

ANDRZEJ SOWA\*

STAN OBIEKTU JAKO WIELOZNACZNE POJĘCIE  
WE WSPÓŁCZESNEJ EKSPLOATACJI TECHNICZNEJOBJECT STATE AS AMBIGUEST TERM IN  
CONTEMPORARY TECHNICAL OPERATION

## Streszczenie

Artykuł przedstawia zróżnicowanie znaczeń pojęcia stanu obiektu, w zależności od punktu widzenia, z jakiego jest ono rozważane. Każde z tych znaczeń może być przedmiotem identyfikacji we współczesnych systemach eksploatacji. Pierwszym ze znaczeń jest stan struktury obiektu odnoszący się do liczby elementów czynnych oraz powiązań pomiędzy nimi. Innym, również bardzo ważnym znaczeniem jest stan techniczny identyfikowany na podstawie oceny wartości cech fizykalnych lub poprawności funkcjonowania elementów składowych obiektu. Zarówno od stanu struktury, jak i od stanu technicznego zależy stan eksploatacyjny obiektu, co jest trzecim znaczeniem pojęcia stanu obiektu. W artykule przedstawiono zasady klasyfikacji w obrębie wszystkich trzech grup znaczeniowych pojęcia stan obiektu, a także wzajemne powiązania pomiędzy nimi.

*Słowa kluczowe: pojazdy szynowe, diagnostyka techniczna, stan techniczny, stan struktury obiektu, stan eksploatacyjny*

## Abstract

Differentiation meanings of an object state depending on the point of view has been presented in the paper. Each of these meanings may be the subject of identification in modern operating systems. The first meaning is the structure state of the object referring to the number of its active elements and to relations between them. Another very important meaning is the technical condition of the object identified on the basis of evaluation of physical property values of components or on the proper operation of elements. Technical operation state the object depends both on its structure and technical condition states. It is the third meaning of the object state term. The paper presents the principles of classification with in all three groups of the semantic meanings of this term, and the relations between these meanings.

*Keywords: rail-vehicles, technical diagnostics, technical condition state, structure state, technical operation state*

\* Dr inż. Andrzej Sowa, Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Naturalną tendencją w rozwoju współczesnych metod diagnostyki technicznej jest ograniczenie udziału człowieka w procesie diagnozowania pojazdów lądowych. Wynika to nie tylko z dążenia do przyspieszenia procesu analizy wyników pomiarów i formułowania diagnozy, ale także z chęci wyeliminowania potencjalnego źródła błędów, którym może być człowiek tego dokonujący. Realizacja takiego postulatu wymaga sprecyzowania zakresów wartości granicznych cech diagnostycznych, sformalizowania zasad oceny tych cech, jak również zasad podejmowania decyzji eksploatacyjnych na podstawie badań. Pociąga to za sobą także konieczność doprecyzowania jednego z podstawowych pojęć związanych z eksploatacją pojazdów, a mianowicie pojęcia stanu obiektu. Niektóre ze znaczeń tego pojęcia odnoszą się do przedmiotu badań diagnostycznych, inne zaś są wynikiem podejmowania decyzji eksploatacyjnych wobec obiektów poddanych takim badaniom. Ponadto, współcześnie, wykonanie tych decyzji eksploatacyjnych również może podlegać identyfikacji w sposób zdalny, przez odpowiedni system. Wynika z tego konieczność rozróżniania tych odrębnych form znaczeniowych analizowanego pojęcia, co jest przedmiotem niniejszego artykułu.

