

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 229

# MECHANIKA 48

BYDGOSZCZ - 2000



AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 229

# MECHANIKA 48



BYDGOSZCZ - 2000

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
dr hab. inż. Janusz Prusiński, prof. nadzw. ATR

REDAKTOR NAUKOWY  
prof. dr hab. inż. Maciej Woropay

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE  
mgr Michał Górecki, mgr inż. Daniel Morzyński

Wydano za zgodą Rektora  
Akademii Techniczno-Rolniczej  
w Bydgoszczy

ISSN 0208-6395

WYDAWNICTWA UCZELNIANE  
AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ W BYDGOSZCZY

---

Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark. aut. 5,7. Ark. druk. 7,0. Papier druk. kl. III.  
Oddano do druku i druk ukończono w grudniu 2000 r.

Uczelniany Zakład Małej Poligrafii ATR Bydgoszcz, ul. Ks. A. Kordeckiego 20  
Zamówienie nr 11/2000

2001 k 49/82

## Spis treści

1. Bogdan Landowski – Zarys metody wyznaczania wartości zmiennych decyzyjnych w systemach eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej .....	5
2. Bogdan Landowski – Model eksploatacji pewnej klasy obiektów technicznych .....	21
3. Janusz Musiał, Michał Styp-Rekowski – Program Solid Edge - rozszerzenie możliwości projektowania i konstruowania .....	37
4. Michał Styp-Rekowski – Technologiczne i konstrukcyjne zagadnienia recykulacji płynów obróbkowych w obrabiarkach erozyjnych .....	45
5. Grzegorz Szala – Metody badań cech wytrzymałościowych ziaren zbóż .....	57
6. Grzegorz Szala – Badania wytrzymałości ziaren pszenicy w próbie technologicznego ścinania .....	63
7. Henryk Tylicki, Jacek Różycki – Metodologia badania wrażliwości prognozy stanu technicznego maszyn .....	75
8. Henryk Tylicki, Leszek Surówka – Problemy diagnozowania układów hydraulicznych maszyn roboczych i pojazdów .....	85
9. Maciej Woropay, Łukasz Muślewski – Budowa kryterialnego modelu oceny jakości złożonego systemu eksploatacji .....	95



# ZARYS METODY WYZNACZANIA WARTOŚCI ZMIENNYCH DECYZYJNYCH W SYSTEMACH EKSPLOATACJI AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Bogdan Landowski

Katedra Eksploatacji Maszyn  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

W artykule przedstawiono zarys metody pośredniego wyznaczania wartości wybranych zmiennych decyzyjnych do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji, realizowanym w systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej. Opisano również podstawowe założenia modelu procesu eksploatacji stanowiącego istotny element metody oraz zdefiniowano, wyróżnione w procesie identyfikacji procesu eksploatacji realizowanego w rzeczywistym systemie miejskiej komunikacji autobusowej, stany eksploatacyjne autobusu.

*Słowa kluczowe:* proces eksploatacji, autobusowa komunikacja miejska, modelowanie, symulacja, wskaźnik decyzyjny, zmienna decyzyjna

## 1. WPROWADZENIE

Ważną gałęzią transportu jest miejski transport pasażerski. Pojęcie transportu miejskiego w odróżnieniu od pozostałych gałęzi transportu (samochodowy, kolejowy, wodny śródlądowy, morski, lotniczy) wyodrębnione zostało na drodze poziomej klasyfikacji transportu, w której kryterium podziału jest rozgraniczenie jednostek terytorialnych, w obrębie których realizowane są usługi transportowe. Wyodrębnienie problematyki pasażerskiego transportu miejskiego wynika nie tylko z przestrzennego zasięgu jego działania, lecz przede wszystkim z jego specyfiki eksploatacyjno-ekonomicznej uwarunkowanej charakterem pasażerskich potrzeb transportowych i sposobem, w jaki są one zaspokajane. Z tego względu pojęcie pasażerskiego transportu miejskiego jest w wielu opracowaniach zawężane i często utożsamiane z pojęciem komunikacji miejskiej (regularnymi przewozami pasażerskimi zbiorowymi środkami transportu po określonych trasach).

Zasięg działania pasażerskiego transportu miejskiego jest szerszy niż literalnie wynikałoby to z jego nazwy. Obejmuje on również strefy podmiejskie (spełniające analogiczne funkcje jak dzielnice miasta) niekiedy znacznie oddalone od granic administracyjnych miasta (tereny wypoczynkowe, duże zakłady przemysłowe itp.).

