

**Dr inż. Andrzej Loska**

Instytut Inżynierii Produkcji

Politechnika Śląska

ul. Roosevelta nr 26, 41-800 Zabrze, Polska

E-mail: Andrzej.Loska@polsl.pl

## **Uwagi o modelowaniu procesów eksploatacyjnych z wykorzystaniem technik scenariuszowych**

**Słowa kluczowe:** eksploatacja, utrzymanie ruchu, scenariusze eksploatacyjne, procesy eksploatacyjne, modelowanie

**Streszczenie.** Celem artykułu jest zaprezentowanie wyników przeprowadzonych badań w zakresie sposobów wykorzystania metod modelowania procesów eksploatacyjnych w zastosowaniach praktycznych (przemysłowych). W pierwszej kolejności dokonano identyfikacji i klasyfikacji stosowanych w tym zakresie rozwiązań, zwrócono przy tym uwagę na problemy związane z modelowaniem procesów w aspekcie szerszego ujęcia organizacyjno-technicznego. W oparciu o przeprowadzone badania, które miały charakter zarówno podstawowy (teoretyczny), jak i przemysłowy, sformułowano problem badawczy. Jego istota sprowadza się do trudności wykorzystania modeli procesów eksploatacji w odniesieniu do funkcjonujących organizacji utrzymania ruchu przedsiębiorstw przemysłowych ze względu na ich „płaski” charakter. W oparciu o sformułowany problem badawczy zaproponowano sposób jego rozwiązania poprzez zastosowanie do modelowania procesów eksploatacji technik scenariuszowych. Następnie po dokonaniu przeglądu stanu wiedzy (literatury) w aspekcie budowy scenariuszy eksploatacyjnych, opracowano i przedstawiono szczegółowo procedurę prowadzenia badań, których efektem będzie opracowanie metodologii tworzenia scenariuszy eksploatacyjnych, z uwzględnieniem sposobu praktycznego ich wykorzystania.

Artykuł jest wynikiem realizacji części badań w ramach projektu badawczego, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (nr 5636/B/T02/2011/40 pt.: Wykorzystanie metod scenariuszowych w modelowaniu procesów eksploatacyjnych).

### **1. Wprowadzenie**

Zarówno w eksploatacji systemów technicznych, jak i w praktycznych zastosowaniach tej teorii, wiele uwagi poświęca się problemowi modelowania. Obecne zadania służb technicznych większości przedsiębiorstw przemysłowych wykraczają poza klasyczne ramy planowania, realizacji i rozliczania prac obsługowo-naprawczych, szczególnie w zakresie sposobów racjonalizacji i optymalizacji procesów decyzyjnych zarówno w krótkim, jak i dłuższym horyzoncie czasowym.

W aspekcie szybkiego rozwoju strategii i metod związanych z zarządzaniem eksploatacją i utrzymaniem ruchu, a także stosowanych narzędzi informatycznych umożliwiających pozyskiwanie, gromadzenie i przetwarzanie dużej ilości różnorodnych danych opisujących obiekty techniczne oraz warunki ich funkcjonowania, konieczne i możliwe wydaje się prowadzenie badań eksploatacyjnych związanych przede wszystkim z opracowaniem sposobu podejmowania optymalnych decyzji strategicznych dotyczących między innymi technicznie, organizacyjnie i ekonomicznie uzasadnionych terminów realizacji prac obsługowo-naprawczych, wycofywania obiektów z eksploatacji, długoterminowych sposobów postępowania w ramach określonych filozofii eksploatacyjnych czy zakresów realizacji zadań.

Wymaga to budowy odpowiednich modeli zarówno obiektów technicznych, zdarzeń, jak i realizowanych procesów eksploatacyjnych. Modele te powinny dobrze odzwierciedlać wybrane aspekty "rzeczywistości" eksploatacyjnej oraz muszą opierać się na fundamentach wynikających z teorii modelowania.

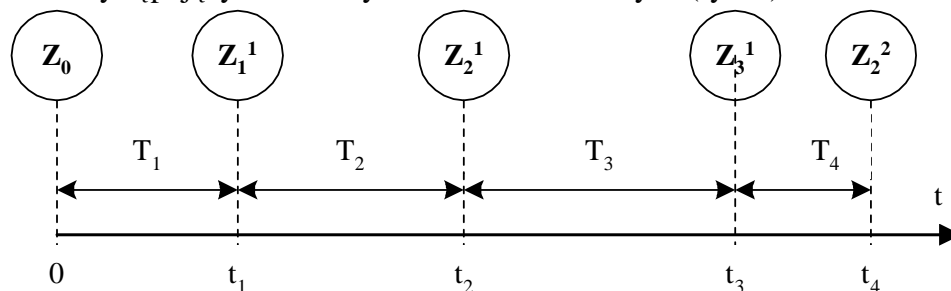
Niniejszy artykuł stanowi kolejny etap badań prowadzonych przez autora w Instytucie Inżynierii Produkcji Politechniki Śląskiej nad możliwością wspomagania procesu podejmowania decyzji eksploatacyjnych w przedsiębiorstwach przemysłowych. Badania zmierzają do opracowania sposobu modelowania procesów eksploatacyjnych zarówno aspektów technicznych, jak również uwarunkowań nietechnicznych (np. organizacyjnych, ekonomicznych) realizowanych prac obsługowo-naprawczych, co pozwoli na wykorzystanie takich modeli w ujęciu praktycznym.

## 2. Praktyczne uwarunkowania klasycznych sposobów modelowania procesów eksploatacyjnych

Przyjmuje się, że proces eksploatacyjny jest to zbiór uporządkowanych działań, realizowanych z udziałem obiektu i w odniesieniu do obiektu technicznego w trakcie jego eksploatacji. Przebieg poszczególnych działań jest warunkowany indywidualnymi cechami eksploatowanych obiektów oraz ich otoczeniem organizacyjno-technicznym, co skutkuje unikalnością poszczególnych procesów eksploatacyjnych.

