

MODELOWY PRZEGLĄD BADAŃ DLA POTRZEB SKUTECZNOŚCI FUNKCJONOWANIA SŁUŻB UTRZYMANIA RUCHU PRZEDSIĘBIORSTWA PRZEMYSŁOWEGO

Andrzej LOSKA

Streszczenie: Artykuł stanowi próbę identyfikacji i uporządkowania zadań badawczych, których efekty są lokalizowane w praktyce służb utrzymania ruchu przedsiębiorstw przemysłowych. Po dokonaniu przeglądu podstawowych pojęć, zaproponowano model uwzględniający trójplaszczynowy układ problemów eksploatacyjnych, który następnie stanowił podstawę identyfikacji i analizy zadań badawczych podejmowanych zarówno w kontekście teoretycznym-modelowym, jak i praktycznym-przemysłowym. Wyróżnione tutaj kategorie zadań poparto szerokim zasobem publikacji naukowych wybranych i uznanych przez autora za reprezentatywne. W końcowej części artykułu, zwrócono uwagę na:

- wieloaspektowość problemów eksploatacyjnych, czyli potrzebę prowadzenia badań zarówno w kierunku technicznym, jak i organizacyjnym i ekonomicznym, nie tylko w obrębie dyscypliny Budowa i eksploatacja maszyn, ale także Inżynieria Produkcji,
- nierozwiązany dotychczas problem niepewności eksploatacyjnej, czyli potrzebę podejmowania decyzji w odniesieniu do przyszłości z uwzględnieniem nie tylko cech analizowanego obiektu technicznego, ale także jego szerokiego otoczenia.

Słowa kluczowe: badania eksploatacyjne, zarządzanie utrzymaniem ruchu, modelowanie procesów eksploatacyjnych.

1. Wprowadzenie

Eksploatacja systemów technicznych jest obecnie bardzo popularnym zagadnieniem, zarówno w aspekcie badawczym, jak i w kontekście zastosowań praktycznych. Można zauważyć kilka powodów dużego i stale wzrastającego zainteresowania tym obszarem techniki.

Po pierwsze ciągle aktualna jest potrzeba osiągnięcia i utrzymania wysokiej efektywności systemów technicznych, co przy wzrastającej ich złożoności, prowadzi do potencjalnego pogorszenia wartości cech wynikających z modeli niezawodnościowych. Stwarza to konieczność podejmowania systematycznych działań kontrolnych i zaradczych.

Po drugie, postępująca od początku lat 90-tych XX wieku, tendencja szerokiego wykorzystania w pracach eksploatacyjnych metod wspierających procesy użytkowania, a przede wszystkim procesy obsługowo-naprawcze, spowodowała uproszczenie kluczowych modeli decyzyjnych i dość powszechną adaptację nowych rozwiązań organizacyjnych w warunkach przemysłowych. Jedną z typowych koncepcji, uzasadniającą powyższą tezę, może być strategia RCM – Reliability Centered Maintenance, która jest doskonałym sposobem i przykładem implementacji teorii niezawodności w warunkach realizacji zadań

przez eksploatatorów-praktyków, dla których klasyczne statystyczne modele decyzyjne mogą wydawać się niejasne i zbyt trudne do opanowania.

Po trzecie, wraz z rozwojem komputerowych technik wspomagających, pojawiły się w zastosowaniach praktycznych narzędzia ułatwiające pracę służb utrzymania ruchu. W szczególności, istniejące rozwiązania informatyczne pozwalają na gromadzenie i przetwarzanie danych, informacji i wiedzy o obiektach i realizowanych procesach eksploatacyjnych umożliwiając i ułatwiając podejmowanie skutecznych decyzji w obszarach technicznym, organizacyjnym i ekonomicznym.

Powyższe uwarunkowania, mające niewątpliwie charakter pozytywny, należy uzupełnić o problemy, które wynikają z tych samych przesłanek, czyli dużej badawczej i przemysłowej popularności obszaru eksploatacyjnego. Można wskazać na dwa aspekty:

1. Dostępność nowoczesnych metod i narzędzi oraz prostota ich używania może prowadzić do pozornego przekonania o małej złożoności problematyki eksploatacyjnej. Zjawisko to obserwuje się poprzez podejmowanie wieloaspektowych problemów eksploatacyjnych w obszarze inżynierii eksploatacji w ujęciu organizacyjnym (np. wybrane aspekty decyzyjne w zarządzaniu utrzymaniem ruchu systemów technicznych) bez świadomości, a co za tym idzie gruntownej wiedzy o czynnikach podstawowych mających swoje źródła w aspektach fizykalnych (np. tribologia) czy teorii eksploatacji (np. zagadnienia niezawodności czy diagnostyki technicznej).
2. Wieloaspektowość zadań eksploatacyjnych i okołoeksploatacyjnych powoduje, że wynikające z ich realizacji problemy są przedmiotem badań w obrębie kilku dyscyplin naukowych. W szczególności, w ostatnich kilku latach do podstawowej dotychczas lokalizacji badań eksploatacyjnych, jaką jest dyscyplina Budowa i eksploatacja maszyn, dołączyła nowopowstała dyscyplina Inżynieria Produkcji. W tym obszarze, pojawia się spora ilość publikacji dotyczących przede wszystkim problemów funkcjonowania i wymagań obsługowo-naprawczych obiektów technicznych w warunkach przemysłowych przy uwzględnieniu aspektów organizacyjnych i ekonomicznych.

W kontekście powyższych uwarunkowań, zamierzeniem autora, a zarazem celem tego artykułu była próba uporządkowania podejmowanych kluczowych problemów eksploatacyjnych w oparciu o zaproponowany model trójplaszczynowy, a następnie dokonanie przeglądu eksploatacyjnych zadań badawczych w ujęciu wybranych publikacji naukowych.