## 2. Klasyfikacja znaczeń pojęcia „stan obiektu”

W literaturze pojęcie stanu obiektu utożsamia się zwykle z jego technicznym znaczeniem, odnoszącym się do pewnych właściwości tego obiektu. Tak jest między innymi w [1], gdzie zauważa się, że: „W każdej chwili  $t \in T$  obiekt znajduje się w jednym z możliwych stanów  $w(t)$ ” tworzących zbiór  $W$ , przy czym  $T$  jest zbiorem chwil, w których jest rozpatrywane funkcjonowanie obiektu. W konsekwencji, wychodząc od tego, że: „Przez stan systemu należy rozumieć ciąg chwilowych wartości zmiennych parametrów stanu wyrażający cechy (właściwości) systemu uznane za istotne dla danego problemu i w sposób wyraźny występujące w matematycznym opisie modelu systemu”, definiuje się pojęcie stanu obiektu technicznego, które „można przedstawić w postaci uporządkowanego ciągu wartości liczbowych zmiennych stanu  $x_i(t)$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) i traktować jako wektor stanu:

$$W(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_m(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tego rodzaju definiowanie pojęcia stanu obiektu jest wystarczające w systemach eksploatacji, w których funkcje sprawdzające, analityczno-ocenowe i decyzyjne były wykonywane przez człowieka. Jeśli jednak w procesie kierowania eksploatacją takich złożonych obiektów jak pojazdy dąży się do wykorzystania współczesnych osiągnięć techniki, to należy precyzyjnie określić jeszcze inne znaczenia tego pojęcia.

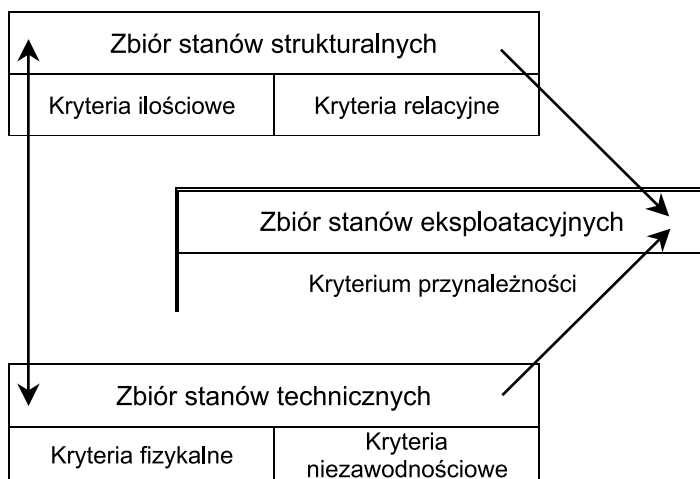
Obecnie w procesie eksploatacji pojazdów można wyróżnić trzy podstawowe grupy znaczeń pojęcia „stan obiektu”. Są to znaczenia związane:

- ze strukturą wewnętrzną elementów składowych obiektu,
- z dopuszczalnością użytkowania obiektu,
- z usytuowaniem obiektu w systemie eksploatacji.

Pierwsze z tych znaczeń odnosi się do struktury połączeń elementów składowych obiektu, drugie do właściwości tych elementów, a trzecie do organizacyjnej strony eksploatacji pojazdu. Odpowiednio do tego, ale w odrębny sposób, można zdefiniować trzy wyraźnie różne pojęcia, które mogą charakteryzować pojazd. Są to stany:

- strukturalne,
- techniczne,
- eksploatacyjne.

Każdy z tych stanów może być zidentyfikowany na podstawie odrębnych kryteriów. I tak: stan strukturalny może być identyfikowany na podstawie kryterium ilościowego oraz schematu relacji pomiędzy elementami, stan techniczny za pomocą kryteriów fizykalnych i niezawodnościowych, a stan eksploatacyjny na podstawie kryterium położenia, rozumianego jako przynależność do określonego podsystemu systemu eksploatacji. Pomiędzy wymienionymi znaczeniami analizowanego pojęcia występują zależności, które można przedstawić jak na rys. 1.



