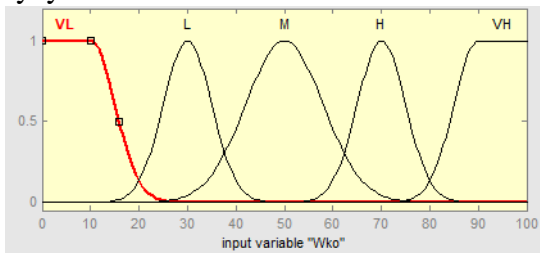
1. If (Wko is VH) and (D is VH) then (Poziom\_ryzyka is VL) (1)
2. If (Wko is VH) and (D is H) then (Poziom\_ryzyka is VL) (1)
3. If (Wko is VH) and (D is M) then (Poziom\_ryzyka is VL) (1)
4. If (Wko is VH) and (D is L) then (Poziom\_ryzyka is VL) (1)
5. If (Wko is VH) and (D is VL) then (Poziom\_ryzyka is VL) (1)
6. If (Wko is H) and (D is H) then (Poziom\_ryzyka is ML) (1)
7. If (Wko is H) and (D is VH) then (Poziom\_ryzyka is ML) (1)
8. If (Wko is H) and (D is M) then (Poziom\_ryzyka is L) (1)
9. If (Wko is H) and (D is L) then (Poziom\_ryzyka is L) (1)
10. If (Wko is H) and (D is VL) then (Poziom\_ryzyka is L) (1)
11. If (Wko is M) and (D is VH) then (Poziom\_ryzyka is MH) (1)
12. If (Wko is M) and (D is H) then (Poziom\_ryzyka is MH) (1)
13. If (Wko is M) and (D is M) then (Poziom\_ryzyka is MH) (1)
14. If (Wko is M) and (D is L) then (Poziom\_ryzyka is ML) (1)
15. If (Wko is M) and (D is VL) then (Poziom\_ryzyka is ML) (1)
16. If (Wko is L) and (D is VH) then (Poziom\_ryzyka is VH) (1)
17. If (Wko is L) and (D is H) then (Poziom\_ryzyka is VH) (1)

Rys. 6. Reguły wnioskowania.

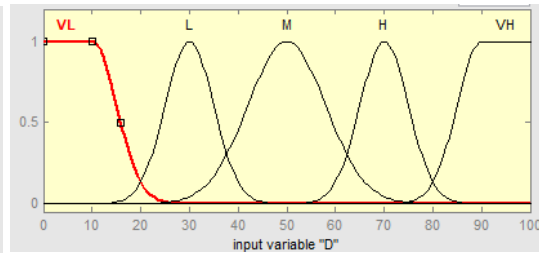
Fig. 6 Inference rules.



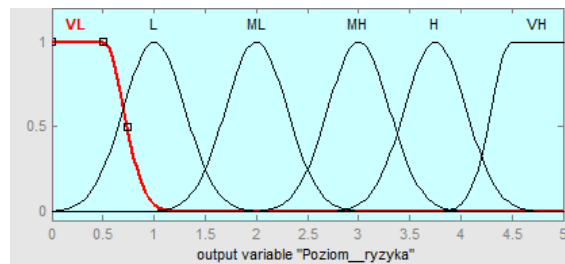
Rys. 7, 8, 9 przedstawiają funkcje przynależności dla  $W_{ko}$ , dostępności ( $D$ ) oraz poziomu ryzyka.



Rys. 7. Funkcja przynależności dla  $W_{ko}$ .  
Fig. 7. GCMF of  $W_{ko}$ .



Rys. 8. Funkcja przynależności dla  $D$ .  
Fig. 8. GCMF of  $A$ .



Rys. 9. Funkcja przynależności dla poziomu ryzyka  
Fig. 9. GCMF of a risk level.

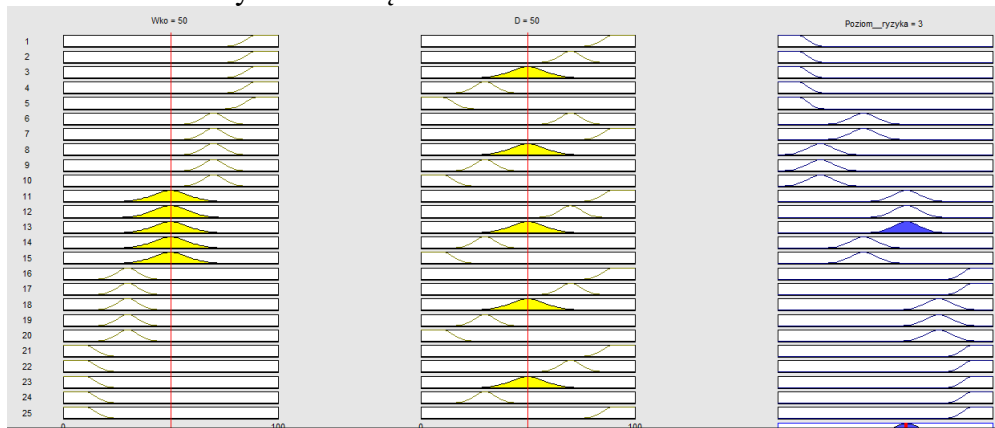
W tabeli 9 przedstawiono przyjęte wartości Gaussowskiej funkcji przynależności na wejściu i wyjściu.