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.

2. Zakres pojęcia eksploatacja

Badania naukowe są wartościowe wtedy, gdy są osadzone w obrębie określonej teorii. Dzieje się tak m.in. w obszarze eksploatacji systemów technicznych, gdzie odpowiednio ugruntowane podstawy teoretyczne i metodologiczne formułowanych celów i problemów badawczych pozwalają na uzyskanie wyników, które przełożą się nie tylko na nowe zagadnienia stanowiące przedmiot zainteresowań naukowców, ale przede wszystkim na konkretne zastosowania praktyczne.

Praktyka eksploatacyjna generuje wiele nowych oraz przypomina o już istniejących i jeszcze nie rozwiązanych problemach, które tworzą szerokie spektrum różnorodnych

zagadnień, wymagających prac prowadzonych zarówno w oparciu o modele teoretyczne obiektów i systemów technicznych, jak i doświadczenia służb utrzymania ruchu.

W kontekście dużej różnorodności możliwych kierunków badawczych w powiązaniu z wieloaspektowością podejmowanej obecnie problematyki eksploatacyjnej należy stwierdzić, że dokonanie pełnego i szczegółowego przeglądu możliwości i potrzeb w omawianym obszarze wydaje się zadaniem dość trudnym. Trudność wynika przede wszystkim z konieczności zdefiniowania ram takiego przeglądu z uwzględnieniem aspektów, które w opinii niektórych badaczy, w klasycznej teorii i praktyce eksploatacji, dotychczas nie były brane pod uwagę.

W tej sytuacji należy odwołać się do definicji eksploatacji. Prezentowane w literaturze koncepcje sprowadzają się do trzech kategorii:

- eksploatacja jako synonim użytkowania, czyli używania wytworów techniki do zaplanowanych działań [14, 77], a w aspekcie systemów produkcyjnych - jako zbiór działań pomocniczych (najczęściej serwisowych) [17, 18],
- eksploatacja jako zbiór procesów technicznych, opisujących zorientowane czasowo zdarzenia, stanowiące podstawę podejmowania określonych na nie reakcji, skutkujące przeplatającymi i wzajemnie uzupełniającymi się działaniami użytkowymi i obsługowo-naprawczymi [23, 85, 87, 13],
- eksploatacja jako złożony zespół przedsięwzięć technicznych i nietechnicznych związanych z kompleksowym zapewnieniem właściwego funkcjonowania obiektów/systemów technicznych zarówno w chwili obecnej, jak i w przyszłości [27, 38, 88].

W aspekcie zamierzeń badawczych stanowiących przedmiot tego opracowania, a także dla potrzeb identyfikacji zakresu prowadzonych badań eksploatacyjnych trafną wydaje się definicja eksploatacji przynależna do ostatniej wymienionej grupy. W myśl tej definicji: eksploatacja systemu technicznego jest to zbiór celowych działań technicznych, organizacyjnych, normatywno-prawnych i ekonomicznych, podejmowanych przez człowieka z wykorzystaniem odpowiednich środków w okresie od rozpoczęcia funkcjonowania systemu do jego kasacji [27].

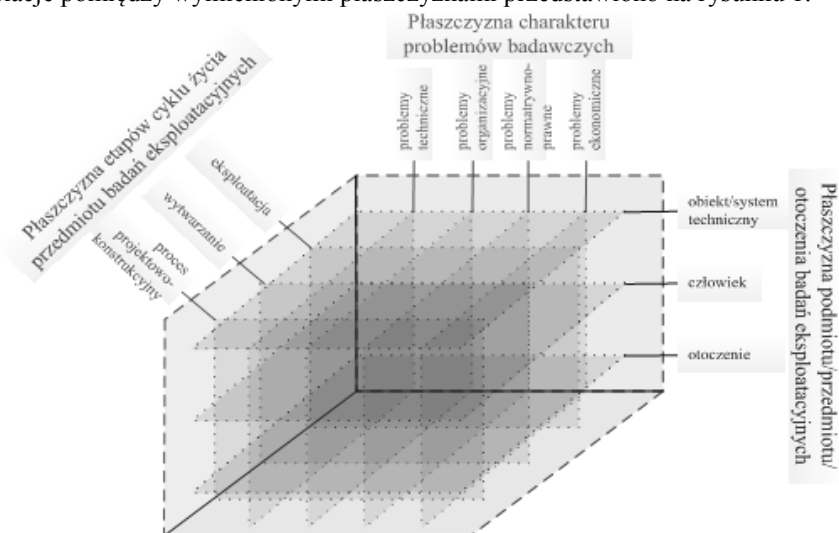
3. Trój płaszczyznowy układ problemów badawczych

Przedstawiona w poprzednim punkcie definicja eksploatacji odzwierciedla techniczne aspekty funkcjonowania systemów technicznych w całym cyklu jego „życia”, a także wszystkie aspekty okołoeksploatacyjne odnoszące się zarówno do samego obiektu, jak również wszystkich uczestników i zasobów procesów eksploatacji. Szczegółowa jej interpretacja pozwala na określenie obszaru analizowanych problemów eksploatacyjnych, a tym samym zakresu możliwych, a przede wszystkim potrzebnych do realizacji prac badawczych. Definicja ta wskazuje na trój płaszczyznowy układ problemów eksploatacyjnych, warunkujących podejmowane badania, w szczególności:

- płaszczyzna charakteru problemów eksploatacyjnych (problemy techniczne, problemy organizacyjne, problemy normatywno-prawne, problemy ekonomiczne), wynikająca z zakresu typów koniecznych do realizacji prac eksploatacyjnych w typowym przedsiębiorstwie przemysłowym,
- płaszczyzna etapów cyklu życia przedmiotu badań eksploatacyjnych (proces projektowo-konstrukcyjny, wytwarzanie, eksploatacja), wynikająca z konieczności identyfikacji cech obiektu eksploatacji na wszystkich etapach jego „życia”,
- płaszczyzna podmiotu/przedmiotu/otoczenia badań eksploatacyjnych

(obiekt/system techniczny, człowiek, środowisko), wynikająca z konieczności uwzględnienia funkcjonowania obiektu technicznego w środowisku zewnętrznym z udziałem człowieka w analizowanych procesach.

