

QUALITY AS A SYSTEM ON EXAMPLE OF TRANSPORT SYSTEM

Maciej Woropay, Łukasz Muślewski
Akademia Techniczno – Rolnicza w Bydgoszczy
Katedra Eksploatacji Maszyn
85-796 Bydgoszcz, ul. Prof. S. Kaliskiego 7,
tel. (+48)0523408495 e-mail: kem@mail.atr.bydgoszcz.pl

Abstract

The paper presents general theory concerning quality assessment complex maintenance systems. This theory take into consideration various consideration systems and include the method useful for describe all this systems.

Presented universal, mathematical model quality assessment complex system operation. Its using as a generally abstraction form for broad class real systems which are different which other of the characteristic structure and operation. The result of use theory system that scientific object is defined as a system and is consider throughout his formall model. This elaborate is defined elementary ideas concerning system theory and quality operating complex system.

Word keys: theory system, system, condition system, quality system, aim behaviour system, model system, simulation.

JAKOŚĆ W UJĘCIU SYSTEMOWYM NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Streszczenie

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano uogólnioną teorię dotyczącą oceny jakości działania złożonych systemów eksploatacji. Uwzględnia ona różnorodność rozpatrywanych systemów a jednocześnie zawiera jednoznaczna metodę, przydatną do opisu funkcjonowania tych systemów, wykorzystując jeden i ten sam sposób formalizujący. Zaprezentowany uniwersalny, sformalizowany model matematyczny, oceny jakości działania złożonych systemów eksploatacji, służy jako ogólna postać abstrakcyjna, dla szerokiej klasy różnorodnych systemów rzeczywistych, różniących się między sobą właściwościami, strukturą i działaniem. Zastosowanie teorii systemów powoduje, że obiekt badania definiowany jest jako system i rozpatrywany poprzez jego model formalny. W opracowaniu zdefiniowano podstawowe pojęcia dotyczące teorii systemów oraz jakości działania złożonych systemów eksploatacji.

Słowa kluczowe: teoria systemów, system, stan systemu, system z zachowaniem celowym, jakość systemu, model systemu, symulacja.

1. Wprowadzenie

W trakcie realizacji prac, dotyczących optymalizacji procesów zachodzących w rzeczywistym, złożonym systemie eksploatacji środków transportu, powstał problem oceny jakości działania tego systemu. System ten jest systemem socjotechnicznym, typu <C-M-O> (człowiek - maszyna – otoczenie), w którym ocenę jakości jego działania dokonuje się w zależności od zmian wartości cech opisujących działanie operatorów, sterowanych przez nich obiektów technicznych oraz wpływu otoczenia.

Ocena i zapewnienie wymaganej jakości jego działania zarówno pod względem efektywności, niezawodności, bezpieczeństwa oraz pod względem ekonomicznym stanowi podstawowy czynnik w procesie ich eksploatacji.

Rozpatrywane zagadnienia dotyczą obszarów interdyscyplinarnych a analizowaną problematykę zaliczamy do dziedziny nauki zwanej ontologią, która nazywana jest teorią

rzeczywistości. W swojej istocie obejmuje ona różne dziedziny bytu i związki zachodzące pomiędzy nimi [4].

2. Wstęp do teorii systemów

Teoria systemów stanowi dyscyplinę naukową zajmującą się badaniem systemów, w zakresie ich klasyfikacji, ogólnej struktury, relacji między elementami, sposobu ich działania oraz relacji z otoczeniem. W literaturze przedmiotu *system* jest pojęciem wieloznacznym i często ogólnym dla pewnej klasy pojęć. Aby wykluczyć wieloznaczność definicji systemu przyjęto, że [5]:

„System jest trójką uporządkowaną $S = \langle E, R, \emptyset \rangle$, składającą się ze zbioru elementów E , ciągu R , określonego jako relacja na elementach systemu i zbioru celów \emptyset , realizowanych przez system. E – nazywa się zbiorem elementów systemu, R – jego strukturą a \emptyset – funkcją celów”.

Systemy dzieli się na rzeczywiste i abstrakcyjne w zależności od tego czy składa się z elementów fizycznych lub abstrakcyjnych. W niniejszym opracowaniu, całość rozważań dotyczy złożonych, rzeczywistych, działających z zachowaniem celowym, systemów eksploatacji.

System złożony definiujemy jako: *system o dużej liczbie elementów i skomplikowanej strukturze oraz dużej liczbie funkcji realizowanych przez system i jego podsystemy, najczęściej z wielopoziomową, hierarchiczną strukturą sterowania.* Cechy systemu złożonego, jako całości są funkcją cech jego podsystemów oraz struktury systemu. Na najniższym poziomie dekompozycji systemu złożonego, znajdują się obiekty, tzw. niepodzielne. Pojęcie systemu złożonego ma charakter względny, gdyż zależy zarówno od punktu widzenia, jak i celów, które stawia sobie obserwator rozpatrywanego systemu [8]. Natomiast system z zachowaniem celowym definiuje się jako: *zbiór wzajemnie powiązanych i współdziałających ze sobą elementów działających wspólnie, tak aby wykonać z góry postawione sobie zadanie lub uzyskać określony cel* [1]. System z zachowaniem celowym charakteryzuje się tym, że ma własny organ sterujący.

Elementy tworzące zbiór elementów systemu $E = \{e_i, i = \overline{1, n}$ mają pewne cechy charakterystyczne, na podstawie których można je odróżnić od elementów otoczenia oraz na podstawie których można je zaliczyć do określonego zbioru. Cechami elementów systemu mogą być zarówno cechy mierzalne jak i niemierzalne. Między elementami systemu występują różnorodne związki (zależności), które nazywamy relacjami. Zbiór tych relacji tworzy strukturę systemu, którą definiujemy jako: *ciąg relacji $\langle R_1, R_2, \dots, R_N \rangle$, określonych na zbiorze elementów systemu $E = \{e_i, i = \overline{1, n}$, którego składnikami są relacje od jedno- do wieloczłonowych, umożliwiającą racjonalną realizację zadań systemu* [5]. Relacje między elementami systemu mogą przyjmować określone wartości, w wyniku czego dla danej relacji przyporządkowany jest zbiór możliwych wartości, które służą do oceny aktualnego stanu danej relacji.