Analizowanym w pracy systemem eksploatacji środków transportu miejskiego jest system eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej. O złożoności tego systemu i realizowanego w nim procesu eksploatacji decyduje zarówno duża liczba jego podsystemów i elementów usytuowanych na różnych poziomach dekompozycji, spełniających różne funkcje, jak również dynamiczna zmiana w czasie czynności oraz procesów eksploatacyjnych, którym poddawane są w tym systemie obiekty techniczne. Niektóre procesy zachodzą lub realizowane są w sposób zdeterminowany, natomiast inne mają charakter losowy.

Nadrzędnym celem systemu eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej jest bezpieczne przewożenie pasażerów w wyznaczonym zakresie ilościowym i terytorialnym. Jednak ze względu na ograniczoność środków finansowych, niezbędnych do realizacji wyznaczonego celu dąży się do ciągłego zwiększania efektywności ekonomicznej przewozów, a tym samym minimalizacji nakładów związanych z komunikacją miejską.

Ze względu na różnorodność i zakres decyzji – podejmowanych w rzeczywistych systemach eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej – dotyczących realizowanego w nich procesu eksploatacji opracowano metodę pośredniego wyznaczania wartości zmiennych decyzyjnych, której zastosowanie umożliwi racjonalne sterowanie procesem eksploatacji. Istota tej metody polega na:

- identyfikacji systemu eksploatacji,
- identyfikacji realizowanego w tym systemie procesu eksploatacji,
- budowie modelu procesu eksploatacji,
- budowie programu do symulacji przebiegu procesu eksploatacji,
- komputerowej symulacji przebiegu procesu eksploatacji,
- analizie wartości parametrów modelu,
- analizie wyznaczonych wartości wskaźników decyzyjnych,

Opracowana metoda wraz z komputerowym programem do symulacji przebiegu procesu eksploatacji stanowią narzędzie do wspomagania procesu podejmowania decyzji, sterujących procesem eksploatacji, realizowanym w systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej.

Ze względu na ograniczoną objętość opracowania w artykule przedstawiono jedynie istotę opracowanej metody.

## 2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań – na którym zilustrowano całość rozważań – jest rzeczywisty system eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej w dużej (ok. 400 tys. mieszkańców) aglomeracji miejskiej. System ten jest jednym z podsystemów systemu komunikacji miejskiej.

Badany system należy do klasy systemów rzeczywistych, działaniowych z zachowaniem celowym. Sterowanie procesami realizowanymi w tym systemie umożliwia osiągnięcie wyznaczonych celów. Jest to system złożony, działający w konkretnym otoczeniu.

W pracy, przez złożony system eksploatacji rozumie się taki system, w którym można wyodrębnić podsystemy, z których każdy może być rozpatrywany jako system złożony [13]. Cechy systemu złożonego, jako całości, są funkcją cech jego podsystemów oraz struktury systemu. Na najniższym poziomie dekompozycji systemu złożonego



znajdują się obiekty, tzw. niepodzielne, bowiem podział systemu złożonego na podsystemy jest podziałem umownym, a ich liczba, podobnie jak liczba wyróżnionych poziomów dekompozycji zależy od celu badań.

W modelu systemu eksploatacji środków transportu, przedstawionym na rys. 1, wyróżniono cztery podsystemy:

- podsystem sterujący,
- podsystem zapewniania zdatności,
- podsystem diagnostyczny,
- podsystem procesowy.

Do modelu systemu eksploatacji środków transportu włączono jego otoczenie, którego stan często wpływa na zachowanie się systemu i jego podsystemów.