Rys. 1. Zależności pomiędzy znaczeniami pojęcia stan obiektu

Fig. 1. Relations between meanings of the object state term

Pomiędzy stanami strukturalnymi i technicznymi obiektu występuje wzajemna zależność. Zarówno stan techniczny może wpływać na strukturę obiektu (np. w przypadku pojawienia się niezdatności), jak również niewłaściwa struktura może być przyczyną wystąpienia pewnych niezdatności. Poszczególne stany eksploatacyjne obiektów są natomiast, a przynajmniej powinny być, wynikiem określonego stanu technicznego i strukturalnego obiektu. Oczywiście jest, że procesy eksploatacji wpływają na zmiany stanu technicznego obiektu, ale pod względem decyzyjnym występuje tu tylko jednostronna zależność. Decyzje o przypisaniu obiektu do określonego podsystemu systemu eksploatacji powinny być formułowane na podstawie badań diagnostycznych. Wyniki uzyskane w ten sposób umożliwiają wtedy racjonalne kierowanie procesem eksploatacji obiektu.

### 3. Stany strukturalne obiektu

Obiekty diagnostyki składają się z określonej liczby elementów i w sposób formalny mogą być zdefiniowane jako skończony zbiór [5]:

$$E = \{ e : e_i \wedge i \in N \wedge 1 \leq i \leq k \} \quad (2)$$

gdzie:

- $E$  – obiekt,
- $e_i$  – elementy składowe obiektu,
- $i$  – identyfikator ze zbioru  $N$  (liczb naturalnych),
- $k$  – liczba elementów w obiekcie.

Przypisanie liczbowego identyfikatora do elementu jest wygodnym rozwiązaniem, pozwalającym na jego przyrostowe generowanie. Łatwo jest również wtedy utworzyć odpowiedni słownik nazw dla całego obiektu.

Pomiędzy elementami obiektu rzeczywistego występują pewnego rodzaju powiązania. Mogą się one przejawiać poprzez przekazywanie energii mechanicznej, przepływ cieczy, gazów bądź prądu elektrycznego i oddziaływań innego typu. Tworzy się w ten sposób struktura obiektu, w której pewien element jest pierwszy, inne zaś następują po nim. Można wobec tego stwierdzić, że w obiekcie występują relacje porządkujące  $R_{ij}$ , które przedstawiają wzajemne powiązania funkcjonalne pomiędzy poszczególnymi jego elementami. Relacje te mogą być zapisane w następujący, ogólny sposób:

$$R_{ij} = \left\{ \bigwedge_{i \neq j} \bigvee_{e_i, e_j} (e_i \prec e_j) \right\} \quad (3)$$

gdzie:

- $i, j$  – identyfikatory elementów,  $i < j \leq k$ ,
- $\prec$  – operator relacji: „poprzedza”.

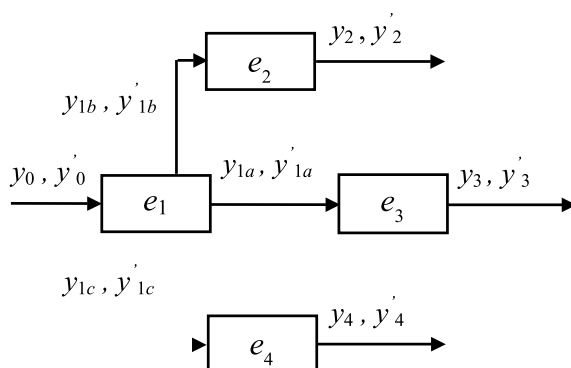
W przypadku wielu złożonych obiektów ich bieżąca struktura nie musi obejmować wszystkich jego elementów składowych w dowolnej fazie pracy takich obiektów. Jeśli w każdej zaobserwowanej fazie może współpracować określony podzbiór elementów ze zbioru  $E$ , przy skończonej liczbie faz  $f$  oznacza to, że [2]:

$$E_1 \subset E \wedge E_2 \subset E \wedge \dots \wedge E_f \subset E \quad (4)$$

Zarówno liczba elementów, jak i struktura relacji między nimi w określonym układzie pojazdu mogą mieć związek z funkcjonowaniem i stanem technicznym tego układu.