Na działania każdego systemu z zachowaniem celowym ma wpływ jego otoczenie. Otoczenie systemu definiujemy jako: *zbiór tych i tylko tych systemów, które nie należą do rozpatrywanego systemu i których elementy nie są sprzężone strukturą tego systemu oraz posiadają takie właściwości, że oddziałują na ten system i mogą powodować zmiany jego stanów poprzez zmianę swoich oddziaływań* [5]. Jeżeli jednak istotne dla systemu części jego otoczenia znajdują się zawsze poza systemem i są silnie z nim powiązane, to należy je włączyć do systemu, aby działanie systemu w mniejszym stopniu zależało od oddziaływania otoczenia [2]. Analizując system z zachowaniem celowym, należy otoczenie potraktować jako jeden z jego podsystemów, mający wpływ na jego działanie. Przy takim założeniu minimalizowane są skutki negatywnego oddziaływania systemu, na otoczenie, w dążeniu do

realizacji określonego celu przez system. Wynika to z faktu, że relacje pomiędzy poszczególnymi podsystemami a otoczeniem, traktowanym jako podsystem współdziałający, wpływają również na zmianę działania systemu jako całości.

W omawianych systemach, na poszczególnych poziomach dekompozycji można wyróżnić następujące podsystemy:

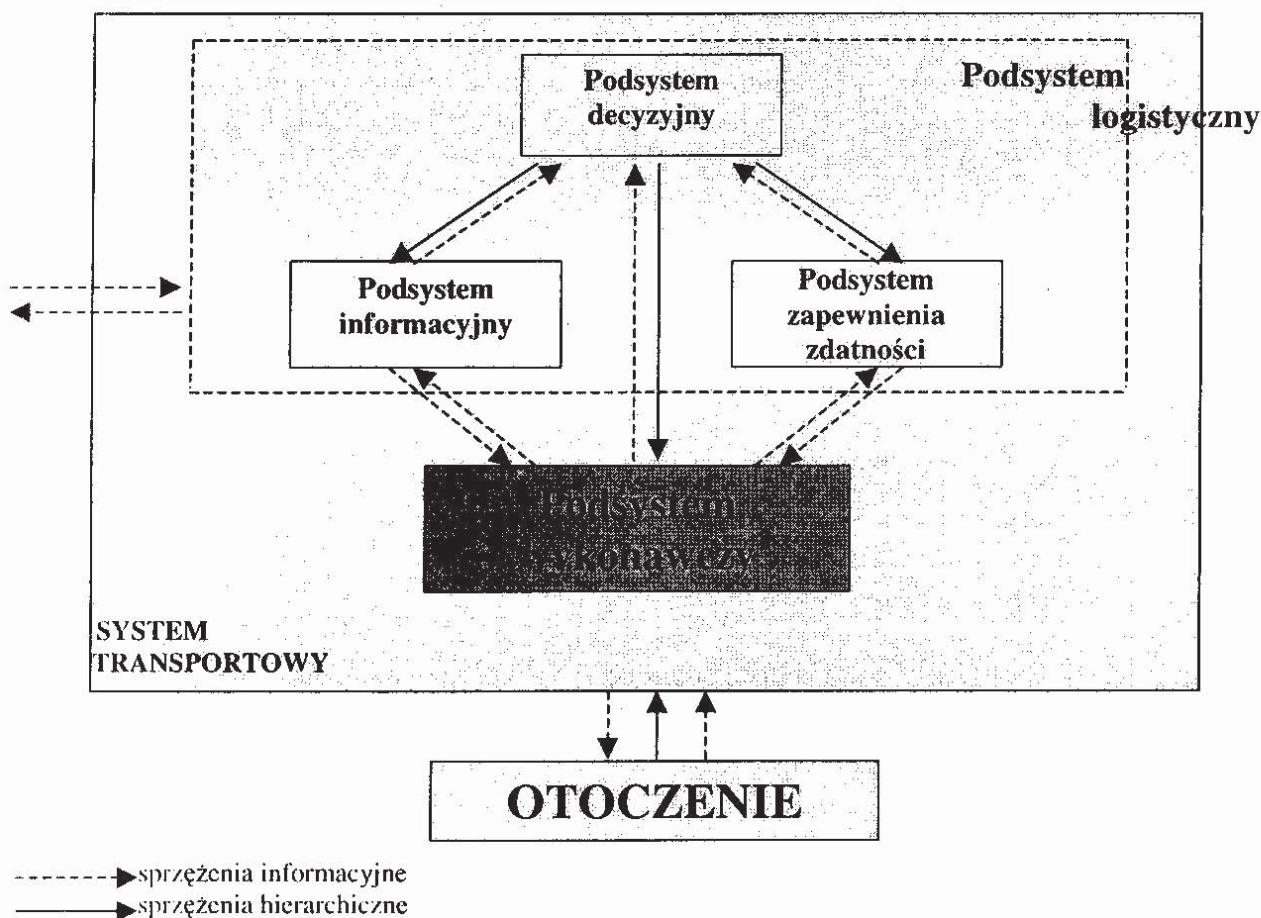
- 1) podsystem logistyczny, składający się z następujących podsystemów:
 - a) podsystemu decyzyjnego,
 - b) podsystemu utrzymania ruchu;
 - c) podsystemu informacyjnego;
- 2) podsystem wykonawczy,
- 3) otoczenie – jako podsystem współdziałający.

Ogólny model złożonego systemu eksploatacji, na przykładzie systemu transportowego przedstawiono na rysunku 1.

Działanie systemu z zachowaniem celowym przebiega w czasie. W każdej chwili $t \in (t_0, t_k)$ w wyniku działania systemu, jak również w wyniku oddziaływania otoczenia na system, wartości jego cech mogą być inne niż w chwili poprzedniej. Mówimy wówczas o zmianie stanu systemu. Stan systemu w danej chwili t wyznacza zbiór chwilowych wartości zmiennych (cech) systemu jako całości, uznanych za istotne dla danego problemu występujących w sposób jawny w matematycznym opisie systemu.