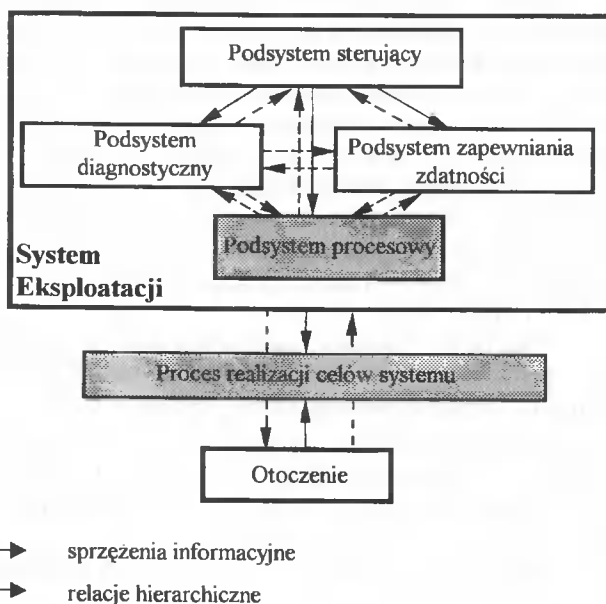
Wyróżnione podsystemy tworzą system o strukturze hierarchicznej.

Podsystem sterujący spełnia funkcję kierującą i nadzorującą działanie systemu eksploatacji.

Zapewnianie stanu zdatności zadaniowej eksploatowanym środkiem transportu realizowane jest przez podsystem zapewniania zdatności i współdziałający z nim podsystem diagnostyczny. W podsystemie zapewniania zdatności realizowane są procesy onowu i obsługiwanie środków transportu.

Podstawowym zadaniem podsystemu diagnostycznego jest określanie – na podstawie sygnałów i symptomów diagnostycznych – przeszłych, aktualnych oraz przyszłych stanów eksploatowanych w systemie środków transportu.

Podsystem procesowy składa się ze zbioru podsystemów elementarnych typu <C-OT> (operator-środek transportu). Podsystem ten wykonuje zadania przewozowe przyjęte do realizacji przez podsystem sterujący.



Rys. 1. Model systemu eksploatacji środków transportu

Podstawowym celem działania badanego systemu eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej jest przewóz pasażerów w obrębie miasta i strefie podmiejskiej. Poszczególne zadania przewozowe należy realizować terminowo i bezpiecznie. Zakres terytorialny oraz ilościowy realizowanych zadań przewozowych ustalany jest przez zarząd gminy, na terenie której realizowane są przewozy i określony umową zawartą pomiędzy decydentami systemu eksploatacji środków transportu a zarządem gminy. Zadania przewozowe na określonych liniach komunikacyjnych ustalane są przez zarząd gminy, a związane z tym zobowiązania finansowe określa stosowna umowa.

W związku z powyższym istotnym problemem eksploatacyjnym jest zabezpieczenie wymaganego w tego typu systemach poziomu gotowości, niezawodności i bezpieczeństwa działania autobusów realizujących zadania przewozowe, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej efektywności realizacji tych zadań.

### 3. OPIS STANÓW EKSPLOATACYJNYCH OBIEKTÓW TECHNICZNYCH – ZDARZENIOWY MODEL PROCESU EKSPLOATACJI

Jedną z głównych cech decydujących o racjonalności sterowania procesem eksploatacji obiektów technicznych jest jakość stosowanych modeli opisu tego procesu.

W tej części pracy przedstawiono podstawowe założenia do budowy modelu procesu eksploatacji obiektów technicznych realizowanego w analizowanym systemie eksploatacji. Model ten został zbudowany na podstawie analizy przestrzeni stanów eksploatacyjnych oraz zdarzeń eksploatacyjnych dotyczących autobusów komunikacji miejskiej eksploatowanych w rzeczywistym systemie transportu miejskiego.

Każdy z eksploatowanych obiektów technicznych może, w danej chwili czasu  $t$ ,  $t \in \langle t_0, t_k \rangle$ , znajdować się tylko w jednym z wyróżnionych stanów eksploatacyjnych, tworzących zbiór stanów procesu. Modelem procesu eksploatacji jest proces losowy  $X(t) = s$  o skończonym zbiorze stanów  $S$ ,  $s \in S$ . Realizacja procesu, to sekwencja następujących po sobie wyróżnionych stanów. Kolejność następstw stanów, czasy przebywania w poszczególnych stanach i częstości ich występowania zależne są przede wszystkim od indywidualnych cech poszczególnych obiektów technicznych, cech procesów jakim te obiekty podlegają oraz od cech i struktury podsystemów, współdziałających w realizacji procesu eksploatacji [5, 15].

W procesie identyfikacji procesu eksploatacji oraz na podstawie analizy wyników badań eksploatacyjnych stwierdzono następujące istotne zależności:

- rozkładu zmiennej losowej określającej czas przebywania autobusu w stanie odnowy od rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu,
- kosztu naprawy od rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu,
- rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu od rodzaju poprzednio uszkodzonego podsystemu,
- sekwencji kolejnych stanów eksploatacyjnych od rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu,

W związku z powyższym zbudowano model procesu eksploatacji, który opisuje powyższe zależności [9].