W celu wyodrębnienia i zdefiniowania rozpatrywanych w artykule problemów badawczych, konieczne jest dokonanie jednoznacznej identyfikacji i klasyfikacji procesów eksploatacji. Podstawą do takiej klasyfikacji może być sposób opisu (modelowania), warunkujący realizację szczegółowych zadań związanych z takim procesem oraz podejmowaniem decyzji dotyczących tego procesu. Według takiego kryterium klasyfikacji, można wyróżnić dwa podstawowe sposoby opisu (modele) procesów eksploatacji [7]:

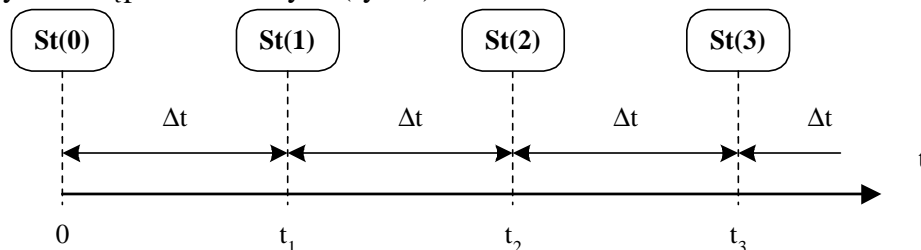
- a. model procesu eksploatacji jako sekwencji zdarzeń, według którego działania obsługowo-naprawcze są podejmowane i realizowane na podstawie informacji o określonych zdarzeniach występujących w różnych chwilach czasowych (rys. 1)



Rys. 1. Model procesu eksploatacji jako sekwencja zdarzeń [7]

$Z_i^j$  - zdarzenia eksploatacyjne,  $T_i$  - przedział czasu pomiędzy zdarzeniami,  $t_i$  - chwile, w których występują zdarzenia

- b. model procesu eksploatacji jako ciągu stanów, według którego działania eksploatacyjne są podejmowane i realizowane na podstawie chwilowych stanów obiektu identyfikowanych w równych odstępach czasowych (rys. 2).



Rys. 2. Model procesu eksploatacji jako sekwencja zdarzeń [7]

$St(i)$  - identyfikowane stany techniczne,  $\Delta t$  - przedział czasu pomiędzy chwilami identyfikacji stanu technicznego,  $t_i$  - chwile identyfikacji stanu technicznego

Rozpatrując model procesu eksploatacji jako sekwencji zdarzeń, możemy wyróżnić dwa typy możliwych do wystąpienia zdarzeń eksploatacyjnych: zdarzenia zamierzone i zdarzenia niezamierzone. Każdy typ zdarzenia warunkuje inny sposób postępowania, co przejawia się w odmiennych zasadach eksploataowania obiektów zawartych w ramach polityki eksploatacyjnej. Zastosowanie modelu procesu eksploatacji jako ciągu stanów do identyfikacji sposobu podejmowania decyzji eksploatacyjnych wymaga dokonywania okresowej (stałej w czasie) kontroli stanu technicznego obiektu, co stanowi podstawę decyzyjną realizacji określonych w czasie i zakresie zadań eksploatacyjnych oraz wymusza przyjęcie odmiennych w stosunku do poprzednich, procedur postępowania.

Praktyka eksploatacyjna pokazuje, że najczęściej opis przebiegu procesów eksploatacyjnych odniesiony do konkretnego egzemplarza eksploataowanego obiektu wymaga jednoczesnego wykorzystania omówionych powyżej modeli. Przykładowo, obiekty techniczne, dla których prowadzone są działania związane z monitorowaniem stanu technicznego (czyli są związane z modelem procesu eksploatacji jako ciąg stanów), mogą ulegać uszkodzeniom (czyli zdarzeniom związanym z modelem procesu eksploatacji jako sekwencja zdarzeń).

Przedstawiony powyżej sposób modelowania procesów eksploatacji, w praktyce przemysłowej przekłada się na opracowywanie i wdrażanie ogólnych i szczegółowych rozwiązań w postaci określonych strategii eksploatacyjnych. W szczególności, na podstawie zależności procesów eksploatacyjnych od sposobu podejmowania decyzji w eksploatacyjnych systemach organizacyjno-technicznych można stwierdzić, że najczęściej decyzje wynikają z wykorzystania jednej z poniższych strategii eksploatacyjnych:

1. strategii eksploatacji według uszkodzeń (ang. BM - Breakdown Maintenance), opartej na modelu procesu eksploatacji jako sekwencji zdarzeń niezamierzonych,
2. strategii eksploatacji według ilości wykonanej pracy (ang. PM - Preventive Maintenance), opartej na modelu procesu eksploatacji jako sekwencji zdarzeń zamierzonych,
3. strategii eksploatacji według stanu technicznego (ang. PDM - predictive maintenance), opartej na modelu procesu eksploatacji jako ciągu stanów.

W praktyce przemysłowej, wiążąc poszczególne strategie z procesem decyzyjnym dotyczącym konkretnych obiektów technicznych (a niekoniecznie całego ciągu technologicznego), wszystkie trzy strategie tworzą politykę eksploatacyjną przedsiębiorstwa, przy czym jedna z tych strategii ma najczęściej charakter dominujący (stanowi podstawę decyzyjną w odniesieniu do większości lub najistotniejszych obiektów technicznych), a pozostałe zaś stanowią jej uzupełnienie.

### **3. Identyfikacja problemów badawczych i propozycja ich rozwiązania**

Przedstawione w poprzednim punkcie i opisane w literaturze modele procesów eksploatacyjnych umożliwiają rozwiązywanie istotnych praktycznych problemów dotyczących użytkowania i obsługi maszyn i urządzeń. Jednakże wymienione powyżej możliwości są obarczone określonymi ograniczeniami, wynikającymi z charakteru omawianych metod. Podstawowym ograniczeniem tego rodzaju jest możliwość uwzględnienia w modelu liczba cech (parametrów), opisujących stan obiektu/sygnału diagnostycznego lub zdarzenie eksploatacyjne. Ograniczenie tego rodzaju wpływa w istotnym stopniu na dokładność identyfikacji konkretnego stanu lub zdarzenia. Trudne także jest uwzględnienie w modelach omawianego typu cech jakościowych oraz aspektów nietechnicznych (organizacyjno-ekonomicznych), które w znaczący sposób wpływają na realizację poszczególnych zadań eksploatacyjnych.