Oznacza to, że stan systemu opisany zbiorem cech istotnych, o liczności k , możemy przedstawić za pomocą wektora k – wymiarowego, wyrażającego wartości tych cech w dowolnej chwili t .

$$\bar{X} = [x_{1(t)}, x_{2(t)}, \dots, x_{k(t)}] \quad (1)$$



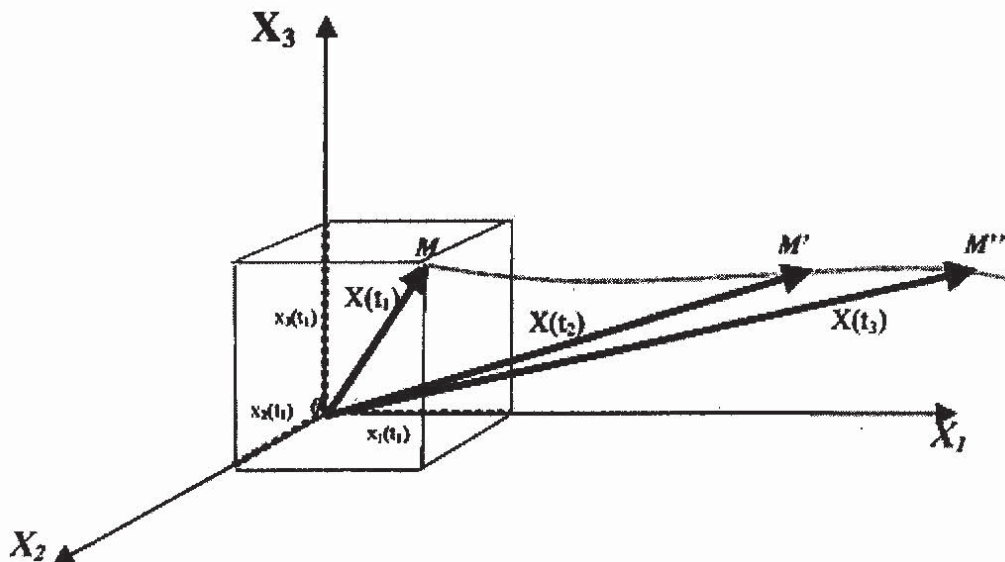
Rys.1. Model systemu eksploatacji środków transportu
Fig.1. Model of the maintenance service system means of transport

Każda zmiana stanu przez system w chwili t lub trwanie tego stanu nazywamy *zdarzeniem*. Zdarzenie łączy w sobie trzy kategorie zjawisk:

- stany (trwanie stanu),
- zmiany (zmiana stanu),
- procesy (ciąg celowych lub nie, zmian stanów).

Proces losowy zmiany stanów systemu można interpretować jako miejsce geometryczne punktów M , wyznaczających koniec wektora wypadkowego, wektorów (x_1, x_2, \dots, x_k) odnoszonych do argumentu czasu t , $t \in [0, +\infty]$. W przestrzeni tak rozumianych stanów systemu, punkt M kreśli trajektorię procesu losowych zmian systemu [6]. Interpretację geometryczną powyższych rozważań, w przestrzeni 3-wymiarowej, przedstawiono na rysunku 2.

Przy czym należy mieć na uwadze, że warunkiem koniecznym właściwego działania systemu z zachowaniem celowym jest to, aby sekwencja kolejnych stanów systemu zbliżała system do wyznaczonego celu. Najbardziej pożądanym działaniem systemu byłoby takie, aby każda zmiana jego stanu zbliżała system do wyznaczonego celu [1].



Rys. 2. Trajektoria opisująca zmiany stanów systemu
Fig. 2. Trajectory described system condition changes

3. Jakość działania systemów

Na podstawie badań własnych [9,10], analizy problematyki jakości oraz szeroko rozumianej teorii systemów, zdefiniowano pojęcie jakości systemu jako: **zbiór cech systemu wyrażonych za pomocą ich wartości liczbowych, wyznaczających stopień spełnienia stawianych wymagań.**

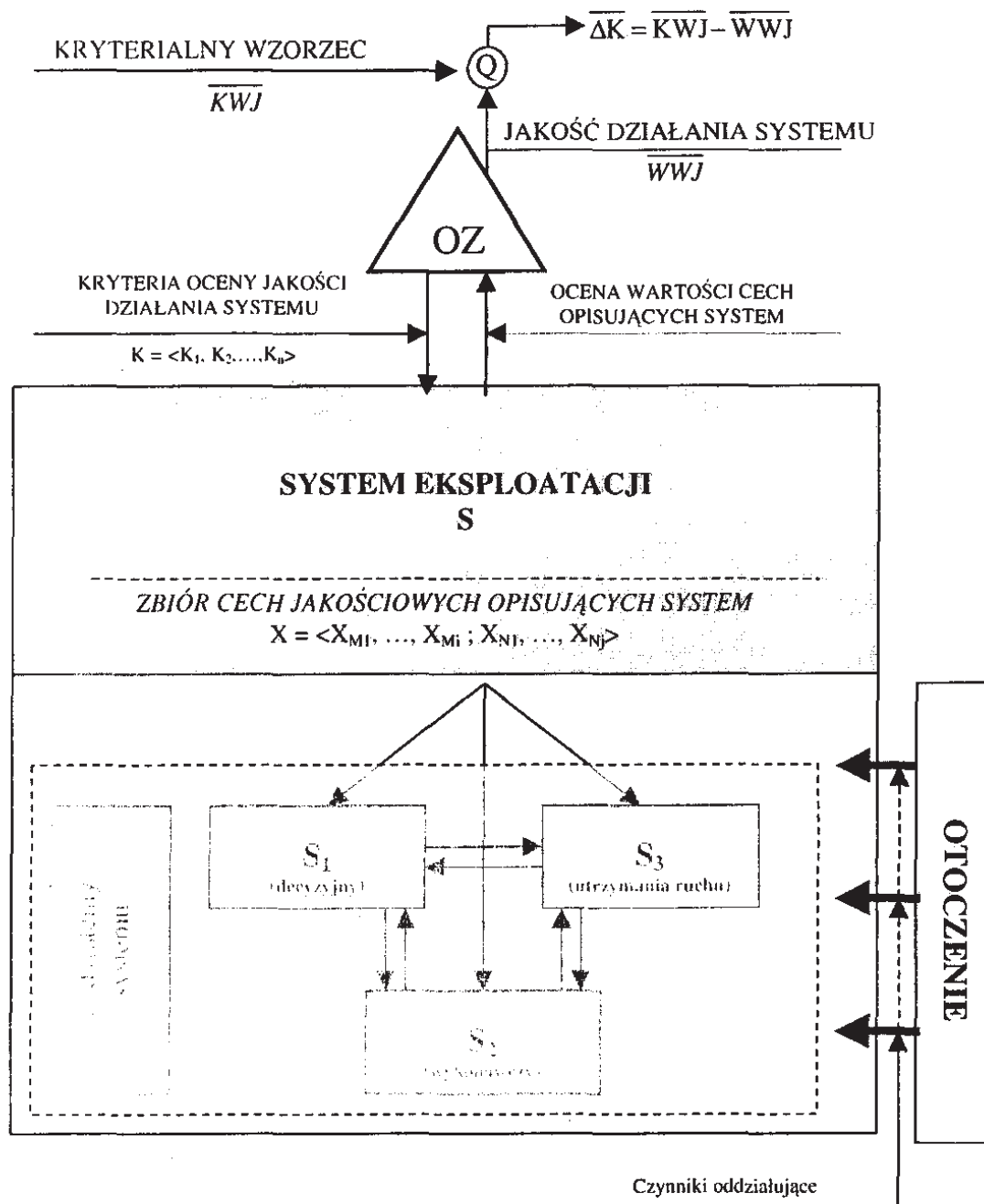
Niniejszy rozdział zawiera opis zasad, na podstawie których, sformułowano metodę oceny jakości działania złożonych systemów eksploatacji. Ogólny schemat tej metody przedstawiono na rysunku 3.