Relacje pomiędzy wymienionymi płaszczyznami przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Trójpłaszczyznowy układ problemów eksploatacyjnych

Poszczególne płaszczyzny wyznaczają zakres podejmowanych eksploatacyjnych prac badawczych, jednakże ze względu na istotę wieloaspektowości analizowanych procesów oraz w kontekście problemów dotyczących zarządzania utrzymaniem ruchu systemów technicznych, ważne są także relacje międzypłaszczyznowe. W szczególności:

- powiązania pomiędzy elementami w ramach jednej płaszczyzny, wyznaczają cel i zakres rozwiązywania już sprecyzowanych eksploatacyjnych zadań badawczych w sposób bardziej szczegółowy i dogłębny (np. analiza problemu efektywności eksploatacyjnej obiektu nie tylko w oparciu o bieżące i historyczne wyniki procesu jego użytkowania, ale także z uwzględnieniem definiowanych i modyfikowanych cech konstrukcyjnych), formułowanie zaś nowych problemów staje się wielowątkowe, a przez to kompleksowe (np. problem obsługiwalności obiektów technicznych powinien uwzględniać nie tylko techniczną możliwość wykonania odpowiednich przeglądów czy napraw, ale także ich opłacalność ekonomiczną z założeniem potencjału organizacyjnego i wymagań prawnych),
- powiązania międzypłaszczyznowe, stanowią siłę napędową w obszarze badań eksploatacyjnych, stając się głównym motorem rozwiązań innowacyjnych w kontekście metod i technik, eksploatacyjnych środków technicznych, jak i odpowiednich postaw (np. problem funkcjonalności obiektów technicznych powinien być rozpatrywany w kontekście wszystkich trzech płaszczyzn, ponieważ stanowi on zagadnienie optymalizacji z uwzględnieniem kryteriów wynikających z relacji pomiędzy obiektem technicznym - cechami obiektu a użytkującym/obsługującym go człowiekiem, w świetle warunków technicznych, ekonomicznych i normatywno-prawnych przy założeniu właściwej kultury eksploatacyjnej).

4. Przegląd eksploatacyjnych obszarów badawczych

Przyjmując, jako punkt wyjścia jedną z płaszczyzn w ramach modelu przedstawionego na rysunku 1, a następnie przechodząc przez kolejne jej elementy i/lub elementy pozostałych płaszczyzn, możliwe staje się zdefiniowanie zakresu konkretnego przypadku badań eksploatacyjnych. W szczególności, wychodząc od płaszczyzny podmiotu/przedmiotu i otoczenia badań eksploatacyjnych, można wyróżnić kilka kluczowych obszarów badawczych:

A. Badania nad kształtowaniem cech eksploatacyjnych obiektów/systemów technicznych. W tym zakresie dąży się do optymalizacji takich cech, jak niezawodność, efektywność czy funkcjonalność. Badania eksploatacyjne skupione na obiektach technicznych są prowadzone we wszystkich etapach cyklu życia obiektu (płaszczyzna etapów cyklu „życia” przedmiotu badań eksploatacyjnych), przy czym największy wpływ na kształtowanie poszczególnych cech występuje w procesie projektowo-konstrukcyjnym, natomiast procesy użytkowe i obsługowo-naprawcze mogą być efektem optymalnego ich sterowania.

Punktem wyjścia do prowadzenia badań w obszarze podstawowych cech jest możliwość modelowania obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacji. Obserwowana w literaturze różnorodność koncepcji jest pozytywnym efektem szerokiego zakresu podejmowanych prac badawczych w obszarze teorii eksploatacji. Do najistotniejszych publikacji prezentujących wyniki konstruowania i testowania modeli obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacji należy zaliczyć: [32, 25, 87]. Prezentowane tutaj modele procesów eksploatacji wyrażają najczęściej matematyczną postać opisu możliwych stanów obiektu (np. w ujęciu stochastycznym) oraz relacje i przejścia pomiędzy użytkowaniem i obsługiwaniem (np. za pomocą grafów). Modele tego typu stanowią bazę opisów potencjalnych zachowań obiektów i w powiązaniu z eksploatacyjną informacją nietechniczną („okołoeksploatacyjną”) mogą służyć do budowy oraz weryfikacji systemów decyzyjnych funkcjonowania służb utrzymania ruchu w warunkach przemysłowych.

Kluczowym zagadnieniem eksploatacyjnym stanowiącym przedmiot prowadzonych prac badawczych jest niezawodność, rozumiana jako sposób probabilistycznego określania możliwości funkcjonowania obiektu/systemu technicznego. Badania niezawodnościowe mają najczęściej charakter:

- teoretyczny, których celem jest opracowanie lub weryfikacja modeli matematycznych ilościowo opisujących sposób użytkowania i/lub obsługiwania obiektów/systemów technicznych; badania tego typu są od wielu lat przedmiotem dużej liczby publikacji, wśród których występują: [10, 23, 87],
- praktyczny, których celem jest budowa i weryfikacja wybranych procedur i miar niezawodnościowych w rzeczywistym środowisku pracy (np. procedur realizacji założeń programu wzrostu niezawodności, czy sposób prowadzenia oceny eksploatacyjnej w oparciu w wybrane miary - MTBF, MTTR); w tym zakresie na uwagę zasługują publikacje omawiające rozwiązania innowacyjnych strategii i systemów niezawodnościowych w ujęciu przemysłowym, np. strategii RCM (ang. Reliability Centered Maintenance): [50, 52, 69], jak również przykłady zastosowań wybranych modeli i narzędzi statystycznych w rzeczywistych układach organizacyjno-technicznych, np. [68, 78].