Do najważniejszych ograniczeń opisanych wcześniej sposobów opisu procesów eksploatacyjnych można zaliczyć:

- znaczne uproszczenia modeli procesów w odniesieniu do organizacji, w której funkcjonują obiekty techniczne stanowiące przedmiot modelowania,
- "płaski" charakter modeli pokazujący relacje przyczynowo-skutkowe w sposób jednowymiarowy bez uwzględniania interakcji z szeroko rozumianym otoczeniem w postaci dodatkowych aspektów nietechnicznych (np. organizacyjnych czy ekonomicznych),
- trudności z uwzględnieniem cech jakościowych oraz aspektów nietechnicznych (organizacyjno-ekonomicznych) w modelach omawianego typu, które w znaczący sposób wpływają na realizację poszczególnych zadań eksploatacyjnych (także w obszarze zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu maszyn i urządzeń).

Przedstawione ograniczenia nie pozwalają zaspokoić potrzeb organizacji utrzymania ruchu przedsiębiorstw przemysłowych w zakresie efektywnego wykorzystania typowych modeli dla potrzeb optymalizacji procesów decyzyjnych w odniesieniu do funkcjonujących obiektów technicznych.

Wychodząc z istniejącego stanu wiedzy w omawianej dziedzinie oraz przedstawionych powyżej przesłanek, można sformułować główny problem badawczy niniejszego artykułu:

**stosowane obecnie modele i metody modelowania wykazują istotne, wymienione powyżej ograniczenia, które nie pozwalają na efektywne ich wykorzystanie w optymalizacji procesów decyzyjnych w odniesieniu do eksploatowanych obiektów technicznych, a co za tym idzie nie stanowią skutecznego rozwiązania oceny i poprawy efektywności zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu.**

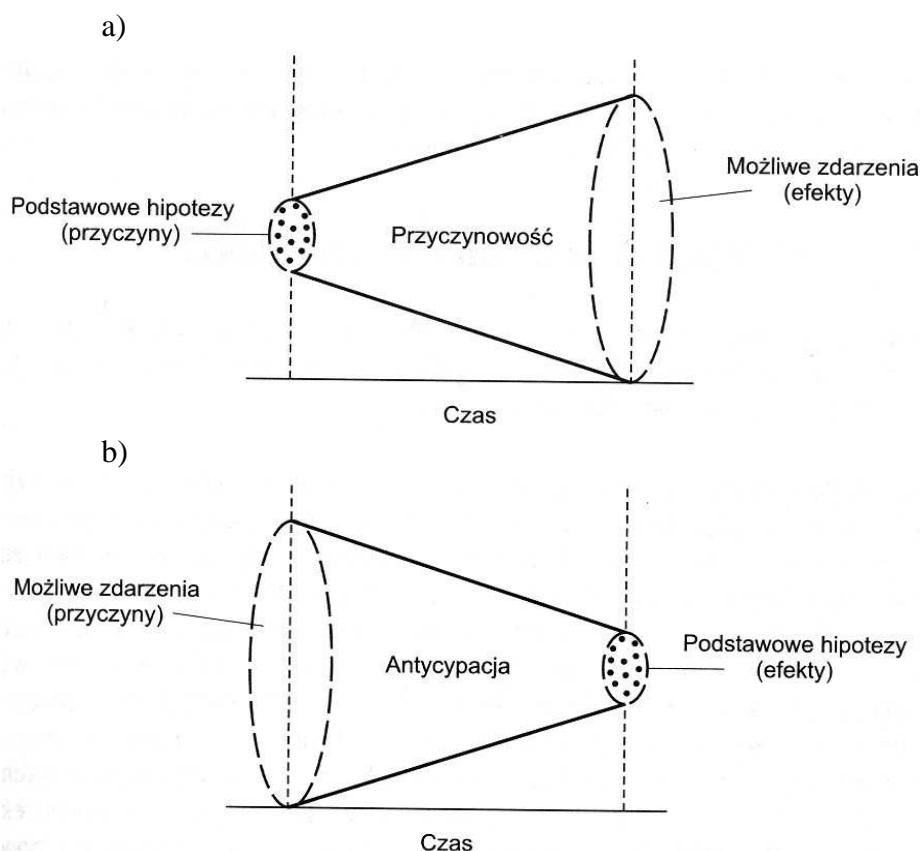
Rozwiązaniem problemu optymalizacji procesu decyzyjnego może być wykorzystanie metod scenariuszowych, czyli zastosowanie sposobów modelowania, wykorzystujących wielowątkowy obraz bieżącej rzeczywistości przy równocześnie możliwym spojrzeniu „wyprzedzającym” czas bieżący.

Techniki scenariuszowe należą do metod prognozowania, które dotychczas były stosowane w obszarze nauk ekonomicznych do prognozowania gospodarczego i zarządzania strategicznego. W dziedzinie nauk technicznych, jak na razie nie zdobyły sobie większego uznania.

Wśród kilku metod tworzenia scenariuszy najlepszą w tym przypadku wydaje się metoda zaproponowana przez H. Kahna, który określił ją mianem „pisanie scenariuszy” (scenariowriting). Metoda ta polega na opisie zdarzeń i wskazania ich logicznego i spójnego następstwa w celu ustalenia, w jaki sposób rozwijać się będzie dany obiekt lub sytuacja. Przyjmuje się w tym przypadku określony punkt odniesienia, którym w przypadku zarządzania eksploatacją może być na przykład przeszły lub bieżący stan techniczny. Główny nacisk kładzie się na te zdarzenia i sytuacje, które mogą stanowić podstawę przyszłego stanu lub ciągu zdarzeń. W wyniku tego otrzymuje się zbiór możliwych do wystąpienia zdarzeń lub inaczej obrazów przyszłości.