Jak widać na rysunku 3, obserwator zewnętrzny - OZ, na podstawie ustalonych kryteriów jakości K , dokonuje identyfikacji zbioru cech - X , opisujących system eksploatacji, z punktu widzenia jakości jego działania. Należy mieć na uwadze, że zbiór cech przyjętych do opisu jakości badanego systemu, składa się z dwóch podzbiorów: cech mierzalnych i cech niemierzalnych. Cechy niemierzalne to te, które są „poza zasięgiem” możliwości ich pomiaru na skutek trudności natury technicznej lub na skutek niewiedzy badacza. Dla każdej cechy mierzalnej opisującej badany system X_{Mi} ($i = 1, 2, \dots, n$), należy podać dopuszczalne granice

ich zmienności $X_{M,i}^{\min}$, $X_{M,i}^{\max}$, odpowiadające kryteriom poprawnej jakości działania systemu. Podobnie dla każdej cechy umownie niemierzalnej, X_{Nj} ($j=1,2,\dots,m$), należy ustalić kryteria, w taki sposób, aby było możliwe jednoznaczne stwierdzenie czy dana cecha je spełnia. W tym celu cechom niemierzalnym przyporządkowuje się różne wartości od 0 do m . Wówczas warunek poprawnej jakości działania systemu w danej chwili t , $t \in [t_0, t_k]$, przedstawia poniższy zapis:

$$J_s = \begin{cases} X_{M,1}^{\min} < X_{M,1,t} < X_{M,1}^{\max} \dots X_{M,n}^{\min} < X_{M,n,t} < X_{M,n}^{\max} \\ X_{N,1}^{\min} < X_{N,1,t} < X_{N,1}^{\max} \dots X_{N,m}^{\min} < X_{N,m,t} < X_{N,m}^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

Zapis ten oznacza, że w danej chwili t , system spełnia warunki poprawnej jakości działania tylko wówczas, gdy wartości jego cech mierzalnych zawierają się w ustalonych granicach oraz cechy niemierzalne spełniają ustalone kryteria jakości.



Rys. 3. Ogólny schemat metody oceny jakości działania złożonych systemów eksploatacji
Fig. 3. General scheme of the quality assessment methods action complex operating system

Na przedstawionym rysunku przyjęto następujące oznaczenia:

- OZ - obserwator zewnętrzny,
- S – system eksploatacji,
- S_1, S_2, \dots, S_n - podsystemy systemu eksploatacji,
- C- człowiek (operator),
- OT – obiekt techniczny,
- $\overline{\Delta K}$ - wektor stopnia jakości działania systemu,
- \overline{WWJ} – wielowymiarowy wektor jakości działania systemu w chwili t,
- \overline{KWJ} - kryterialny wzorzec jakości Q.

Bezpośredni wpływ na poziom jakości działania systemu mają jego podsystemy oraz oddziaływanie otoczenia na każdy z tych podsystemów. W procesie dekompozycji, wyróżniono główne podsystemy badanego systemu:

- podsystem procesowy - wykonawczy,
- podsystem zapewnienia zdatności,
- podsystem decyzyjny.

Analizując problematykę złożonych systemów eksploatacji [3] przyjęto, że podsystemy te wyznacza się na podstawie identyfikacji badanego systemu a ich liczba uzależniona jest od jego złożoności, rodzaju i przeznaczenia.

Wyznaczoną w chwili t, $t \in \langle t_0, t_k \rangle$ jakość działania systemu, opisuje się za pomocą tzw. **Wielowymiarowego Wektora Jakości**. Zbiór cech przyjętych do opisu jakości działania systemu (X_1, X_2, \dots, X_p) wyznacza p – wymiarową przestrzeń oceny jakości. Na poszczególnych osiach współrzędnych odwzorowuje się wartości badanych cech w danej chwili t. Wartości te umożliwiają wyznaczenie punktu M', o współrzędnych $[k'_{1(t)}, k'_{2(t)}, \dots, k'_{p(t)}]$. W przestrzeni wielowymiarowej punkt ten stanowi koniec wektora, którego początkiem jest początek układu współrzędnych. Wektor ten opisuje jakość działania systemu w chwili t, i oznaczono go symbolem \overline{WWJ} . Następnie w rozpatrywanej przestrzeni na każdej z przyjętych osi współrzędnych odwzorowuje się wzorcowe (pożądane) wartości cech, na podstawie których wyznacza się punkt M. Punkt M o współrzędnych $[k_{1p}, k_{2p}, \dots, k_{pp}]$, jest końcem wektora wzorcowego stanu systemu, który nazwano **Kryterialnym Wzorcem Jakości** i oznaczono go symbolem \overline{KWJ} . Odległość między końcami wektorów \overline{KWJ} a \overline{WWJ} , w przyjętej przestrzeni p – wymiarowej, wyznacza stopień jakości działania systemu $\overline{\Delta K}$, co można zapisać w następujący sposób:

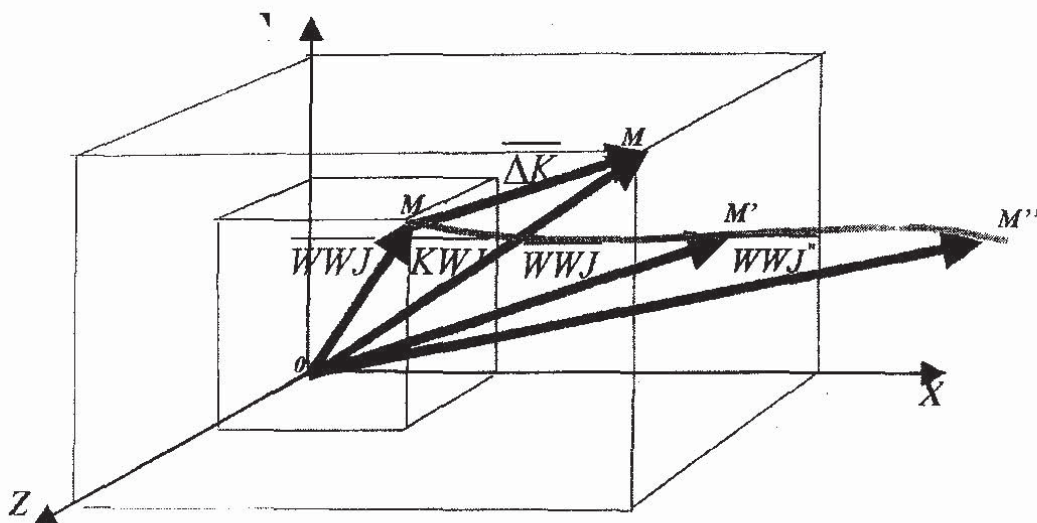
$$\overline{\Delta K} = \overline{KWJ} - \overline{WWJ} \quad (3)$$

Przy czym punkt M', będący końcem wektora \overline{WWJ} , w przedziale czasu o długości Δt , kreśli trajektorię odwzorowującą zmiany poszczególnych wartości cech badanego systemu, w rozpatrywanej przestrzeni p - wymiarowej. **Oznacza to, że jakość działania systemu jest zmienna w czasie**, ponieważ na każdej osi, w rozpatrywanej p – wymiarowej przestrzeni w czasie (t+ Δt) zmianie ulegają wartości składowe wektora [10].

Uproszczoną geometryczną interpretację wektora $\overline{\Delta K}$, wyznaczającego stopień jakości działania systemu w przestrzeni R^3 , przedstawiono na rysunku 4.

Jeżeli dla każdej z cech, wyznaczających punkt M – będący końcem wektora \overline{KWJ} , wydzielimy obszary tolerancji (wartości graniczne dla poszczególnych cech), to otrzymamy w przestrzeni p – wymiarowej tzw. bryłę p – wymiarową, w której usytuowany będzie koniec wektora \overline{KWJ} . Utworzona w ten sposób bryła wyznacza p – wymiarową, **wzorcową**

przestrzeń jakości działania systemu. Wówczas stopień jakości działania systemu wyznacza odległość położenia końca wektora \overline{WWJ} (punktu M) od wzorcowej przestrzeni jakości.



Rys. 4. Geometryczną interpretację wektora $\overline{\Delta K}$, wyznaczającego stopień jakości działania systemu w przestrzeni R^3

Fig. 4. Geometric interpretation ΔK vector determined degree quality system operation on the R^3 space

W ocenie jakości działania złożonych systemów eksploatacji, rozważa się również przypadek, w którym dla każdej wartości cech, wyznaczających punkt M – będący końcem wektora \overline{WWJ} , można wydzielić obszar tolerancji. Wówczas w przestrzeni p – wymiarowej otrzymamy tzw. bryłę p – wymiarową, w której usytuowany będzie koniec wektora \overline{WWJ} . Utworzona w ten sposób bryła wyznacza p – wymiarową przestrzeń jakości działania systemu w chwili t . Przestrzeń tą nazwano *rzeczywistą przestrzenią jakości działania systemu* w chwili t . Wówczas ocenę jakości działania systemu $\overline{\Delta K}$ wyznacza odległość rzeczywistej od wzorcowej przestrzeni jakości.

4. Ogólny model oceny jakości działania systemów

Model systemu to taki dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować układ, który odzwierciedlając lub odtwarzając obiekt badań, zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nam nowej informacji o tym obiekcie [7]. Należy jednak mieć na uwadze, że model jest zawsze uproszczeniem, idealizacją procesu lub systemu. Model powinien spełniać funkcje polegające na uchwyceniu istotnych zmiennych badanych zjawisk i procesów pomijając inne. Podział na zmienne istotne i nieistotne zależy w głównej mierze od percepcji badacza, stanu jego wiedzy, możliwości pomiarowych i obliczeniowych oraz przyjętych metod, narzędzi i technik badawczych.

4.1. Założenia do budowy modelu

Niech $X_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, p$, oznacza cechę, będącą zmienną losową zależną od czasu, której realizacja w danej chwili t opisuje jakość działania systemu. W pracy rozważa się wektor cech jakości postaci:

$$X(t) = \langle X_1(t), X_2(t), \dots, X_p(t) \rangle \quad (4)$$

Składowa $X_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, p$, wektora $X(t)$, jest jednowymiarowym procesem losowym w przestrzeni R , opisującym i – tą cechę jakości działania systemu. Natomiast wektor $X(t)$ jest p

– wymiarowym procesem losowym opisującym całościowo jakość działania systemu w przestrzeni R^p , w danej chwili t . Wówczas zapis:

$$X: T \times \Omega \rightarrow R^p \quad (5)$$

oznacza, że dla każdej pary (t, ω) , gdzie $t \in T, \omega \in \Omega$, $X(t, \omega)$ jest p – wymiarowym wektorem o składowych będących liczbami rzeczywistymi wyrażającymi wartości cech jakości badanego systemu w danej chwili t .

X – p – wymiarowy proces losowy (w interpretacji geometrycznej odzwierciedlający wektor \overline{WWJ}),

$T = \langle 0, +\infty \rangle$ - jest zbiorem chwil czasowych,

Ω - oznacza zbiór zdarzeń elementarnych,

ω – zdarzenie elementarne,

R^p – oznacza p – wymiarową przestrzeń złożoną z wektorów postaci (x_1, x_2, \dots, x_p) ,

gdzie:

x_i – stanowią p – elementowe ciągi liczb, $x_i \in R, i = 1, 2, \dots, p$.