Brak pewnych elementów obiektu powoduje także równoczesną zmianę jego struktury. Zamiana tej struktury może wynikać również z pojawienia się dodatkowych połączeń pomiędzy elementami. Ilustruje to rys. 2 przedstawiający schemat części układu pneumatycznego hamulca wagonu osobowego w fazie napełniania. Pojawienie się nieszczelności pomiędzy zaworem rozrządczym (element  $e_1$ ) a cylindrem hamulcowym (element  $e_2$ ) powoduje, że połączenie zaznaczone na rysunku linią przerywaną staje się otwarte. Wpływa to nie tylko na charakterystykę napełniania zbiornika pomocniczego, lecz także może powodować prze-mieszczenie tłoka w cylindrze hamulcowym i uruchomienie hamulca w momencie, kiedy jest to niepotrzebne.

Tak więc stan ilościowy danego obiektu oraz stan struktury relacji pomiędzy jego elementami mogą być przedmiotem badania za pomocą pewnych cech diagnostycznych. W obu przypadkach różne są jednak cele takich badań i różne sposoby identyfikacji stanu ilościowego i stanu struktury relacji. Dla żadnego z tych działań nie można użyć określenia „badanie stanu obiektu”, ponieważ nie wiadomo wtedy, czego takie badania dotyczą.



Rys. 2. Część układu pneumatycznego hamulca wagonu osobowego podczas fazy napełniania:  
 $e_1$  – zawór rozrządczy,  $e_2$  – przewód zbiornika sterującego,  $e_3$  – przewód zbiornika pomocniczego,  
 $e_4$  – przewód cylindra hamulcowego,  $y_{0...4}$  – ciśnienia w układzie,  $y'_{0...4}$  – masowe natężenia przepływu powietrza

Fig. 2. Part of the pneumatic system of the car brake in filling phase:  $e_1$  – distributing valve,  
 $e_2$  – equalising reservoir pipe,  $e_3$  – auxiliary reservoir pipe,  $e_4$  – brake cylinder pipe,  
 $y_{0...4}$  – pressures in system,  $y'_{0...4}$  – mass air flows

#### 4. Stany techniczne obiektu

Proces projektowania i wytwarzania części, a następnie ich montażu kształtuje właściwości każdego obiektu technicznego, które, jak już wspomniano, można opisać pewnym zbiorem cech fizycznych. Wartości tych cech mogą w trakcie eksploatacji ulegać zmianie – najczęściej pogorszeniu – na skutek występowania różnorodnych procesów, w tym procesów zużycia. Zmiany w poszczególnych elementach obiektu mogą zachodzić podczas eksploatacji w całej ich masie lub warstwie wierzchniej.

Poszczególne elementy składowe obiektu technicznego mogą być opisywane za pomocą jednej lub – częściej – wielu cech. Mierząc wartości tych cech, można utworzyć zbiór wartości, który można uważać za współrzędne wektora stanu. W danej chwili eksploatacji wyznacza on punkt deskrypcyjny w przestrzeni  $n$ -wymiarowej. Pozwala to na formalne zdefiniowanie **stanu technicznego** jako właściwości obiektu diagnozowanego determinowanej przez wektor cech fizycznych elementów składowych obiektu, czyli [5]:

$$\mathbf{X}(t, a) = \left[ x_1[f_{1,a}(t)], x_2[f_{2,a}(t)], \dots, x_n[f_{n,a}(t)] \right] \quad (4)$$

gdzie:

- $\mathbf{X}(t, a)$  – wektor stanu technicznego,
- $f_{n,a}(t)$  – funkcja opisująca zmiany wartości cechy  $x_n$  po okresie eksploatacji  $t$  w warunkach  $a$ ,
- $n$  – liczba składowych wektora stanu technicznego.