Tabela 9. Przyjęte wartości Gaussowskiej funkcji przynależności na wejściu i wyjściu.

Table 9. Gaussian MF parameters for input and output variables

Wejście	VL	L	M	H	VH	
$D, W_{ko}$	[5 0 5 10]	[5 30 5 30]	[8 50 8 50]	[5 70 5 70]	[5 90 5 100]	
Wyjście	VL	L	M-L	M-H	H	VH
Poziom ryzyka	[0.2 0 0.2 0.5]	[0.3 1 0.3 1]	[0.3 2 0.3 2]	[0.3 3 0.3 3]	[0.3 3.75 0.3 3.75]	[0.2 4.5 0.1 5]

Na rys. 10 przedstawiono reguły wnioskowania oraz przykład wyznaczania poziomu ryzyka konsekwencji niezapewnienia odpowiedniego poziomu kompetencji dla realizacji działań nadzoru nad maszynami i urządzeniami.



Rys. 10. Kalkulacja poziomu ryzyka.

Fig. 10. Risk level calculation.

Kalkulacja poziomu ryzyka przeprowadzona została dla wartości wskaźnika  $W_{ko} = 50$  oraz  $D=50$ . Ryzyko oceniono na poziomie = 3. Metoda środka ciężkości została zastosowana jako metoda wyostrzenia. Najmocniej działa tu reguła 8. Oznacza to, że przy takim poziomie kompetencji ryzyko utrzymania dostępności maszyn na poziomie 50 określa się jako średnie.

Analiza taka pozwoli określić, na jakim poziomie utrzymywać wskaźnik kompetencji, aby zminimalizować ryzyko ich wpływu na wydajność i efektywność realizowanych działań w zakresie utrzymania ruchu.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Efektywność procesu utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie wymaga kompetentnych, świadomych pracowników. Wyniki badań przedstawionych w pierwszym etapie pracy wykazały, że firmy są świadome potrzeby oceny kompetencji pracowników utrzymania ruchu. W wielu firmach te oceny są realizowane, a na ich podstawie wyciągane wnioski oraz podejmowane działania doskonalące. Wiele również, szczególnie tych małych nie prowadzi takich działań. Dlatego przedstawiona w drugiej części pracy trypoziomowa metodyka oceny kompetencji pracowników oraz przykład jej zastosowania w wybranym przedsiębiorstwie, może pomóc takim firmom w doborze odpowiedniej metody oceny kompetencji. Zastosowanie odpowiednio dobranej metody oceny kompetencji pozwoli na: identyfikację aktualnego poziomu kompetencji, ale przede wszystkim na identyfikację potrzeb szkoleniowych, w celu podniesienia skuteczności i efektywności realizacji procesu utrzymania ruchu.

Proponowana praca ma pewne ograniczenia związane z tym, że metodę zweryfikowano tylko w jednej firmie. Dlatego w przyszłej pracy metoda zostanie zweryfikowana również w innych przedsiębiorstwach. Wyniki weryfikacji tej metodyki w przedsiębiorstwach pozwolą zidentyfikować ograniczenia wynikające z funkcjonowania przedsiębiorstw oraz dodatkowe istotne wymagania, jakie ocena powinna uwzględniać.

Wdrożenie tej metody jest pracochłonne, wymaga zgromadzenia określonych informacji: nie tylko dotyczących pracowników, ale również dotyczących maszyn np. wskaźnika MTBF, co w wielu przedsiębiorstwach, szczególnie tych małych, jest organizacyjnie trudne. Dlatego w przyszłych pracach należałoby podjąć próbę wspomagania procesu oceny pracowników z wykorzystaniem danych gromadzonych w systemach CMMS, co pozwoliłoby uzyskać potrzebne informacje, a tym samym usprawnić proces oceny pracowników.

## Literatura

1. Abele E, Reinhart G. *Zukunft der Produktion*, München: Hanser, Carl, 2011.
2. Baron – Puda M, *Projektowanie strategii rozwoju kompetencji pracowników przedsiębiorstw produkcyjnych. Zarządzanie przedsiębiorstwem* 2012;4:2-11.
3. Bokrantz J, Skoogh A, Berlin C, Stahre J. *Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030 International Journal of Production Economics* 2017: 191: 154-169, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.06.010.
4. Dalkilic S. *Improving aircraft safety and reliability by aircraft maintenance technician training. Engineering Failure Analysis* 2017; 82: 687-694
5. Furman J. *Poprawa skuteczności utrzymania maszyn w przedsiębiorstwie produkcyjnym – studium przypadku, Komputerowe zintegrowane zarządzanie*, 2016:548-557.
6. Gonczy A, Hager P, Athanasou J. *The Development of Competency-Based Assessment Strategies for the Professions National Office of Overseas Skills Recognition, Australia: 1993.*