Model ten opisuje proces z, tzw. działaniem wtórnym (dla wyróżnionych stanów prawdopodobieństwo przejścia procesu z aktualnego stanu do stanu następnego zależy nie tylko od aktualnego stanu, lecz również od zdarzenia z przeszłości).

W celu opisu cechy „pamięci” modelowanego procesu wprowadzono następujące oznaczenia:

$Y(t)$ ,  $t \geq 0$  – proces losowy o skończonym zbiorze stanów  $S$ ,

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_a, S_{a+1}, \dots, S_w\}$  – zbiór stanów procesu  $Y(t)$ ,  $a, w \in \mathbb{N}$ ,  $a < w$ ,

$w$  – liczba wyróżnionych stanów procesu  $Y(t)$ ,

$A, U$  – wyróżnione podzbiory stanów procesu  $Y(t)$ ,  $A \subset S$ ,  $U \subset S$ , spełniające warunki:

$$A \cap U = \emptyset, A \cup U = S,$$

$A = \{S_1, S_2, \dots, S_a\}$ ,

$U = \{S_{a+1}, \dots, S_w\}$ ,

$a$  – moc wyróżnionego podzbioru  $A$  stanów procesu,

$u = w - a$  – moc wyróżnionego podzbioru  $U$  stanów procesu,

$t_i$  – zmienne losowe oznaczające chwile, w których następuje zmiana stanu procesu  $Y(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,

$\Pi = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  – zbiór chwil  $t_i$ , takich że:  $0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$

$n$  – numer kroku, w którym następuje zmiana stanu procesu,  $n \in \mathbb{N}$ ,

$\tau_m$  – zmienne losowe oznaczające chwile, w których następuje zmiana stanu procesu  $Y(t)$  ze stanu  $S_i \in S$  ( $i = 1, 2, \dots, w$ ) na stan  $S_j \in U$  ( $j = a+1, a+2, \dots, w-1, w$ ),  $m = 1, 2, \dots, k$ ,

$\psi = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k\}$ ,  $\psi \subset \Pi$  – zbiór chwil  $\tau_m$ , takich że:  $0 = \tau_0 < \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_k$ ,  $k \leq n$

Cechę „pamięci” modelowanego procesu można opisać następująco:

przy znanym stanie procesu w chwili  $t_n$  stan osiągnięty w chwili  $t_{n+1}$  zależy stochastycznie od stanu w jakim proces znajdował się w chwili  $\tau_k$ ,  $\tau_k \leq t_n$  (ostatniego stanu  $S_i \in U$ ), natomiast nie zależy stochastycznie od poprzednich stanów  $S_i \in A$  oraz czasów trwania poprzednich stanów  $S_i \in S$  procesu, co można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} P\{Y(t_{n+1}) = S_j / Y(t_n) = S_i, Y(t_{n-1}) = S_{i(n-1)}, \dots, Y(t_1) = S_{i(1)}, Y(t_0) = S_{i(0)}\} = \\ = P\{Y(t_{n+1}) = S_j / Y(t_n) = S_i, Y(\tau_k) = S_m\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Jeżeli na przykład wyróżnionymi stanami eksploatacyjnymi obiektu technicznego są następujące stany:

$S_1$  – stan czynnego użytkowania obiektu technicznego,

$S_2$  – stan diagnozowania obiektu technicznego,

$S_3$  – stan naprawy podsystemu obiektu technicznego oznaczonego kodem  $U_1$  (np. naprawa silnika),

$S_4$  – stan naprawy podsystemu obiektu technicznego oznaczonego kodem  $U_2$  (np. naprawa skrzyni biegów),

$S_5$  – stan naprawy podsystemu obiektu technicznego oznaczonego kodem  $U_3$  (np. naprawa pozostałych podsystemów),

a w zbiorze stanów  $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$  wyróżniono następujące podzbiory stanów:

$A = \{S_1, S_2\}$ ,

$U = \{S_3, S_4, S_5\}$ ,

wówczas zależność (1) dla stanów  $S_i = S_1$ ,  $S_j = S_3$  w formie opisowej można sformułować następująco: prawdopodobieństwo przejścia procesu ze stanu czynnego użytkowania obiektu technicznego do stanu naprawy podsystemu obiektu technicznego oznaczonego kodem  $U_1$  zależy od rodzaju ostatnio uszkodzonego podsystemu tego obiektu.