Dla większości cech fizykalnych zmiany ich wartości zachodzą według krzywych zużycia, które są ciągłe w określonym przedziale [6]. Wynika z tego to, że podczas eksploatacji mamy do czynienia z nieprzeliczalnym zbiorem wektorów  $\mathbf{X}(t, a)$ , czyli nieprzeliczalnym zbiorem chwilowych stanów technicznych obiektu. Nie zmienia tej sytuacji również uwzględnienie tych cech fizykalnych, które podlegają tylko binarnej lub wielowartościowej ocenie. Ponieważ każdy wektor  $\mathbf{X}(t, a)$  wyznacza punkt deskrypcyjny przestrzeni  $n$ -wymiarowej  $\beta$ , to ze względów praktycznych w przestrzeni  $\beta$  trzeba wyznaczyć pewne granice obszarów utożsamianych z określonymi klasami stanów technicznych. Dla każdego takiego obszaru można przyjąć odpowiednią nazwę i przypisać im adekwatną decyzję pozwalającą na kierowanie eksploatacją obiektu, na podstawie badań diagnostycznych. Jednakże ze względu na to, że wielu cech fizykalnych elementów nie można zmierzyć bez demontażu, w diagnostycznych badaniach stanu technicznego obiektów wykorzystuje się jeszcze pewną ilość cech związanych z procesami roboczymi i towarzyszącymi zachodzącymi w obiekcie. Wartości wszystkich cech można potraktować wtedy jako współrzędne wektora  $\mathbf{Y}(t, a)$ , stanowiącego podstawę do identyfikacji klasy stanu technicznego obiektu:

$$\mathbf{Y}(t, a) = [y_1(t, a), y_2(t, a), \dots, y_p(t, a)] \quad (6)$$

gdzie:

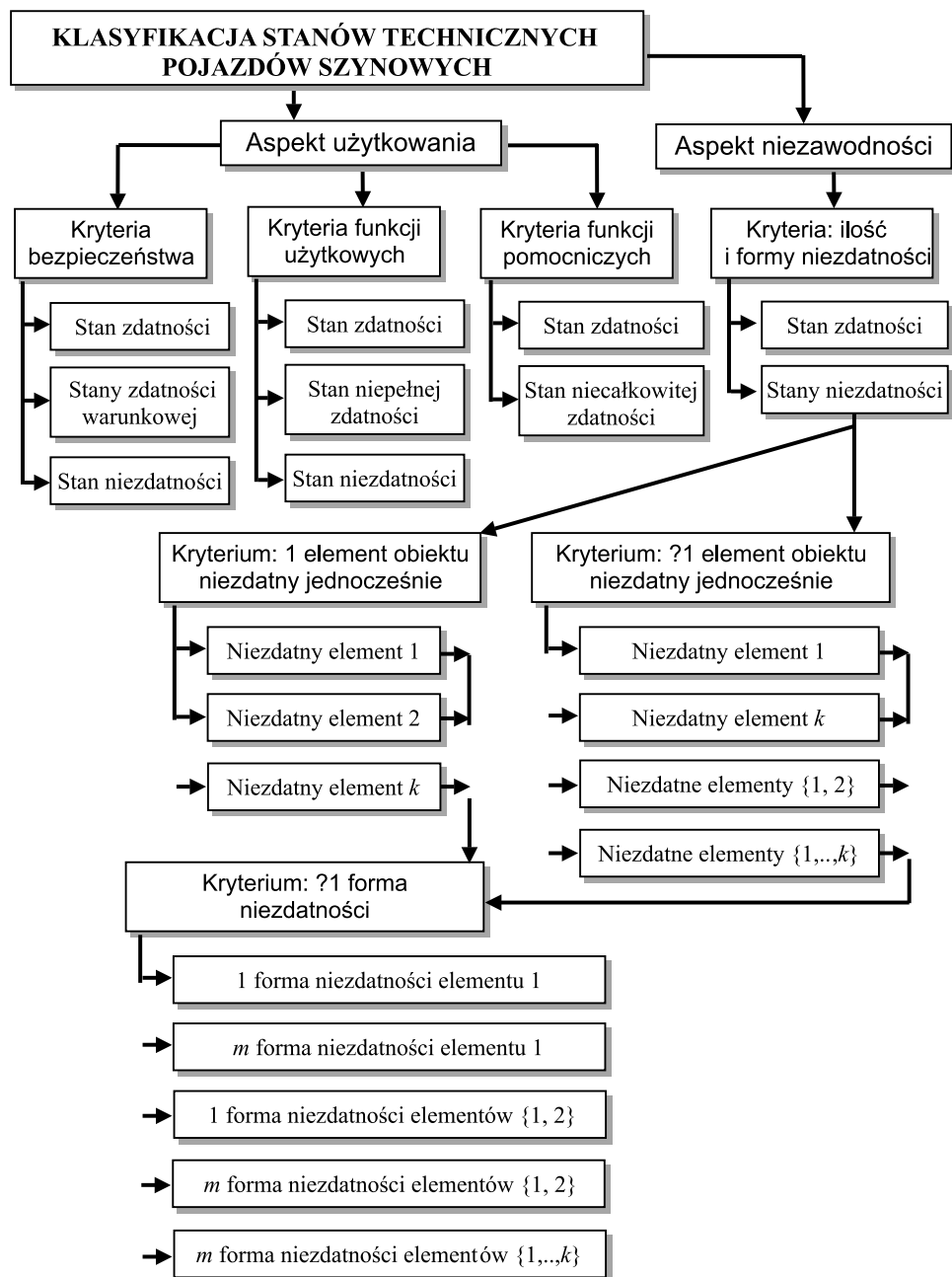
$y_1, \dots, y_p$  – cechy diagnostyczne obiektu.