Obok wielu sposobów tworzenia scenariuszy z wykorzystaniem różnych metod, w omawianej metodologii wyróżnia się pewną liczbę typów czy wariantów scenariuszy. W odniesieniu do rozpatrywanej dziedziny możliwe, celowe i sensowne jest wykorzystanie dwóch takich typów, które odpowiadają potrzebom i możliwościom modelowania procesów eksploatacyjnych [23]. W pierwszej kolejności należy do nich scenariusz badawczy (rys. 3a), w którym na podstawie określonych hipotez określa się zdarzenia możliwe do wystąpienia (stanowiące zbiór efektów stanu/sytuacji bieżącej). Ten typ scenariusza odpowiada problemom planowania eksploatacji, które mają bezpośrednie przełożenie na definiowanie założeń strategii eksploatacyjnych. W specyficznych sytuacjach możliwe jest zastosowanie scenariusza antycypacyjnego (rys. 3b), w którym zidentyfikowane relacje umożliwiają określenie skutków zaistniałej sytuacji. Ten typ scenariusza będzie stanowił podstawę analizy

zdarzeń przeszłych, w szczególności analiz awaryjności, których najważniejszym elementem jest określenie przyczyn zaistniałych sytuacji lub niepowodzeń w realizacji prac obsługowo-naprawczych.



Rys.3. Typy scenariuszy: a) scenariusz badawczy, b) scenariusz antycypacyjny [23]

Jak widać z powyższego, technika budowy scenariuszy ma wiele wspólnego z technikami prognostycznymi. Wychodząc z aktualnej sytuacji (zbioru cech opisujących procesy eksploatacyjne), można wyróżnić te czynniki wpływające na sytuacje przyszłe, które są znane. Odniesienie tych czynników do najbliższej przyszłości powoduje nieznaczną ich zmianę, natomiast w zakresie okresów dłuższych zmiany te mogą być znaczne. Ma to swoje odzwierciedlenie zarówno w zmianach poszczególnych czynników, jak i wpływie zmian na poszczególne obiekty czy systemy. Poprzez wykorzystanie do modelowania procesów eksploatacji metod scenariuszowych, można pokazać sposób i zakres osiągnięcia możliwych alternatywnych scenariuszy opisujących skutki podjętych decyzji.

W ramach dalszych badań proponuje się wykorzystanie scenariuszy zdarzeń i procesów eksploatacyjnych jako ujęcia metodologicznego, które daje nowe jakościowo możliwości w obszarze modelowania procesów eksploatacyjnych dla potrzeb skutecznego podejmowania decyzji/zarządzania eksploatacją w systemach technicznych.

Kluczowe elementy metodologii scenariuszowej oraz specyfika obszaru eksploatacji systemów technicznych warunkują zbiór koniecznych działań (celów szczegółowych), których realizacja pozwoli na rozwiązanie sformułowanego problemu badawczego. Działania te obejmują:

- zdefiniowanie potrzeby i podstawy generowania scenariusza/zbioru możliwych scenariuszy w oparciu o określone modele eksploatacyjne, które w tym przypadku mogą wynikać z kryteriów niezawodnościowych (np. zbioru wybranych ilościowych wskaźników eksploatacyjnych)

- określenie wewnętrznej, formalnej struktury opisu scenariusza (identyfikacja zbioru parametrów, czyli składników ilościowych, oraz cech, rozumianych jako składniki jakościowe obrazu danej sytuacji/zdarzenia),
- uzupełnienie scenariuszy sytuacji dotyczących obiektu jako takiego przez odwzorowanie jego otoczenia (czyli przez analogię, autor artykułu proponuje oprócz scenariusza opisać „scenografię”, w której scenariusz się dzieje),
- rozwiązanie problemu praktycznego wykorzystania scenariuszy w planowaniu prac obsługowo-naprawczych, a jednocześnie optymalizacji procesów decyzyjnych dotyczących eksploatowanych systemów technicznych z uwzględnieniem zagadnienia wielowariantowości możliwych zdarzeń oraz symulacji zachowań obiektu w bliższej i dalszej przyszłości.

#### **4. Znaczenie modelowania procesów eksploatacyjnych z wykorzystaniem technik scenariuszowych**

Problem wykorzystania technik scenariuszowych w eksploatacji występuje w literaturze incydentalnie. Jest to związane głównie z pojedynczymi opisami praktycznych rozwiązań scenariuszy do postępowania w wybranych sytuacjach awaryjnych (np. w [24]). Szczegółowa analiza literaturowa zarówno krajowa, jak i zagraniczna wykazała, że badania nad możliwością wykorzystania scenariuszy w odniesieniu do kompleksowych aspektów strategicznych eksploatacji obiektów technicznych są w Polsce prowadzone przede wszystkim w Instytucie Inżynierii Produkcji Politechniki Śląskiej. Ma to swoje odzwierciedlenie w publikacjach [8, 13, 16, 15, 18].

W zakresie problematyki poruszanej w artykule występują publikacje opisujące poszczególne odrębne elementy związane z tą tematyką, w szczególności:

1. modelowanie wybranych elementów eksploatacji,
2. metody i techniki scenariuszowe,
3. zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem ruchu w ujęciu strategicznym wraz z komputerowym wspomaganie w tym obszarze zadaniowym.

Pierwszy obszar jest opisywany dość szeroko w aspekcie modelowania różnych elementów procesów eksploatacji. Wartościową w tym zakresie pozycją jest [13], w której przeprowadzona została klasyfikacja i przegląd najważniejszych modeli eksploatacyjnych. Pozostałe pozycje opisują mniej lub bardziej szczegółowo poszczególne grupy modeli eksploatacyjnych (modele zdarzeń np. [7, 27, 25], modele diagnostyczne np. [1, 2, 27, 28], modele obiektów technicznych [13, 19, 7], czy modele procesów eksploatacyjnych [7, 13, 27, 22, 26]).

Drugi obszar jest opisywany w literaturze z punktu widzenia nauk ekonomicznych, szczególnie w ujęciu zarządzania strategicznego [3, 4, 5, 6, 23].

Trzeci obszar jest opisywany głównie w artykułach pism branżowych, szczególnie w [17].