4. 2. Ogólny model oceny jakości działania systemów transportowych

Do oceny jakości działania systemu eksploatacji, wyznacza się zbiór cech jakości Z , który dzieli się na n – rozłącznych podzbiorów Z_1, Z_2, \dots, Z_n takich, że

$$Z_i \cap Z_j = \emptyset \text{ dla } i \neq j; \quad (6)$$

$$Z = Z_1 \cup Z_2 \cup \dots \cup Z_n = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_p(t)\} = X(t), \quad n, p \in N, n \leq p; \quad (7)$$

Każdy z Z - tych podzbiorów stanowi zbiór cech opisujących jakość działania poszczególnych elementów systemu. Liczność elementów oraz cech wyznaczana jest na podstawie identyfikacji badanego systemu i uzależniona jest od jego złożoności i charakterystyki. Ocenę jakości działania systemu dokonuje się na podstawie wyróżnionych, istotnych z punktu widzenia celu realizacji badań, cech jakościowych $X_i(t) \quad i=1, 2, \dots, p$. Wartości tych cech wyznaczają składowe „Wielowymiarowego Wektora Jakości” (\overline{WWJ}). Wektor ten jest odzwierciedleniem stopnia jakości działania systemu w chwili t . Powyższe rozważania można zapisać w postaci:

$$\begin{aligned} Z_1 &= \{X_1(t), \dots, X_{Z_1}(t)\}, \\ Z_2 &= \{X_{Z_1+1}(t), \dots, X_{Z_2}(t)\}, \\ Z_3 &= \{X_{Z_2+1}(t), \dots, X_{Z_3}(t)\}, \\ &\dots \\ Z_n &= \{X_{Z_{n-1}+1}(t), \dots, X_{Z_n}(t)\}, \end{aligned} \quad (8)$$

gdzie: $Z_n = p$,

Przyjęto, że jakość działania systemu eksploatacji jest odwzorowaniem postaci:

$$Y: T \times \Omega \rightarrow R \quad (9)$$

co oznacza, że $Y(t, \omega) \quad t \in T, \omega \in \Omega$, jest *miarą jakości działania systemu w chwili t , zależną od zdarzenia elementarnego ω* ,

gdzie:

Y – miara oceny jakości działania systemu, będąca funkcją wektora zmiennej losowej $X(t)$, (odzwierciedlająca długość wektora $\overline{\Delta K}$),

$T = \langle 0, +\infty \rangle$ - jest zbiorem chwil czasowych,

Ω - oznacza zbiór zdarzeń elementarnych,

R – zbiór liczb rzeczywistych,

ω - zdarzenie elementarne.

4.3. Miary oceny jakości działania systemów transportowych

4.3.1 Relacja częściowego porządku

Niech $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ będą chwilami, w których dokonano pomiaru wartości cech jakości działania badanego systemu S .

W zbiorze wektorów $X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)$ można wprowadzić relację częściowego porządku w następujący sposób:

Definicja 1.

Wektor $X(t_k)$ jest w relacji z wektorem $X(t_r)$, jeśli dla każdego $i \in \{1, 2, \dots, p\}$ zachodzi:

$$X_i(t_k) \leq X_i(t_r) \quad (10)$$

Powyższy zapis oznacza, że system S w chwili $t_r \in T$ posiada wyższy stopień jakości działania niż w chwili t_k .

W opracowaniu przyjęto, że równanie (4) wyznacza zbiór cech opisujących wektor jakości działania systemu w chwili t .

Przy czym $X_i(t_k), X_i(t_r)$ oznaczają te same zbiory cech jakościowych opisujących badany system w chwilach czasowych t_r i t_k .

Definicja 2.

System S w chwili t_k posiada wyższy stopień jakości działania niż w chwili t_r , jeśli prawdziwe są nierówności:

$$X_i(t_r) \leq X_i(t_k) \quad (11)$$

dla $i = 1, 2, \dots, p$.

Jak widać do opisu zmian jakości działania badanych systemów w różnych chwilach czasowych t_k i t_r , można wykorzystać relację częściowego porządku.

4.3.2 Relacja dobrego uporządkowania

Wprowadzona w podpunkcie 4.2.1 relacja częściowego porządku, pozwala na stwierdzenie czy badany system w chwili t_r posiada wyższy stopień jakości działania niż w chwili t_k , tylko w określonych przypadkach.

W celu opisu relacji uporządkowania dla dowolnych systemów, w ustalonych chwilach czasowych, dla wektora jakości postaci opisanej zależnością (4), wprowadza się funkcję określoną na tym wektorze, przyjmującą wartości ze zbioru liczb rzeczywistych. Wartości tej funkcji tworzą zbiór uporządkowany postaci:

$$q(X(t)) = q(X_1(t), X_2(t), \dots, X_p(t)), \quad (12)$$

gdzie q jest funkcją p – zmiennych taką, że $q(X(t))$ jest procesem stochastycznym. Funkcja ta jest miarą jakości działania systemu.

W rozważaniach dotyczących jakości działania systemu przyjęto, że każda ze współrzędnych wektora $X(t)$ jest mniejsza lub równa od pewnej wartości granicznej, wzorca dla poszczególnych cech jakości.

$$X_i(t) \leq q_i \text{ dla } t \in T, i = 1, 2, \dots, p. \quad (13)$$

Zbiór wartości cech kryterialnych jakości spełniający powyższą nierówność odzwierciedla wzorcowy stan jakości działania systemu (w interpretacji geometrycznej \overline{KWI}).

Korzystając z (12) można wprowadzić relację **dobrego uporządkowania** systemów pod względem jakości ich działania.

Definicja 3.

Badany system w chwili $t_k \in T$ posiada wyższy stopień jakości działania niż w chwili $t_r \in T$, jeśli:

$$q(X(t_r)) < q(X(t_k)). \quad (14)$$

Dla badanego systemu definiuje się proces losowy, odzwierciedlający jakość działania systemu, postaci:

$$Z_X(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i X_i(t), \quad \alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^p \alpha_i = 1, \quad (15)$$

gdzie α_i , $i = 1, 2, \dots, p$ oznaczają wartości wag jakościowych dla poszczególnych cech, wyznaczających jakość działania badanego systemu.

W celu wyznaczenia wag dla poszczególnych cech znajdujących się w jawnym opisie modelu, proponuje się zastosowanie metody macierzy znaczeń.

$Z_X(t)$ – jest procesem losowym, będącym skończoną mieszaniną procesów $X_i(t)$, $i=1,2,\dots,p$

Dla procesu $Z_X(t)$ oczywista jest nierówność:

$$Z_X(t) \leq \sum_{i=1}^p \alpha_i q_i, \quad t \in T, \quad (16)$$

Powyższa nierówność wskazuje na to, że proces $Z_X(t)$ określony za pomocą równości (15) jest ograniczony czyli, wartości cech wyznaczające jakość działania systemu nie przekroczą z góry określonego progu tj. prawej strony nierówności (16).