Warto w tym miejscu dodać, że w oparciu o wyniki wieloletnich badań, całokształt działań niezawodnościowych został ujęty w serii norm opatrzonych wspólnym tytułem: Zarządzanie niezawodnością [61].

Analiza podejmowanych i realizowanych obecnie prac badawczych w obszarze niezawodności wskazuje na wyraźne przyszłe ukierunkowanie w stronę rozwoju metod i narzędzi zintegrowanych, w których oprócz statystycznych modeli oceny stanu technicznego uwzględniane będą probabilistyczne aspekty bezpieczeństwa, a także fizjologiczne i psychologiczne cechy funkcjonowania człowieka w kontakcie z obiektem technicznym [81].

Punktem wyjścia do badań niezawodnościowych jest znajomość stanu technicznego obiektu, którego identyfikacja odbywa się na drodze eksploatacyjnych badań diagnostycznych. Klasyfikacja i charakterystyka metod oraz sposoby prowadzenia badań diagnostycznych są przedmiotem bardzo wartościowych publikacji, czego przykładem mogą być: [9, 12, 11, 49, 88], natomiast wyniki zastosowań modeli i metod diagnostycznych w praktyce eksploatacyjnej można znaleźć np. w: [76, 2, 4]. Duże znaczenie, dla sposobów identyfikacji stanu technicznego, odgrywa historia eksploatacji obiektów, czego efektem są badania nad sposobami analizy awaryjności. Przykłady publikacji opisujących wyniki badań metodologicznych z omawianego obszaru obejmują m.in.: [36, 47, 1, 62], natomiast analizy zastosowań wybranych technik (np. RCFA, FMEA) w określonych układach organizacyjno-technicznych, a w konsekwencji propozycje ich modyfikacji i pozycjonowania opisano m.in w: [65, 35, 44].

Nieodłącznym elementem badań dotyczących modelowania procesu decyzyjnego wynikającego z identyfikacji i oceny stanu technicznego są aspekty pozatechniczne. W szczególności, chodzi o problem optymalizacji czasu i kosztów powiązane z osiągnięciem określonego stanu technicznego lub poziomu niezawodności. Wyniki takich prac przedstawiono m.in. w: [46, 54, 82].

Efektywność eksploatacji obiektów technicznych jest definiowana niejednoznacznie, m.in. ze względu na trwające dyskusje naukowe na temat zakresu tzw. efektu pracy obiektu. W najprostszym układzie, mówi się o efektywności technicznej i/lub ekonomicznej [7], bardziej złożone, najczęściej matematyczne, interpretacje zakładają możliwość budowy modelu oceny efektywności jako wielkości wypadkowej cech o różnym znaczeniu, np. wskaźnik OEE (ang. Overall Equipment Effectiveness). Stąd, problem efektywności znajduje swoje odbicie w szerokiej gamie prac badawczych, które skupiają się najczęściej na próbach wyznaczenia matematycznych modeli miar, a także na ocenie wdrażania procedur organizacyjnych, pozwalających tę efektywność uzyskać. Współczesne publikacje opisujące wyniki badań w obszarze efektywności eksploatacji obejmują w dużej mierze zagadnienia strategii TPM (ang. Total Productive Maintenance), w aspekcie założeń metodologicznych, m.in. w [72, 51, 37], jak i rozwiązań aplikacyjnych [73, 16, 43]. Szeroko są także podejmowane próby budowy i przemysłowej weryfikacji modeli obliczeniowych, w oparciu o miary skupione w ramach wskaźnika OEE, np. [34, 63], czy coraz popularniejsze eksploatacyjne miary KPI (ang. Key Performance Indicators) [84, 58, 60, 70, 41].

B. Badania nad rolą człowieka w procesach eksploatacyjnych, które dotyczą zarówno jego udziału w czynnościach użytkowych, działaniach obsługowo-naprawczych, jak i wszelkich pomocniczych pracach okoł eksploatacyjnych. Badania tego typu polegają najczęściej na:

- poszukiwaniu optymalnych sposobów wzajemnego dostosowania cech użytkowanych i obsługiwanych obiektów technicznych do cech psychofizycznych człowieka w środowisku pracy; przykładowe prace są związane m.in. z badaniami modelowymi i symulacyjnymi prowadzonymi w oparciu o: systemy antropotechniczne i tzw. rozszerzoną rzeczywistość (ang. augmented reality) - np.

[48, 67, 83], ocenę niezawodności człowieka w środowisku pracy - np. [64, 33, 66] czy modele kultury eksploatacyjnej [55, 75],

- poszukiwaniu i weryfikacji efektywnych sposobów i narzędzi prowadzenia prac obsługowo-naprawczych w przedsiębiorstwach; opracowania naukowe z tego obszaru, który jest określany mianem zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu, obejmują: propozycje kompleksowych koncepcji metodologicznych i narzędziowych, m.in. [29, 7, 72], elementy składowe strategii i systemów zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu, m.in. [28, 39, 79, 53], analizy i oceny modeli organizacji prac pracowników służb technicznych przedsiębiorstw (np. w ramach outsourcingu), m.in. [3, 8, 21].