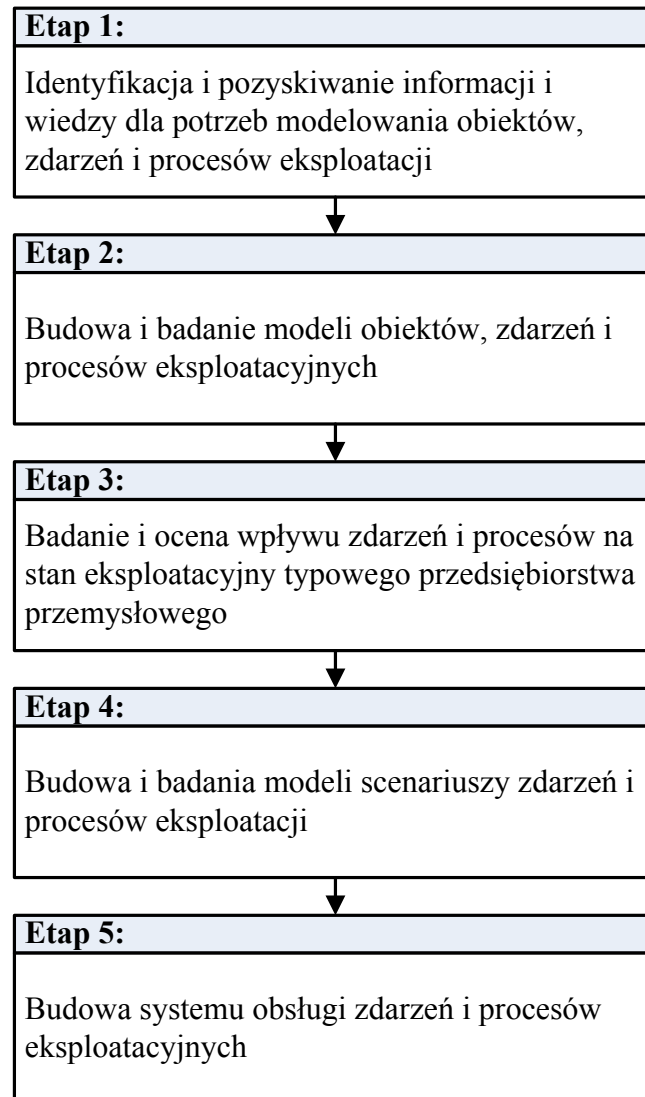
Wyniki przeprowadzonego przeglądu istniejącego stanu wiedzy można podsumować w dwóch aspektach:

1. Z punktu widzenia krajowych i zagranicznych publikacji oraz innych opracowań, istnieją odniesienia do metod i zagadnień cząstkowych będących elementem proponowanego rozwiązania.
2. W ujęciu kompleksowym, wykorzystanie technik scenariuszowych w odniesieniu do modelowania procesów eksploatacyjnych można uznać za zagadnienie nowe nie publikowane zarówno w kraju, jak i za granicą.

#### **5. Koncepcja badań nad opracowaniem sposobu wykorzystania metody scenariuszy w modelowaniu procesów eksploatacyjnych**

Rozpoczęte i prowadzone przez autora badania nad opracowaniem sposobu wykorzystania scenariuszy w modelowaniu procesów eksploatacyjnych obejmują swoim obszarem szeroki zakres prac zarówno o charakterze podstawowym (teoretycznym), jak i przemysłowym i rozwojowym. Badania te zmierzają z jednej strony do opracowania metodyki budowy scenariuszy eksploatacyjnych jako podstawy i sposobu modelowania i optymalizacji procesów eksploatacyjnych, z drugiej zaś do opracowania praktycznych narzędzi pozwalających na wykorzystanie opracowanej metodologii w warunkach przemysłowych.

Schemat koncepcji prowadzenia takich badań przedstawiono na rys. 4. Jego poszczególne elementy zostaną opisane w kolejnych podpunktach.



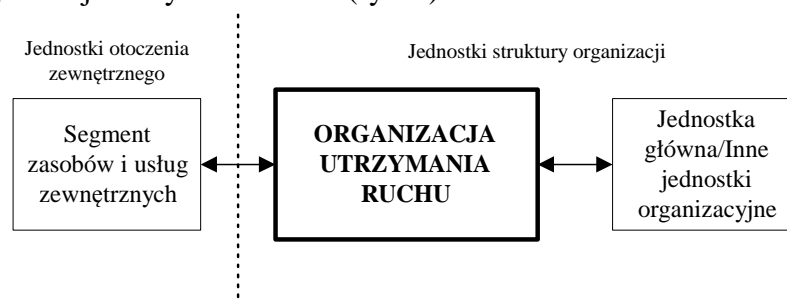
Rys.4. Schemat sposobu prowadzenia badań

### **5.1. Etap 1: Identyfikacja i pozyskiwanie informacji i wiedzy dla potrzeb modelowania obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacji**

Pierwszym etapem badań jest pozyskanie i zgromadzenie odpowiedniego zasobu informacji i wiedzy o obiektach i wszelkich technicznych i nietechnicznych "okolicznościach" ich funkcjonowania, stanowiących potencjalny przedmiot i zakres scenariuszy eksploatacyjnych. Jakość scenariusza, a przez to dokładność prognozy wynika z możliwie dużej różnorodności i szczegółowości informacji, dlatego poszukiwanie i

pozyskiwanie powinno mieć charakter uporządkowany. Podstawą takiego uporządkowania są przesłanki wynikające z trzech płaszczyzn odniesionych do funkcjonowania wybranych obiektów eksploatacji: technicznej, organizacyjno-decyzyjnej i wymiany informacji.

1. Płaszczyzna techniczna obejmuje zbiór czynników o obiektach i realizowanych z ich udziałem procesach eksploatacyjnych. Działania zmierzające do uzyskania informacji omawianego typu dotyczą:
  - identyfikacji złożoności obiektów technicznych będących przedmiotem modelowania,
  - uporządkowania procedur obsługowo-naprawczych realizowanych w ramach zidentyfikowanych wcześniej obiektów technicznych,
  - inwentaryzacji zasobów eksploatacyjnych (siły roboczej, części zamiennych, narzędzi, usług zewnętrznych).
2. Płaszczyzna organizacyjno-decyzyjna obejmuje czynniki wynikające ze sposobu funkcjonowania typowego działu utrzymania ruchu zarówno w aspekcie wewnętrznym, jak również w odniesieniu do szeroko rozumianego otoczenia zewnętrznego. Podstawą może tu być jeden z modeli: ogólny model zarządzania eksploatacją [7] lub model BCM (Business Centered Maintenance) [9]. W tym przypadku identyfikowane są cechy charakterystyczne typowego wzorcowego działu utrzymania ruchu przedsiębiorstwa, co pozwala na zgromadzenie bogatego zasobu informacji i wiedzy dla potrzeb opracowania odpowiednich modeli, a następnie scenariuszy eksploatacyjnych.
3. Płaszczyzna wymiany informacji obejmuje kryteria związane zarówno ze sposobem przepływu informacji w ramach typowej organizacji utrzymania ruchu oraz do/z organizacyjnych jednostek zewnętrznych. Szczególnej uwagi wymaga identyfikacja struktury obiegu informacji, która powinna rozpocząć się od wyodrębnienia obiektu, jakim jest organizacja utrzymania ruchu (rys. 5).