Dla wartości średniej można zapisać:

$$EZ_X(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i EX_i(t), \quad (17)$$

Wartość średnia $EZ_X(t)$ jest kombinacją liniową wartości średnich $EX_i(t)$, $i=1,2,\dots,n$. Wzór (17) ma zastosowanie niezależnie od tego czy procesy $X_i(t)$, $i=1,2,\dots,n$ są zależne.

Dla wariancji procesu $Z_X(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i X_i(t)$ zachodzi:

$$D^2 Z_X(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i^2 D^2 X_i(t) + 2 \sum_{i>j} \alpha_i \alpha_j \text{cov}(X_i(t), X_j(t)), \quad (18)$$

gdzie $\text{cov}(X_i(t), X_j(t))$ oznacza kowariancję między zmiennymi losowymi $X_i(t)$ oraz $X_j(t)$. W przypadku, gdy procesy losowe $X_i(t)$, $i=1,2,\dots,p$ są niezależne, wszystkie kowariancje $\text{cov}(X_i(t), X_j(t))$ są równe zeru. W tym przypadku wariancja procesu $Z_X(t)$ jest sumą wariancji.

W rzeczywistych przypadkach procesy $X_i(t)$, $i=1,2,\dots,p$ są zależne i należy się spodziewać, że kowariancje $\text{cov}(X_i(t), X_j(t))$ będą dodatnie. Fakt ten można sformułować, że procesy $X_i(t)$ są parami dodatnio skorelowane. Oznacza to, że współczynnik korelacji między zmiennymi losowymi $X_i(t)$ oraz $X_j(t)$, $i,j=1,2,\dots,n$, jest dodatni.

Dla badanego systemu S w dowolnej chwili t można określić odległość – d , między punktem opisującym jakość działania tego systemu w chwili t (w interpretacji geometrycznej punkt ten stanowi koniec \overline{WWJ}) od systemu wzorcowego (punktu wyznaczającego \overline{KWJ}) za pomocą wzoru:

$$d(X(t), q) = \left(\sum_{i=1}^p (X_i(t) - q_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Wzór (19) może służyć jako narzędzie do klasyfikacji systemów pod względem jakości ich działania.

Funkcje (15) i (19) są szczególnymi przypadkami *funkcjonałów addytywnych* określonych na p – wymiarowym procesie stochastycznym $X(t)$.

5. Symulacyjne badania modelu

W celu sprawdzenia adekwatności i wrażliwości zbudowanego modelu oceny jakości działania systemu, opracowano algorytm symulacji zmian wartości wybranych cech

5. Symulacyjne badania modelu

W celu sprawdzenia adekwatności i wrażliwości zbudowanego modelu oceny jakości działania systemu, opracowano algorytm symulacji zmian wartości wybranych cech opisujących system. Zmiana wartości tych cech odzwierciedla zachowanie się systemu rzeczywistego oraz wyznacza wartości metryk opisujących jakość działania systemu.

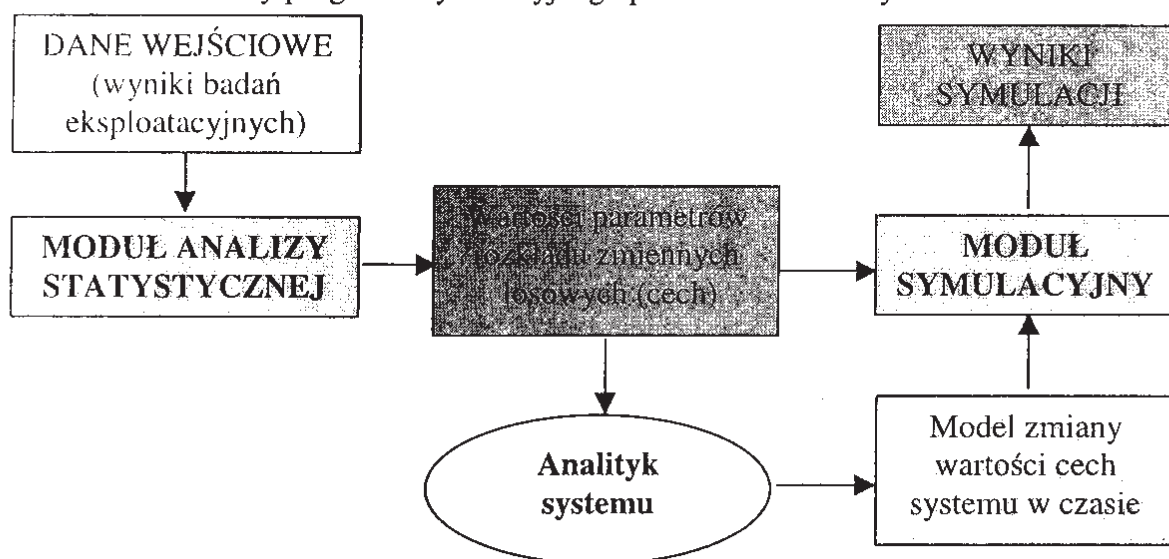
Dla potrzeb niniejszej pracy, na podstawie zbudowanego algorytmu symulacyjnego, opracowano program komputerowy, który umożliwi dokonanie oceny wpływu zmiany wartości cech opisujących system, na jakość jego działania.

Opracowany program składa się z dwóch modułów: modułu analizy statystycznej oraz modułu symulacji zmian wartości cech opisujących jakość działania systemu w czasie.

Dane wejściowe do modułu analizy statystycznej stanowi plik tekstowy zawierający wartości cech występujących w jawnym opisie modelu, mierzonych w danych chwilach t .

Moduł symulacyjny, na podstawie danych wejściowych, generuje zmianę wartości poszczególnych cech opisujących jakość działania badanego systemu w kolejnych chwilach czasu, i wyznacza wartości metryk opisujących jakość działania systemu.