C. Badania nad otoczeniem obiektów i procesów eksploatacji, które mogą przyjmować postać otoczenia bliższego - związanego z bezpośrednim funkcjonowaniem obiektów i realizacją procesów eksploatacyjnych oraz otoczenia dalszego - związanego z oddziaływaniem obiektów na otoczenie nie dotyczące bezpośrednio realizacji procesów eksploatacyjnych. W szczególności:

- badania bliższego otoczenia dotyczą optymalizacji ilości, kosztów i czasu w zakresie zapewnienia niezbędnych zasobów i środków do realizacji procesów eksploatacyjnych, które najczęściej są związane z gospodarką częściami zamiennymi i materiałami eksploatacyjnymi [7, 6],
- badania dalszego otoczenia dotyczą oceny szkodliwego wpływu eksploatacji obiektów technicznych na środowisko przemysłowe, czego wynikiem są rozwiązania techniczne, organizacyjne i prawne zmniejszające ekspozycję człowieka na występujące zagrożenia; przykładem eksploatacyjnych badań tego typu jest ocena efektów wibroakustycznych funkcjonujących maszyn i urządzeń oraz praca nad rozwiązaniami zmniejszającymi narażenie na związane z tym zagrożenia [74, 5, 57, 31].

Analizując w dalszej kolejności zaproponowany układ płaszczyzn badawczych (rys. 1), można także zidentyfikować relacje odnoszące się do ostatniego problemu eksploatacyjnego w ramach cyklu życia produktu (płaszczyzna etapów cyklu życia przedmiotu działań eksploatacyjnych - rys. 1). Chodzi o zagadnienie pozbywania się zużytych lub uszkodzonych obiektów/systemów technicznych, zarówno w aspekcie modelowania i optymalizacji czasowych parametrów wycofywania (np. ocena potencjału eksploatacyjnego [56]), jak również sposobu zagospodarowania obiektów nie nadających się do dalszego użytkowania (np. regeneracja i recykling [20], możliwość powtórnego wykorzystania [30, 59, 22]).

Uzupełnieniem wybranych i przedstawionych kierunków są badania dotyczące modeli, metod i narzędzi komputerowego wspomaganie prac eksploatacyjnych. Problem komputerowego wspomaganie w eksploatacji jest problemem złożonym, dotyczy wszystkich wymienionych obszarów badawczych (rys. 1) i nie ogranicza się tylko do aspektów „komputerowo-narzędziowych”, ale wymaga gruntownej analizy relacji „system informacyjny - system informatyczny” w odniesieniu do rozpatrywanego układu organizacyjno-technicznego, w którym jest eksploatowany system techniczny. W ten sposób podstawą identyfikacji wartościowych obszarów badawczych jest układ zadaniowy zweryfikowany w kontekście, zaproponowanej w [27] metodologii wspomaganie zadań inżynierskich, opartej na rozważeniu zadań eksploatacyjnych w aspekcie trzech kryteriów: możliwości, celowości i sensowności zastosowania metod i narzędzi komputerowego wspomaganie. W kontekście powyższych założeń, potencjalny obszar rozwiązań wspomagających w eksploatacji jest bardzo szeroki i niejednorodny, co znacząco wpływa

na możliwości klasyfikacyjne. Niemniej jednak, przyjmując, jako kryterium, przemysłowe warunki funkcjonowania obiektów technicznych, można wyróżnić trzy obszary badawcze, kluczowe dla zadań wspomagania w eksploatacji:

1. Wspomaganie użytkownika, związane z bieżącym wykorzystaniem informacji eksploatacyjnej do podejmowania decyzji w trakcie funkcjonowania obiektów technicznych, m.in. badania rozwiązań w zakresie narzędzi sterowania i kontroli procesów eksploatacyjnych w systemach produkcyjnych [15, 26].
2. Wspomaganie technicznego obszaru obsługiwanego, którego przedmiotem są prace badawcze prowadzone bezpośrednio w przedsiębiorstwach przemysłowych (przy udziale lub współudziale służb utrzymania ruchu), jak i w warunkach laboratoriów badawczo-rozwojowych. W szczególności badania takie dotyczą:
 - wspomaganie prac diagnostycznych, związane z wykorzystaniem rozwiązań informatycznych w zakresie poszczególnych etapów procesu diagnostycznego w odniesieniu do eksploatowanych obiektów technicznych; przykładowe rozwiązania konkretnych metod i narzędzi zawarto m.in. w [71, 86, 24],
 - wspomaganie prac niezawodnościowych, związane z analizą i oceną metod i narzędzi do wyznaczania i wizualizacji wybranych miar statystycznych dla potrzeb eksploatacyjnego procesu decyzyjnego; przykład założeń metodologicznych oraz prototypowe rozwiązanie wspomagające przedstawiono m.in. w [19, 80].
- 3.. Wspomaganie organizacyjnego obszaru obsługiwanego, związane z zadaniami zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu systemów technicznych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Prowadzone w tym zakresie badania dotyczą najczęściej weryfikacji wybranych koncepcji zarządzania w świetle istniejących i stosowanych narzędzi informatycznych. Ze względu na szeroki dostęp praktyków do systemów komputerowych wykorzystywanych w działaniach służb utrzymania ruchu w przedsiębiorstwach przemysłowych istnieje spora grupa opracowań z omawianej tematyki. Opracowania takie można podzielić na dwie grupy:
 - publikacje metodologiczne prezentowane w postaci pozycji zwartych lub artykułów w czasopismach recenzowanych, zawierające analizy i oceny możliwości i potrzeb wspomaganie zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu, modelowe podstawy wspomaganie czy ocenę określonych rozwiązań informatycznych, np. [39, 7],
 - publikacje praktyczne (przemysłowe) w postaci dużej liczby opracowań i artykułów w czasopismach branżowych (np. Maintworld, Plant Engineering, Służby Utrzymania Ruchu, Utrzymanie Ruchu i inne), które najczęściej przedstawiają możliwości wybranych narzędzi wspomagających i sposobów ich wdrożenia w konkretnych organizacjach przemysłowych, ewentualnie wrażenia i doświadczenia autorów z użytkowania wybranych programów komputerowych, np. [40, 45].