Zaproponowana metoda opisu modelu [9] umożliwiła transformację procesu  $Y(t)$  (z cechą pamięci) w proces  $X(t)$  charakteryzujący się właściwością Markowa. Metoda ta polega na wyróżnieniu stanów głównych i ich dekompozycji na  $u$  podstanów oraz sformułowaniu założeń dotyczących prawdopodobieństw przejść pomiędzy stanami. Zastosowany sposób kodowania stanów umożliwia wykorzystanie teorii procesów semi-Markowa do matematycznego modelowania procesu eksploatacji. Opracowana metoda budowy modelu pozwala na budowę modeli procesu eksploatacji, zdekomponowanych na podprocesy usytuowane na różnych poziomach szczegółowości i analizę tego procesu na wybranym poziomie jego dekompozycji.

### 3.1. Opis stanów eksploatacyjnych autobusu

W wyniku identyfikacji systemu eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej i realizowanego w nim procesu eksploatacji autobusów, w oparciu o kryterium istotności stanów (kryterium zysku) wyróżniono trzynaście istotnych stanów eksploatacyjnych autobusu nazwanych stanami głównymi.

W celu uwzględnienia wpływu rodzaju uszkodzonego podsystemu obiektu technicznego na sekwencje kolejnych stanów do modelu wprowadzono dodatkowy stan „uszkodzenie” obiektu technicznego. Jest to, tzw. *stan przełączający*. Założono, że czas przebywania obiektu technicznego w tym stanie jest pomijalnie mały (w stosunku do czasu przebywania obiektu technicznego w pozostałych stanach).

Zbiór wyróżnionych głównych stanów eksploatacyjnych obiektów technicznych można podzielić na dwa rozłączne podzbiory. Pierwszy podzbiór stanowią stany eksploatacyjne, w których obiekt techniczny znajduje się w stanie zdatności zadaniowej. Do tego podzbioru należą stany:

- stan czynnego użytkowania obiektu technicznego,
- stan obsługi codziennej obiektu technicznego,
- stan oczekiwania obiektu technicznego na podjęcie realizacji zadania przewozowego,
- stan oczekiwania obiektu technicznego ze względu na niezdatność otoczenia,
- stan postoju organizacyjnego obiektu technicznego.

Drugi podzbiór stanowią stany eksploatacyjne, w których obiekt techniczny znajduje się w stanie niezdatności zadaniowej. Do tego podzbioru należą stany:

- stan oczekiwania obiektu technicznego na jednostkę pogotowia technicznego,
- stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w otoczeniu systemu eksploatacji (przez jednostki pogotowia technicznego),
- stan oczekiwania obiektu technicznego na odnowę realizowaną w systemie eksploatacji,
- stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w systemie eksploatacji (odnowa realizowana w stacji obsługi),
- stan oczekiwania obiektu technicznego na diagnozowanie przednaprawcze,
- stan diagnozowania przednaprawczego obiektu technicznego,
- stan oczekiwania obiektu technicznego na diagnozowanie ponaprawcze,

- stan diagnozowania ponaprawczego obiektu technicznego,
- stan „uszkodzenie” obiektu technicznego.

Wyróżnione stany zdefiniowano następująco [9]:

### **S<sub>1</sub> - Stan czynnego użytkowania obiektu technicznego**

Obiekt techniczny wraz z operatorem realizują przydzielone im zadanie przewozowe. W badanym systemie eksploatacji zdefiniowanie dziennego zadania przewozowego dla danego obiektu technicznego i operatora polega na przydzieleniu numeru trasy oraz numerów kursów. Zakres terytorialny zadania przewozowego jest określony numerem trasy, natomiast czasowy – numerami kursów, zgodnie z obowiązującym rozkładem jazdy.

Jako realizację zadania przewozowego w szczególności rozumie się:

- przejazdy z (do) miejsca postoju do (od) miejsca początkowego (końcowego) danej trasy i kursu,
- przejazdy przydzieloną trasą,
- przerwy między kursami, wynikające z obowiązującego rozkładu jazdy.