W przypadku pojazdów szynowych cechy te można podzielić na trzy zbiory odnoszące się do [5]:

- bezpieczeństwa ruchu,
- funkcji użytkowych pojazdu,
- funkcji pomocniczych spełnianych przez układy pojazdu.

Cechy należące do poszczególnych zbiorów mogą mieć określony (jeden lub więcej) zakres wartości, co w praktyce pozwala na wyróżnienie klas stanów technicznych przedstawionych na rys. 3, w części dotyczącej aspektu użytkowania obiektu. Formalne zdefiniowanie tych klas zawarto w [5].

Wyróżnione klasy stanów można powiązać z decyzjami ważnymi dla procesu użytkowania. Mogą one dopuszczać użytkowanie pojazdu bez ograniczeń lub z ograniczeniami co do prędkości jazdy bądź innych warunków jego wykorzystania albo wskazywać na konieczność naprawy pojazdu.



Rys. 3. Klasy stanów technicznych pojazdu szynowego

Fig. 3. Technical condition classes of rail-vehicle

Zbiór klas stanów technicznych SKU wyróżniony dla celów decyzyjnych w procesie użytkowania, będzie więc zawierać:

$$SKU = \{S_z, S_{zw1}, \dots, S_{zwl}, S_{npz}, S_{ncz}, S_{nz}\} \quad (7)$$

gdzie:

- $S_z$  – stan zdatności,
- $S_{zw1}, \dots, S_{zwl}$  – stany zdatności warunkowej,
- $S_{npz}$  – stan niepełnej zdatności,
- $S_{ncz}$  – stan niecałkowitej zdatności,
- $S_{nz}$  – stan niezdatności.

Oprócz zakresów wartości cech fizykalnych informację o stanie technicznym elementów obiektu może nieść sposób ich funkcjonowania, rozważany z niezawodnościowego punktu widzenia. Może to być zespół symptomów świadczących o zdatności lub niezdatności poszczególnych elementów składowych obiektu lub ich wpływie na funkcjonowanie całego obiektu. Symptomy te mogą wskazywać na stan zdatności i jedną lub więcej form niezdatności tego elementu.

Jeśli brać pod uwagę obiekt jako zbiór elementów zdefiniowanych formułą (1), to na liczbę stanów technicznych ma wpływ jeszcze liczba możliwych niezdatnych elementów obiektu jednocześnie. W najbardziej niekorzystnym wariancie liczba stanów technicznych  $lm$  wyodrębnianych w taki sposób dla obiektu o jednorodnych elementach, może być określona ze wzoru:

$$lm = (m + 1)^k, \quad (8)$$

a zbiór tych stanów jest następujący:

$$SSU = \{S_z, S_1, \dots, S_{lm-1}\} \quad (9)$$

gdzie:

- $m$  – liczba form niezdatności każdego elementu obiektu,
- $S_1, \dots, S_{lm-1}$  – stany niezdatności.