5. Podsumowanie

Podsumowując szczegółowy przegląd badań eksploatacyjnych, należy stwierdzić, że obszar, jak również zakres prowadzonych prac ma charakter interdyscyplinarny, co obrazuje ilość i układ płaszczyzn przedstawionych na rys. 1. Różnorodność stosowanych w tym obszarze modeli, metod i narzędzi została potwierdzona i zobrazowana wielością

wartościowych publikacji naukowych, w których pomimo różnych sposobów podejścia i proponowanych procedur postępowania, główne cele eksploatacyjne można sprowadzić do optymalizacji zadań z uwzględnieniem trzech głównych kryteriów.

- czasu, czyli wydłużanie okresów użytkowania obiektów z jednoczesnym skracaniem okresów nieużytkowych (prac obsługowo-naprawczych),
- ekonomii, czyli obniżanie kosztów eksploatacji obiektów (bezpośrednich i pośrednich), przy zachowaniu wymaganych wartości kluczowych cech eksploatacyjnych,
- cech eksploatacyjnych, czyli efektywności, funkcjonalności i bezpieczeństwa co pozwala na ciągle doskonalenie funkcjonowania systemów technicznych w relacji do człowieka i otoczenia.

W ten sposób, skuteczność proponowanych koncepcji naukowych i opracowywanych, a następnie wdrażanych rozwiązań, powinny dążyć do osiągania wartości odpowiednio ekstremalnych cech (maksymalnych lub minimalnych), w zależności od istniejących organizacyjno-technicznych warunków eksploatacji obiektów technicznych, tworząc w ten sposób podstawę do optymalnego procesu decyzyjnego.

Należy podkreślić, że główne cele eksploatacyjne mają swoje odniesienie nie do bieżącej chwili czasu, ale do bliższej lub dalszej przyszłości. W związku z tym kluczowym efektem eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, który w praktyce przemysłowej jest realizowany na większości technicznych i ekonomicznych szczebli organizacyjnych przedsiębiorstwa (od szczebla zarządzania przedsiębiorstwem do poziomu pracowników służb utrzymania ruchu), jest zbiór efektów opisujących zachowanie się obiektu w założonym najlepiej dłuższym horyzoncie czasowym.

Przyjmując jednocześnie, że przemysłowe procesy eksploatacyjne mają miejsce w dynamicznie zmieniających się warunkach bliższego i dalszego otoczenia obiektów technicznych, istotnym problemem jest sposób modelowania przyszłości decyzyjnej w warunkach niepewności. Aspekt niepewności w eksploatacyjnym procesie decyzyjnym będzie przedmiotem kolejnych artykułów autora, w postaci analizy i oceny stosowanych rozwiązań, a także propozycji nowego podejścia do modelowania procesu decyzyjnego z wykorzystaniem modeli scenariuszy, które jak dotychczas, nie znalazło swojego odbicia w szeroko zakrojonych badaniach literaturowych.

Literatura

1. Affonso L.: Machinery Failure Analysis Handbook: Sustain Your Operations and Maximize Uptime. Gulf Publishing Company, Huston (USA), 2006.
2. Batko W., Korbiel T., Pawlik P.: Analiza eksperymentalna przydatności trajektorii fazowych do diagnostyki maszyn wirujących. Problemy eksploatacji, 1/2012, str. 7-15.
3. Bertolini M., Bevilacqua M., Braglia M., Frosolini M.: An analytical method for maintenance outsourcing service selection. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 21, No. 7, 2004, pp. 772-788.
4. Boczkowski A.: Detekcja typowych uszkodzeń skrzyń przekładniowych metodami wibroakustycznymi. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, nr 10(82)/2006, str. 83-96.
5. Boczkowski A.: Racjonalne projektowanie i wdrażanie zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Materiały XXXIX Zimowej Szkoły Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice-Szczyrk, 2011, str. 117-126.