Rys.5. Schemat wzorcowej Organizacji Utrzymania Ruchu w relacji z otoczeniem

Obiekt taki stanowi uogólniony, uproszczony model przepływu informacji pomiędzy rozpatrywaną jednostką organizacyjną a jednostkami zewnętrznymi. Przy czym za jednostki zewnętrzne uważa się zarówno te, które są zawarte w strukturach organizacyjnych systemu przedsiębiorstwa (systemu technicznego), jak również te, które do struktur tych nie należą.

Inwentaryzacja przepływu informacji powinna dotyczyć identyfikacji:

- wejścia i wyjścia informacyjnego,
- struktury przepływu informacji wewnątrz organizacji utrzymania ruchu.

Badania w ramach tego etapu muszą być odniesione do realnie istniejących przedsiębiorstw, w celu uwzględnienia cech wynikających ze specyfiki różnych branż. Zakłada się gromadzenie i porządkowanie informacji i wiedzy, jednocześnie prowadząc analizy począwszy od celu i funkcji działań eksploatacyjnych, przez identyfikację i modelowanie obiektów technicznych, plany strategiczne i prewencyjne, aspekty organizacyjne do elementów kontrolnych.

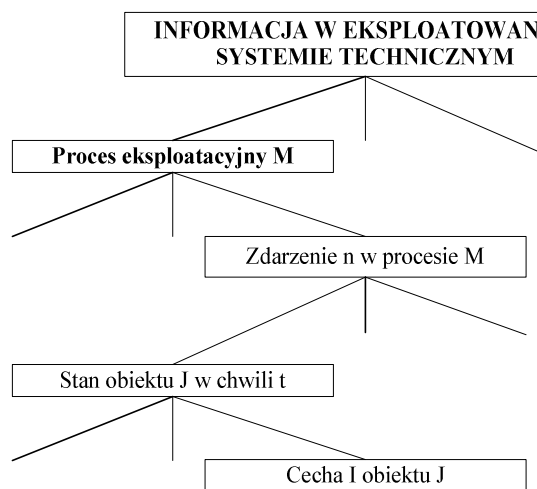


Wynikiem etapu 1 powinien być zbiór informacji i wiedzy związany z funkcjonowaniem typowej wzorcowej organizacji utrzymania ruchu z uwzględnieniem wykorzystanych do tego celu narzędzi informatycznych (np. system klasy CMMs/EAM czy narzędzie modelowania procesów ARIS Toolset).

## 5.2. Etap 2: Budowa i badanie modeli obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacyjnych

Celem badań prowadzonych w ramach tego etapu jest zbudowanie modeli obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacyjnych. Badania te muszą być prowadzone w oparciu o wyniki etapu 1, czyli zebrany zasób informacji i wiedzy o obiektach i realizowanych procesach eksploatacyjnych.

Ze względu na dużą różnorodność modeli stosowanych w obszarze eksploatacji, będą one budowane i porządkowane, w oparciu o schemat obrazujący relacje pomiędzy wybranymi cechami eksploatacyjnymi (rys. 6).



Rys.6. Hierarchiczna struktura informacji eksploatacyjnej [7, 12]

Każdy z przedstawionych poziomów może obejmować zbiór modeli charakterystyczny dla omawianych aspektów eksploatacji systemów technicznych. Przy czym, ze względu na hierarchiczny układ zagadnień eksploatacyjnych powodujący pełną współzależność elementu nadrzędnego i elementów podrzędnych, budowa i porządkowanie modeli będzie odbywać się rozpoczynając od poziomu najniższego. Według powyższego układu, można przyjąć, że:

- w zakresie modelowania obiektów technicznych (cech obiektów) konieczne jest wykorzystanie metod modelowania strukturalnego i funkcjonalnego, jak również metod modelowania grupowego i indywidualnego,
- w odniesieniu do zdarzeń eksploatacyjnych konieczne jest modelowanie zdarzeń zamierzonych i niezamierzonych, w oparciu o istniejące w tym zakresie narzędzia (karty zdarzeń, drzewa zdarzeń, drzewa logiczne itp.) [2, 12] z uwzględnieniem specyfiki procesu decyzyjnego będącego wynikiem lub skutkiem zaistnienia danej sytuacji,
- procesy eksploatacji będą przedmiotem modelowania z użyciem map procesów oraz narzędzi informatycznych (np. Aris Toolset), co pozwala na przeprowadzenie symulacji w odniesieniu do przyszłych zachowań obiektów technicznych.

Wynikiem realizacji badań w ramach tego etapu będzie techniczno-organizacyjny kompleksowy zbiór modeli eksploatacyjnych, jako podstawa scenariuszy eksploatacyjnych oraz systemu obsługi zdarzeń i procesów eksploatacyjnych.

### **5.3. Etap 3: Badanie wpływu zdarzeń i procesów na stan eksploatacyjny typowego przedsiębiorstwa przemysłowego**

Badania w ramach tego etapu będą prowadzone przy założeniu, że stan eksploatacyjny przedsiębiorstwa przemysłowego (z technicznego punktu widzenia) jest określany wskaźnikami rangowymi, których wykorzystanie (podział na określone klasy) pozwoli na określenie skutków oddziaływania poszczególnych zdarzeń i procesów na przedsiębiorstwo.