Stany techniczne obiektu rozważane z tego punktu widzenia mają ścisły związek ze stanami strukturalnymi tego obiektu. Tego rodzaju klasyfikacja jest przydatna w procesie tworzenia zbiorów sprawdzeń służących do lokalizacji niezdatności w obiektach złożonych.

Wiedza o niezdatności określonego elementu i formie tej niezdatności może być także wykorzystana do decydowania o wyborze rodzaju czynności obsługowych, które należy podjąć dla przywrócenia zdatności obiektu i dalszego jego użytkowania.

## 5. Stany eksploatacyjne obiektu

Pojęcie stanu eksploatacyjnego odnosi się do usytuowania pojazdu w określonym podsystemie systemu eksploatacji. Wydzielenie klas tego rodzaju stanów jest szczególnie istotne dla procesu planowania i sterowania użytkowaniem, a także obsługiwaniem pojazdów przez jednostki zaplecza technicznego. Samo usytuowanie pojazdu może być zaś przedmiotem identyfikacji za pomocą GPS lub innych systemów nadawczo-odbiorczych.



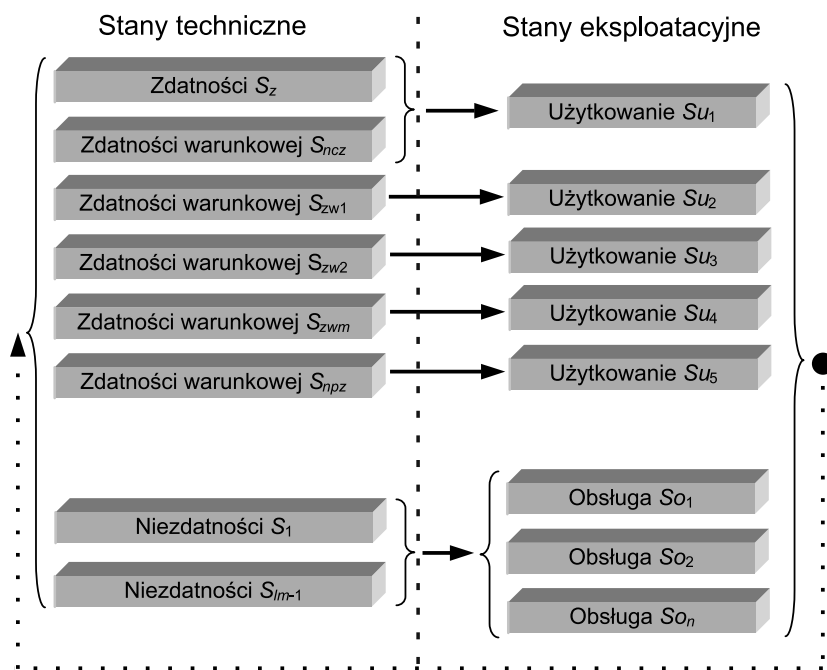
**Stan eksploatacyjny** można zdefiniować jako opisowy atrybut określający fazę procesu eksploatacji, czyli fazę użytkowania lub obsługiwanego pojazdu. Atrybuty tego rodzaju posiadają ustalone znaczenie i tworzą skończone podzbiory zbioru stanów eksploatacyjnych  $SE$ :

$$SE = SU \cup SO = \{Su_1, Su_2, \dots, Su_l\} \cup \{So_1, So_2, \dots, So_n\} \quad (10)$$

gdzie:

$Su_{1-l}$  – wyróżnione stany użytkowe,  
 $So_{1-n}$  – wyróżnione stany obsługowe.