6. Brown M.: *Managing Maintenance Storerooms*. Wiley Publishing Inc., Hoboken(USA), 2004.
7. Campbell J., Jardine A., McGlynn J.: *Asset Management Excellence. Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*. CRC Press, Boca Raton (USA), 2011.
8. Campbell J.D.: Outsourcing in maintenance management. A valid alternative to self-provision. *Journal of Quality of Maintenance Engineering*, Vol. 1, No. 3, 1995, pp. 18-24.
9. Cempel C.: *Diagnostyka wibroakustyczna maszyn*. PWN, Warszawa, 1989.
10. Chmurawa M., Bińkowski W.: *Podstawy niezawodności i eksploatacji maszyn roboczych*. Politechnika Śląska, skrypt nr 936, Gliwice, 1980.
11. Cholewa W. Kaźmierczak J.: *Diagnostyka techniczna maszyn: przetwarzanie cech sygnałów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1995.
12. Cholewa W., Moczulski W.: *Diagnostyka techniczna maszyn: pomiary i analiza sygnałów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993.
13. Dąbrowski T., Bedkowski L.: Diagnostowanie i dozorowanie stanu obiektu eksploatacji. *Problemy eksploatacji*, 2(77)/2010, str. 7-15.
14. Drabik L., Sobol E. (red.): *Słownik języka polskiego*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 2007.
15. Drzymała P., Welfle P., Wiak S., Rutkowski J.: System przetwarzania i analizy danych procesowych z wykorzystaniem baz danych. *Czasopismo Studia Informatica*, 2009, Vol. 30, nr 2B, str. 359-383.
16. Duplaga M.: Wdrażanie TPM w praktyce dużego przedsiębiorstwa. *Czasopismo Technologia i Automatykacja Montażu*, 3/2009, str. 25-32.
17. Durlik I.: *Inżynieria zarządzania: strategia i projektowanie systemów produkcyjnych*. Wydawnictwo Placet, Gdańsk, 2007.
18. Dwiliński L.: *Zarządzanie produkcją*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
19. Gabbar H.A, Yamashita H., Suzuki K., Shimada Y.: Computer-aided RCM-based plant maintenance management system. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 19 (2003), pp. 449–458.
20. Godzimirski J., Smal T.: Badania możliwości wykorzystywania w naprawach klejowych mas regeneracyjnych. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, 2000, Vol. 35, nr 4, str. 199-212.
21. Gola A.: Przesłanki i zagrożenia outsourcingu działu utrzymania ruchu. *Czasopismo Inżynieria i Utrzymanie Ruchu*, 2/2009.
22. Gronowicz J., Kubiak T.: Recykling zużytych opon samochodowych. *Czasopismo Problemy Eksploatacji*, nr 2/2007, str. 5-18.
23. Hebda M.: *Elementy teorii eksploatacji systemów technicznych*. MCNEMT, Radom, 1990.
24. Jamrozik W., Fidali M., Bzymek A., Timofiejczuk A.: Zastosowanie fuzji obrazów wizyjnych i termowizyjnych do monitorowania i diagnozowania procesu spawania. *Przegląd Spawalnictwa*, 2011, R. 83, nr 1, str. 27-36.
25. Jazdon A.: Woropay M.: *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych*. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz, 1984.
26. Kaszycki L.: Zastosowanie sterowników PLC i technologii SCADA w automatyzacji siłowni okrętowej. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Marskiej w Szczecinie*, nr 71/2003, str. 175-186.

27. Kaźmierczak J.: Eksploatacja systemów technicznych. Politechnika Śląska, Gliwice, 2000.
28. Kelly A.: Maintenance Systems and Documentation. Butterworth-Heinemann, 2006.
29. Kelly A.: Strategic Maintenance Planning. Butterworth-Heinemann, 2006.
30. Kijęński J., Błędzki A.K., Jeziórska R.: Odzysk i recykling materiałów polimerowych, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa, 2011.
31. Komoniewski M., Boczkowski A., Kuboszek A.: Problemy redukcji hałasu w środowisku pracy w świetle badań akustycznych zrealizowanych w dużych kompleksach metalurgicznych. Materiały XXXII Zimowej Szkoły Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice-Szczyrk, 2004, str. 27-37.
32. Konieczny J.: Podstawy eksploatacji urządzeń. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1975.
33. Koradecka D. (red.): Bezpieczeństwo pracy i ergonomia, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 1999.
34. Kot J.: Wskaźniki efektywności TPM. Materiały Konferencji TPM Optymalne Utrzymanie Ruchu, Kraków, maj 2001.
35. Latino R.: Root Cause Analysis vs. Shallow Cause Analysis. Industrial Maintenance & Plant Operation, 2007, vol. 68, issue 4, pp. 39-41.
36. Latino R.J., Latino K., Latino M.A.: Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results. CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2011.
37. Legutko S.: Development trends in machines operation maintenance. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 2(42), 2009, str. 8-16.
38. Legutko S.: Eksploatacja maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2007.
39. Levitt J.: The Handbook of Maintenance Management. Industrial Press Inc., New York, 2009.
40. Lisowski Z.: Funkcjonalność systemów CMMs - z informatyzuj utrzymanie ruchu. Czasopismo Służby Utrzymania Ruchu, 1(27)/2011, str. 62-67.
41. Loska A.: Exploitation assessment of selected technical objects using taxonomic methods. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 15 (1), 2013, str. 1-8.
42. Loska A.: Wybrane aspekty komputerowego wspomaganie zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu. Monografia. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2012.
43. Loska A.: Bazy danych w zarządzaniu eksploatacją maszyn i urządzeń. Rozprawa doktorska, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.
44. Loska A.: Sposób prowadzenia analizy awaryjności w oparciu o metodę Root Cause Failure Analysis. Czasopismo Służby Utrzymania Ruchu 3(29)/2011, Wydawnictwo FORUM, Poznań, str. 52-56.
45. Loska A.: Sposób wspomaganie zarządzania utrzymaniem ruchu z wykorzystaniem wybranych narzędzi informatycznych. Cykl 8 artykułów w czasopiśmie Służby Utrzymania Ruchu, Wydawnictwo FORUM, Poznań, 2008-2009.
46. MacInness R., Pearce S.: Strategic MRO powered by DSC: A roadmap for transforming assets into strategic advantage. Net Results, Prospect KY, 2002.
47. Mobley K.: Root Cause Failure Analysis. Butterworth-Heinemann, 1999.
48. Moczulski W., Januszka M., Panfil W.: Aiding the processes of machinery design, maintenance and diagnostics using augmented reality. Czasopismo Diagnostyka 3 (51)/2009, str. 83-86.