7. Greenstein L. Assessing 21st century skills: A guide to evaluating mastery and authentic learning SAGE: 2012.
8. Hameed A. Using Gaussian membership functions for improving the reliability and robustness of students' evaluation systems. *Expert Systems with Applications* 2011;38(6): 7135–7142.
9. Herterich M, Uebernicket F, Brenner W. The Impact of Cyber-Physical Systems on Industrial Services in Manufacturing. *Procedia CIRP* 2015; 30: 323-328.
10. Hertlea C, Tischa M, Kläsa H, Metternicha J, Abelea E. Recording Shop Floor Management Competencies – A Guideline for a Systematic Competency Gap Analysis. *Procedia CIRP* 57 2016: 625 – 630.
11. Jasiulewicz-Kaczmarek M, Drożyner P. Preventive and Pro-Active Ergonomics Influence on Maintenance Excellence Level, [in.] M.M. Robertson (eds.) *Ergonomics and Health Aspects, HCII 2011, LNCS 6779 Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-21715-9* 2011; 49-58.
12. Jasiulewicz-Kaczmarek M, Saniuk A, Nowicki T. The maintenance management in the macro-ergonomics context. [in.] Richard H.M. Goossens (eds.) *Advances in Social & Occupational Ergonomics Proceedings of the AHFE2016 Conference on Social & Occupational Ergonomics, July 27-31, Walt Disney World®, Florida, USA Series: Advances in Intelligent Systems and Computing 2016; 487:35-46, DOI: 10.1007/978-3-319-41688-5.*
13. Kaufhold M. *Kompetenz und Kompetenzerfassung*. VS, Verl Für Sozialwiss, 2006.
14. Loska A. Scenario modeling exploitation decision-making processes in technical network systems *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2017; 19 (2): 268–278, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.2.15>.
15. Mathworks. Fuzzy inference system modelling: Gaussian combination membership function, 2014. available: <http://www.mathworks.se/help/fuzzy>.
16. Matlab, MATLAB 7 12 0 (R2011a), Fuzzy logic Toolbox, 1984–2014 The MathWorks, Inc , 2014.
17. Misiurek B. *Metodyka standaryzacji autonomicznych działań eksploatacyjnych zorientowana na poprawę efektywności maszyn zautomatyzowanych*, Praca doktorska, Uniwersytet Technologiczny we Wrocławiu, 2015.
18. Muller A , Marquez A.C, Iung B. On the concept of e-maintenance: Review and current research. *Reliability Engineering and System Safety* 2008; 93:1165-1187.
19. Müllera R, Vette M, Geenen A. Skill-based dynamic task allocation in Human-Robot-Cooperation with the example of welding application. *Procedia Manufacturing* 2017: 13 – 21.
20. Paśkiewicz J. *Doskonalenie procesu nadzoru maszyn na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*, diploma thesis under supervising K. Antosz, Rzeszów, 2016.
21. Pellegrino J, Justiniano M, Raghunathan A. *Measurement Science Roadmap for Prognostics and Health Management for Smart Manufacturing Systems*", NIST Advanced Manufacturing Series 2017; 191:154-169.
22. Pittich D. *Diagnostik fachlich-methodischer Kompetenzen*, Fraunhofer IRB Verl, 2013.
23. Ratnayake RMC. Knowledge based engineering approach for subsea pipeline systems FFR assessment: A fuzzy expert system. *The TQM Journal* 2016; 28:40–61.
24. Rodriguez D, Patel R, Bright A, Gregory D, Gowing M.K. Developing competency models to promote integrated human resource practices. *Human Resource Management* 2002; 41(3): 309-324.
25. Roy R , Stark R, Tracht K, Takata S, Mori M. Continuous maintenance and the future - Foundations and technological challenges. *CIRP Annals -Manufacturing Technology* 2016; 65: 667-688.

26. Schlick C, Bruder R, Luczak H. Arbeitswissenschaft. 3. Auflage Springer-Verlag, 2010.
27. Sherwin D.J. A review of overall models for maintenance management *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 2000; 1(1): 15-19.
28. Shingo S. Study of „Toyota” Production system from industrial engineering viewpoint Tokyo: Japan Management Association, 1981.
29. Smith R, Mobley R.K. Maintenance Skills Assessment, *Industrial Machinery Repair* 2003:26–49.
30. Stadnicka D, Arkhipov D, Battara O, Ratnayake RMC. Skills management in the optimization of aircraft maintenance processes. *FAC PapersOnLine* 2017; 50(1): 6912–6917.
31. Tay KM, Lim C.P. On the use of fuzzy inference techniques in assessment models: part II: industrial applications. *Fuzzy Optimization and Decision Making* 2008; 3:283–302.
32. Wirkus M, Drozd R, Bielski R. Production employees competence in apparatus processes. *Management Forum* 2015; 3(30):63-70.
33. Zio E. Reliability engineering: Old problems and new challenges *Reliability Engineering & System Safety* 2009; 94:125-41.