Należy przy tym zaznaczyć, że o ile pozostawianie pojazdów w stanach użytkowania jest warunkowane jego – zgodnym z normami – stanem technicznym, o tyle stany obsługowe mają za zadanie przywrócenie wymaganego stanu technicznego każdemu pojazdowi. Wzajemne powiązania pomiędzy stanami technicznymi i eksploatacyjnymi przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Stany pojazdu szynowego i warianty decyzji w procesie diagnostyki zestawu kołowego:  
 – determinuje, – wpływa

Fig. 4. States of rail-vehicle and variants of decisions in the wheelset diagnosis process:  
 – determines, – affect

Cechą charakterystyczną klasyfikacji stanów eksploatacyjnych jest występowanie wielu poziomów i różnych kryteriów podziału na każdym z nich. Podstawą zaliczenia pojazdu szynowego do jednej z dwu klas stanów eksploatacyjnych na pierwszym poziomie, tj. użytkowania lub obsługiwanego, jest jego stan techniczny. Biorąc pod uwagę formułę (9), można więc zapisać, że:

$$SU \Leftrightarrow \{S_z, S_{zw1}, \dots, S_{zwm}, S_{ncz}, S_{npz}\} \text{ oraz } SO \Leftrightarrow \{S_{nz}\} \quad (11)$$

Spośród różnego rodzaju pojazdów szynowych najbardziej rozbudowaną klasyfikację stanów eksploatacyjnych można sporządzić dla pojazdów trakcyjnych. W zbiorze stanów użytkowych  $SU$  tego rodzaju pojazdów podstawowym kryterium podziału na poziomie drugim może być potrzeba określenia wskaźników techniczno-ekonomicznych użytkowania pojazdów, co przedstawiono szerzej w [5].

Podobnie złożona sytuacja jest w systemie obsługi, do którego trafia każdy niezdatny pojazd szynowy. Zarówno planowe, jak i nieplanowe elementy systemu obsługi można uważać za odrębne stany eksploatacyjne, ponieważ z ich realizacją wiąże się całe spektrum warunków techniczno-organizacyjnych, związanych z zakresem i przebiegiem obsługi. Przykładem tego może być wydzielenie różnych stanów obsługowych (zróżnicowania rodzajów obsługi) wynikających z różnych form niezdatności zestawów kołowych pojazdu trakcyjnego [7]. Ponadto z dyspozycyjnego punktu widzenia, dla każdego poziomu obsługi można wyróżnić takie stany obsługowe jak: oczekiwanie na obsługę  $SO_o^2$ , obsługę pojazdu  $SO_p^2$  i oczekiwanie na rozpoczęcie użytkowania  $SO_u^2$ , czyli:

$$SO = \{SO_o^2, SO_p^2, SO_u^2\} \quad (12)$$

## 6. Wnioski

Przedstawione w artykule znaczenia pojęcia stanu obiektu są potwierdzeniem konieczności używania dodatkowych określeń identyfikujących dziedzinę jego zastosowania. Jest to konieczne zwłaszcza w sytuacji, gdy tworzy się komputerowe systemy wspomagania eksploatacji obiektów.

## Literatura

- [1] Niziński S., *Elementy eksploatacji obiektów technicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2000.
- [2] Sowa A., *System kodowania wybranych niezdatności układu pneumatycznego hamulca pojazdów szynowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport z. 39. Gliwice 1999.
- [3] Sowa A., *Identyfikacja niezdatności w obiektach technicznych o złożonej strukturze*, Problemy Eksploatacji, z. 4/2001, ITE, Radom 2001.
- [4] Sowa A., *Modelowanie obiektów diagnostyki o zmiennej strukturze*, Problemy Eksploatacji, z. 1/2002, ITE, Radom 2002.
- [5] Sowa A., *Klasyfikacja stanów w eksploatacji pojazdów szynowych*, Czasopismo Techniczne, seria Mechanika, z. 3-M, 2005, 269-278.
- [6] Sowa A., *Wykorzystanie krzywych zużycia w konstrukcji wektora stanu technicznego obiektu diagnostyki*, Problemy Eksploatacji, z. 2/2007, ITE, Radom 2007, 65-76.
- [7] Sowa A., *Wykorzystanie wektora cech diagnostycznych w ocenie stanu technicznego zestawu kołowego*, Problemy Eksploatacji, z. 2/2009, ITE, Radom 2009, 61-72.