Przedmiotem badań w ramach tego etapu będzie w pierwszej kolejności identyfikacja klas stanowiących podstawę wyodrębnienia wartości wskaźnika rangowego w oparciu o zaproponowany zbiór miar pozwalających na ilościową ocenę eksploatacji obiektów technicznych oraz funkcjonowania służb utrzymania ruchu. Ze względu na dużą różnorodność tego typu wielkości, celem badań w tym zakresie będzie ocena ich przydatności oraz wybór tych, które w kontekście dalszych prac będą najlepiej odzwierciedlały efektywność, jakość i niezawodność funkcjonowania rozpatrywanych obiektów technicznych. Następnie, w oparciu o opracowane w ramach etapu 2 modele, przeprowadzona zostanie analiza i dokonana identyfikacja wpływu poszczególnych zdarzeń i procesów na stan przedsiębiorstwa charakterystycznych dla każdej zidentyfikowanej klasy. Wymaga to przeprowadzenia szeroko zakrojonych prac klasyfikujących techniczne i nietechniczne (organizacyjne, ekonomiczne) czynniki zdarzeń i procesów wpływające na stan przedsiębiorstwa. Tak nakreślone badania będą realizowane na trzy sposoby:

- metodą wprowadzenia „próbnej” awarii obiektu i symulacji potencjalnych skutków,
- metodą szczegółowej analizy przyczynowo-skutkowej zaistniałych w przeszłości zdarzeń i realizowanych w wyniku tego działań (procesów eksploatacji), porządkowanych z uwzględnieniem modeli wynikających z metodologii Root Cause Failure Analysis (RCFA),
- metodą szczegółowej analizy przyczynowo-skutkowej ewentualnych bieżących zdarzeń i ich skutków (występujących w okresie prowadzenia badań), z których informacje będą uzupełniały materiał badawczy.

Po zgrupowaniu wyników badań i opracowaniu wykazów przyczynowo-skutkowych określone będzie przyporządkowanie zdarzeń i procesów dla obiektów eksploatacji do odpowiedniego wskaźnika rangi.

### **5.4. Etap 4: Budowa i badania modeli scenariuszy zdarzeń i procesów eksploatacji**

W ramach tego etapu, wychodząc z wyników badań przeprowadzonych w ramach poprzednich etapów, zbudowane zostaną modele procesów eksploatacyjnych poprzez wprowadzenie do nich elementów metodologii scenariuszowej, przez co realne będzie uwzględnienie wieloaspektowego charakteru zarządzania procesami eksploatacyjnymi i możliwości podejmowania optymalnych decyzji. Ze względu na specyfikę eksploatacyjną, będą brane pod uwagę dwa typy scenariuszy [4,23]: scenariusze możliwych zdarzeń i scenariusze symulacyjne.

Etap ten zostanie zrealizowany w dwóch krokach:

1. W oparciu o wybrany sposób tworzenia scenariuszy, zostanie opracowany zbiór scenariuszy eksploatacyjnych dla wybranego obszaru techniczno-organizacyjnego. Wybór obszaru będzie warunkowany wynikami badań realizowanych w poprzednich etapach, w szczególności opracowanymi modelami obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacji (etap 2) oraz badaniami nad wpływem poszczególnych zdarzeń i procesów na stan przedsiębiorstwa (etap 3).
2. W oparciu o opracowany zbiór scenariuszy zdarzeń i procesów zostaną opracowane wytyczne do sposobu wykorzystania technik scenariuszowych jako podstawa modelowania zdarzeń i procesów eksploatacyjnych. Pozwoli to na podejmowanie

strategicznych decyzji związanych z eksploataowaniem obiektów technicznych i funkcjonowaniem służb utrzymania ruchu.

Wynikiem realizacji badań w ramach tego etapu będzie zbiór modeli procesów eksploatacyjnych zbudowanych z wykorzystaniem metody scenariuszy wraz z wytycznymi określającymi sposób ich wykorzystania w średnio- i długoterminowym planowaniu i realizacji prac obsługowo-naprawczych.

### **5.5. Etap 5: Budowa systemu obsługi zdarzeń i procesów eksploatacyjnych**

Celem badań w ramach tego etapu będzie opracowanie założeń do budowy systemu obsługi zdarzeń i procesów eksploatacji i budowa takiego systemu, w oparciu o wyniki wcześniejszych etapów. Jako punkt wyjścia do tych badań zakłada się, że budowany system posiada dwie warstwy:

- warstwę akwizycji danych i wiedzy o zdarzeniach i procesach eksploatacji, w postaci komponentów zapewniających komunikację ze źródłami danych i wiedzy w systemie informatycznym przedsiębiorstwa,
- warstwę wspomagania decyzji eksploatacji przez kontrolę przepływu zdarzeń i procesów, z uwzględnieniem opracowanych modeli scenariuszy eksploatacyjnych w postaci zbioru komponentów systemu wspomagania obsługi zdarzeń i procesów eksploatacji.

Wynikiem badań w ramach tego etapu będzie prototypowy system obsługi zdarzeń i procesów eksploatacyjnych, którego działanie potwierdzi praktyczną realizowalność przyjętych w ramach badań założeń.

## **6. Podsumowanie**

Uwzględnienie wieloaspektowego i wielowariantowego charakteru zarządzania procesami eksploatacyjnymi, co przekłada się także na możliwość podejmowania optymalizacji, w praktyce przemysłowej wydaje się być bardziej realne w ujęciu „scenariuszowym” niż w ujęciu klasycznym. Postać modelu, jak również zbiór kryteriów muszą uwzględniać szeroki wachlarz działań technicznych i nietechnicznych, jak również sposób ich powiązania zarówno „wewnątrz” modelowanego procesu, jak i w jego bliższym i dalszym otoczeniu. Może to być realne pod warunkiem odpowiedniej budowy scenariuszy, używanych do opisu sytuacji eksploatacyjnych. Granica złożoności opisu scenariusza wydaje się tkwić nie tyle w samej metodzie, ile w możliwościach narzędzi – głównie informatycznych – wykorzystywanych dla potrzeb praktycznych zastosowań tej metody.

Przedstawiony sposób modelowania procesów eksploatacyjnych stanowi kluczowy element badań autora prowadzonych w Instytucie Inżynierii Produkcji Politechniki Śląskiej. Uzasadnienie podjęcia tej tematyki można określić w dwóch obszarach:

1. w obszarze teorii eksploatacji,
2. w obszarze zastosowań metod i narzędzi wspomagających w praktyce przemysłowej.

Pierwszy obszar uzasadniający podjęcie tej tematyki wynika z nieuzasadnionego, zdaniem autora, braku większego zainteresowania zastosowaniem technik scenariuszowych w dziedzinie nauk technicznych, pomimo że techniki te są znane od wielu lat i stosowane w obszarze nauk ekonomicznych. Zdaniem autora, badania tutaj omawiane mogą stanowić wartość dodaną w dziedzinie eksploatacji maszyn i urządzeń.