49. Moczulski W.: Diagnostyka techniczna. Metody pozyskiwania wiedzy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.
50. Moubray J.: Reliability-centred Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2007.
51. Nakajima S.: Introduction to TPM. Total Productive Maintenance. Productivity Press, Portland, Oregon, 1988.
52. Narayan V.: Effective Maintenance Management: Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance. Industrial Press Inc., New York, 2003.
53. Niebel W.B.: Engineering Maintenance Management. Second edition. Marcel Dekker Inc., New York, 1994.
54. Niziński S., Żółtowski B.: Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów. Wydawnictwo MARKAR, Olsztyn-Bydgoszcz, 2002.
55. Oedewald P.: Maintenance Core Task and Maintenance Culture. IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants, Arizona (USA), 2002.
56. Pająk M.: The modification of the amount of operational potential during the exploitation phase of a complex technical object, Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance, Vol. 44, nr 1, 2009, str. 37-47.
57. Panfil W., Moczulski W., Wyczółkowski R.: Wnioskowanie w diagnostyce maszyn wspomagane systemem rozszerzonej rzeczywistości. Czasopismo Diagnostyka, nr 35/2005, str. 89-94.
58. Peters R.W.: Maintenance Benchmarking and Best Practices: A Profit - and Customer - Centered Approach, McGraw-Hill, New York, 2006.
59. Piechowiak K.: Zagospodarowanie odpadów z tworzyw sztucznych. Możliwości i perspektywy. Czasopismo Służby Utrzymania Ruchu, 4(18)/2009, str. 42-46.
60. PN-EN 15341:2007 - Obsługa - Kluczowe wskaźniki efektywności.
61. PN-EN 60300 - Zarządzanie niezawodnością (zbiór 11 norm).
62. PN-EN 61025:2007 - Analiza drzewa niezdatności (FTA).
63. Productivity Press Development Team: OEE for Operators. Productivity Press Inc., New York, 1999.
64. Radkowski S.: Podstawy bezpiecznej techniki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
65. Rahman M.M, Purbolaksono J., Ahmad J.: Root cause failure analysis of a division wall superheater tube of a coal-fired power station. Engineering Failure Analysis 17 (2010) 1490–1494.
66. Rasmussen J. i inni: Classification System for Reporting Events Involving Human Malfunctions. RIS0-M-2240, RIS0 National Laboratory, Roskilde (Dania), 1981.
67. Rozmus M., Winkler T., Michalak D., Jaszczyk Ł.: Oparte na wiedzy metody wspomagania procesów w górnictwie. Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2011, str. 291-302.
68. Skołod B., Wosik I., Kempa W., Kalinowski K.: Estimation of reliability characteristics in a production scheduling model with time-changing parameters - second part, numerical example. Management and control of manufacturing processes, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2011, str. 19-30.
69. Smith D.: Reliability, Maintainability and Risk. Practical methods for engineers. Butterworth-Heinemann, 2000.
70. Smith J.: The KPI Book. Insight Training & Development Limited, Stoubridge (Great Britain), 2001.
71. Starnacki M.: Komputerowe przetwarzanie sygnałów ultradźwiękowych. Czasopismo

- Diagnostyka, nr 4(52)/2009, str. 99-104.
72. Suzuki T. (red.): TPM in Process Industries. Productivity Press, Portland, Oregon, 1994.
 73. Świątoniowski A., Gregorczyk R., Rabiasz S.: Analiza wpływu zastosowania metody TPM na wzrost efektywności linii automatycznego montażu wycieraczek samochodowych. *Czasopismo Automatyka*, z.2, t.15, 2011, str. 469-477.
 74. Świder J., Kaźmierczak J. (red.): Wspomaganie konstruowania układów redukcji drgań i hałasu maszyn. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
 75. Thomas S.J.: Improving Maintenance Reliability Through Cultural Change. Industrial Press Inc., New York, 2005.
 76. Timofiejczuk A.: Metodyka wnioskowania z uwzględnieniem kontekstu w diagnostyce maszyn. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2011.
 77. Tokarski J. (red.): Słownik wyrazów obcych. PWN, Warszawa, 1980.
 78. Wenyan L.V., Wenbin W.: Modelling Preventive maintenance based on the delay time concept in the context of a case study. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 3(51)/2011, str. 5-11.
 79. Werner G.W.: Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Informacji Zawodowej ALFA-WEKA, Warszawa, 1998.
 80. Wieczorek A.: Methods and techniques of prediction of key performance indicators for implementation of changes in maintenance organisation. *Management Systems in Production Engineering*, 1(5)/2012, pp. 5-9.
 81. Wieczorek A.: Needs and opportunities to use the model of the selected features of system: man – technical mean – environment in using and maintenance management in enterprise. *Materiały Konferencji Innovations in Management and Production Engineering*, Zakopane, luty 2012, t. 2, pp. 479-492.
 82. Winco K.C., C.Y.Tang: Finance driven maintenance system with failure mode consideration. *Quality Engineering*, vol. 10, nr 3, 1998, pp. 491-497.
 83. Winkler T.: Anthropotechnical systems in the mining machines designing processes. *Archives of Mining Sciences*, Nr 2, Vol. 47, 2002, str. 189-204.
 84. Wiremann T.: Developing performance indicators for managing maintenance (second edition). Industrial Press, New York, 2005.
 85. Wrotkowski J.: Organizacja działalności remontowej w przedsiębiorstwie przemysłowym - pojęcia i zasady ogólne. PWN, Warszawa, 1977.
 86. Wyczołkowski R.: Inteligentny system monitorowania sieci wodociągowej. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 1(37)/2008, str. 33-36.
 87. Żółtowski B.: Modelowanie procesów eksploatacji. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Radom, 2010.
 88. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz, 1996.

Dr inż. Andrzej Loska
Instytut Inżynierii Produkcji, Wydział Organizacji i Zarządzania
Politechnika Śląska
41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28
tel.: (0-32) 277 73 63, fax: (0-32) 277 73 62
e-mail: Andrzej.Loska@polsl.pl