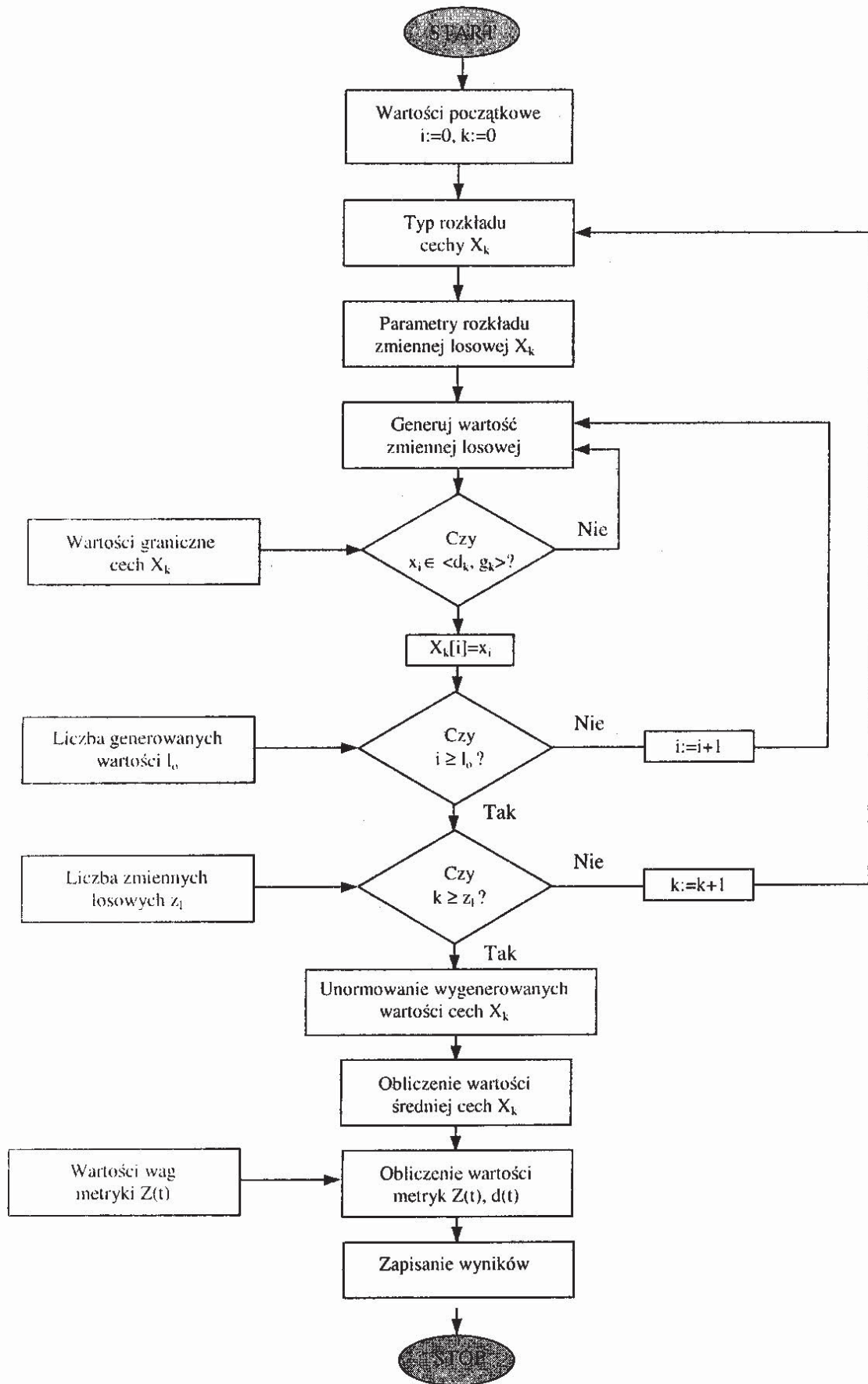
Schemat blokowy programu symulacyjnego przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat blokowy programu symulacyjnego
Fig. 5. Simplified scheme of simulation program

Plan realizacji badań symulacyjnych:

- a) podaj liczbę generowanych obserwacji,
- b) podaj liczbę analizowanych cech systemu,
- c) określ typ rozkładu dla poszczególnych cech,
- d) określ parametry rozkładu poszczególnych zmiennych losowych na podstawie weryfikacji hipotezy o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładami teoretycznymi,
- a) wygeneruj wartości i -tej cechy ($i=1,2,\dots,p$), z rozkładu: dyskretnego lub ciągłego,
- f) wyznacz wartości graniczne dla poszczególnych cech,
- g) dokonaj unormowania wartości wygenerowanych zmiennych losowych, wg przyjętych założeń,
- h) wyznacz wartości średnie otrzymanych ocen,
- i) oblicz wartości cech na podstawie przyjętych (proponowanych) metryk $Z(t)$ i $d(t)$ korzystając z zależności (15) i (19),
- j) dla metryki $Z(t)$ wyznacz wartości wag dla poszczególnych cech,
- k) określ modele zmiany wartości poszczególnych cech,
- l) wygeneruj wyniki zrealizowanych badań w postaci raportów,



Rys. 6. Algorytm symulacji przebiegu procesu zmiany jakości działania systemu eksploatacji
 Fig. 6. Algorithm simulation course of quality modification action process system

6. Podsumowanie

Ze względu na zastosowanie ujęcia systemowego, do budowy modelu oceny jakości działania systemu transportowego, uzyskano taki stopień ogólności rozważań, że opracowaną metodę można stosować do ogólnie pojętych systemów eksploatacyjnych. Zaprezentowany model oceny jakości działania systemów eksploatacji, może być zastosowany zarówno w ocenie jakości działania tego samego systemu w różnych chwilach czasowych jak i w ocenie jakości działania dwóch różnych systemów w tej samej chwili czasu oraz różnych systemów w różnych chwilach czasowych.

Literatura

- [1] Kazimierzczak J., 1978, System cybernetyczny. Wiedza Powszechna, Warszawa
- [2] Klir G.J., 1976, Ogólna teoria systemów. WNT, Warszawa
- [3] Niziński S., 2002, Eksploatacja obiektów technicznych. ITE, Warszawa – Sulejówkę – Olsztyn – Radom
- [4] Oziemski S., 2002, System antropocentryczny wielowarstwowy. Geneza, koncepcja modelowania. Problemy Maszyn Roboczych. Antropocentryzm. ITE, Radom
- [5] Praca zbiorowa pod redakcją M. Woropay'a, 1996, Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn. ITE, Bydgoszcz – Radom
- [6] Smalko Z., 1998, Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- [7] Wicher J., 1975, Problemy identyfikacji systemów technicznych ze szczególnym uwzględnieniem układów mechanicznych. PAN, Warszawa
- [8] Woropay M., Knopik L., Landowski B., 2001, Modelowanie procesów eksploatacji w systemie transportowym. ITE, Bydgoszcz - Radom
- [9] Woropay M., Muślewski Ł., 2000, Budowa kryterialnego modelu oceny jakości złożonego systemu eksploatacji. Zeszyty Naukowe 229, Mechanika 48, Wydawnictwo Akademii-Techniczno Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz
- [10] Woropay M., Muślewski Ł., 2002, Model oceny jakości działania systemu transportowego. Problemy eksploatacji. ITE nr 1/2002, Radom