Drugi obszar wynika z bogatych, praktycznych i wieloletnich doświadczeń autora w zakresie funkcjonowania służb technicznych (służb utrzymania ruchu) przedsiębiorstw przemysłowych wielu branż (spożywczej, motoryzacyjnej, papierniczej, chemicznej, wodociągowo-kanalizacyjnej i in.). Obecnie najważniejsze problemy eksploatacyjne głównych inżynierów przedsiębiorstw przemysłowych dotyczą planowania długoterminowego, z uwzględnieniem momentów wymian zużytych elementów i całych

obiektów technicznych w warunkach konieczności ciągłego obniżania kosztów. Problemy te nie występują w odosobnieniu technicznym, ale należy uwzględniać jednocześnie organizacyjne, ekonomiczne i normatywno-prawne aspekty funkcjonowania przedsiębiorstwa. Dotychczas problemy te rozwiązywane były w dwóch odrębnych aspektach:

- technicznym, czyli w oparciu o wskaźniki niezawodnościowe uzupełnione w niektórych przypadkach wynikami badań diagnostycznych,
- organizacyjno-ekonomicznym, czyli w oparciu o wskaźniki wynikające z kosztów działalności technicznej przedsiębiorstwa.

Zastosowanie technik scenariuszowych w modelowaniu procesów eksploatacyjnych może stanowić skuteczne narzędzie rozwiązywania problemów planowania i realizacji prac obsługowo-naprawczych wielu przedsiębiorstw przemysłowych, a tym samym umożliwi realizację szczegółowych działań w zakresie:

- wdrażania nowoczesnych filozofii zarządzania utrzymaniem ruchu (TPM, RCM, WCM),
- budowy inteligentnych systemów obsługi zdarzeń i procesów eksploatacyjnych,
- opracowywania procedur eksploatacyjnych w odniesieniu do projektowanych zakładów przemysłowych,
- prowadzenia różnych analiz (np. analizy awaryjności),

a przede wszystkim

- optymalizowania procesu podejmowania decyzji eksploatacyjnych.

## Literatura

1. Cempel C. Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. Warszawa: WNT, 1989.
2. Cholewa W., Kaźmierczak J. Data Processing and Reasoning in Technical Diagnostics. Warszawa: WNT, 1995.
3. Ducot C., Lubben G.J., A Typology of Scenarios. Futures 1980: No. 1.
4. Gierszewska G., Romanowska M. Analiza strategiczna przedsiębiorstwa. Warszawa: PWE, 2003.
5. Heijden K. Planowanie scenariuszowe w zarządzaniu strategicznym. Kraków: Dom Wydawniczy ABC, 2000.
6. Kahn H, Wiener A.J. The Year 2000. A Framework for Speculation on the Next Thirty Three Years. Macmillan, New York 1967.
7. Kaźmierczak J. Eksploatacja systemów technicznych. Gliwice: Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, 2000.
8. Kaźmierczak J., Loska A. Scenariusze eksploatacyjne. Służby Utrzymania Ruchu 2007; 3: 64-69.
9. Kelly A.: Strategic Maintenance Planning. Butterworth-Heinemann, Oxford 2006.
10. Legutko S.: Development trends in machines operation maintenance. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2009; 2(49): 8-16.
11. Levitt J.: The Handbook of Maintenance Management. New York: Industrial Press Inc., 1997.
12. Loska A. Bazy danych w zarządzaniu eksploatacją maszyn i urządzeń. Rozprawa doktorska. Gliwice: Politechnika Śląska, 2002.
13. Loska A. Koncepcja wykorzystania scenariuszy w modelowaniu procesów eksploatacyjnych. Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa ORGMASZ 2005; 4: 106.
14. Loska A. Modelowy sposób funkcjonowania służb utrzymania ruchu - strategie eksploatacyjne, Służby Utrzymania Ruchu; 2010: 3(21),

15. Loska A. Pozyskiwanie informacji dla potrzeb budowy scenariuszy eksploatacyjnych. Świnoujście-Kopenhaga 2006: IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna EXPLO-SHIP, 197-206.
16. Loska A. Przegląd metod modelowania jako podstawa budowy scenariuszy eksploatacyjnych. Opole: Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2010, t. 2, 152-161.
17. Loska A. Sposób wspomagania zarządzania utrzymaniem ruchu z wykorzystaniem wybranych narzędzi informatycznych, Służby Utrzymania Ruchu 2008-2009.
18. Loska A. Zastosowanie metodologii Business Centered Maintenance w pozyskiwaniu i porządkowaniu informacji dla potrzeb konstruowania scenariuszy eksploatacyjnych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa ORGMASZ* 2008; 6: 77-78.
19. Loska A., Senczyzna S., Kaźmierczak J. Modelowanie struktury technicznej przedsiębiorstwa dla potrzeb komputerowego wspomagania zarządzania eksploatacją. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa ORGMASZ* 2007; 7: 81-82.
20. Moubray J. RCM II - Reliability Centered Maintenance. Oxford: Elsevier Ltd., 2007.
21. Niebel W.B. Engineering Maintenance Management. New York: Marcel Dekker Inc., 1994.
22. Percy D. F., Kobbacy K. A. H. Preventive maintenance modelling. A Bayesian perspective, *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 1996; vol. 2, nr 1: 15-24.
23. Praca zbiorowa pod red. Cieślak M. Prognozowanie gospodarcze. Metody i Zastosowanie. Warszawa: PWN, 2001.
24. Praca zbiorowa pod red. Koradecka D. Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Warszawa: Centralny Instytut Ochrony Pracy, 1999.
25. Skotnicka-Zasadzień B., Biały W.: An analysis of possibilities to use Pareto chart for evaluating mining machines' failure frequency. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2011; 3(51): 51-55.
26. Staniszewski R. Sterowanie procesem eksploatacji. Warszawa: WNT, 1990.
27. Żółtowski B, Niziński S. Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. Bydgoszcz, Sulejówek: MARCAR, 2002.
28. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Bydgoszcz: Akademia Techniczno-Rolnicza, 1996.