### **S<sub>2</sub> - stan oczekiwania obiektu technicznego na jednostkę pogotowia technicznego (PT)**

Niezdatny zadaniowo obiekt techniczny znajdujący się w otoczeniu systemu eksploatacji (w sensie terytorialnym) oczekuje na przybycie jednostki PT lub wraz z operatorem przemieszcza się do miejsca postoju jednostki PT.

### **S<sub>3</sub> - stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w otoczeniu systemu eksploatacji**

Niezdatny zadaniowo obiekt techniczny znajdujący się w otoczeniu systemu eksploatacji podlega działaniom, zmierzającym do przywrócenia mu stanu zdatości zadaniowej.

W badanym systemie eksploatacji, działaniami zmierzającymi do przywrócenia stanu zdatości zadaniowej obiektowi technicznemu znajdującemu się w otoczeniu systemu eksploatacji głównie są:

- wykonywanie odnowy przez jednostki PT,
- holowanie pojazdu przez jednostki PT do stacji diagnostycznej lub stacji obsługi (należących do systemu eksploatacji),
- zjazd awaryjny pojazdu do stacji diagnostycznej lub stacji obsługi.

### **S<sub>4</sub> - stan oczekiwania obiektu technicznego na odnowę realizowaną w systemie eksploatacji**

Stan oczekiwania na odnowę realizowaną w systemie eksploatacji jest to stan, w którym niezdatny zadaniowo obiekt techniczny znajdujący się w systemie eksploatacji (w sensie terytorialnym) po zgłoszeniu do odnowy oczekuje na rozpoczęcie realizacji procesu odnowy.

### **S<sub>5</sub> - stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w systemie eksploatacji**

Obiekt techniczny znajdujący się w systemie eksploatacji podlega odnowie

**S<sub>6</sub> - stan oczekiwania obiektu technicznego na diagnozowanie przednaprawcze**

Obiekt techniczny znajdujący się w systemie eksploatacji po zgłoszeniu do diagnozowania oczekuje na rozpoczęcie realizacji procesu diagnozowania.

**S<sub>7</sub> - stan diagnozowania przednaprawczego obiektu technicznego**

Stan diagnozowania przednaprawczego obiektu technicznego jest to stan, w którym uszkodzony obiekt techniczny znajdujący się w systemie eksploatacji podlega procesowi diagnozy.

**S<sub>8</sub> - stan oczekiwania obiektu technicznego na diagnozowanie ponaprawcze**

Obiekt techniczny znajdujący się w systemie eksploatacji, po zgłoszeniu do diagnozowania, oczekuje na rozpoczęcie realizacji procesu diagnozowania kontrolnego.

**S<sub>9</sub> - stan diagnozowania ponaprawczego obiektu technicznego**

Obiekt techniczny podlega procesowi diagnozy kontrolnej.

Do diagnozowania kontrolnego obiektu technicznego znajdującego się w systemie eksploatacji należy:

- tzw. diagnozowanie ponaprawcze (jako kontrola poprawności realizacji procesu odnowy),
- tzw. diagnozowanie uprzedzające, zmierzające do zapobieżenia występowania uszkodzeń w trakcie realizacji zadania przewozowego (wynikające z realizowanej strategii eksploatacji).

**S<sub>10</sub> - stan „uszkodzenie” obiektu technicznego**

Obiekt techniczny, bezpośrednio po stwierdzeniu niezdatności zadaniowej tego obiektu, oczekuje na podjęcie, przez sterującego procesem eksploatacji, decyzji o sekwencji działań zmierzających do przywrócenia obiektowi stanu zdatności.

**S<sub>11</sub> - stan obsługi codziennej obiektu technicznego**

Jest to stan, w którym realizowane są działania związane z, tzw. obsługą codzienną obiektu technicznego, wynikającą ze stosowanej strategii eksploatacji.

W badanym systemie eksploatacji obsługa codzienna obiektu technicznego wykonywana jest w systemie eksploatacji (w sensie terytorialnym), bezpośrednio po zakończeniu realizacji dziennego zadania przewozowego.

**S<sub>12</sub> - stan oczekiwania obiektu technicznego na podjęcie realizacji zadania przewozowego**

Bezpośrednio po przywróceniu obiektowi technicznemu stanu zdatności zadaniowej lub po zmianie stanu otoczenia systemu eksploatacji na stan zdatności (przy jednoczesnym stanie zdatności zadaniowej obiektu technicznego) obiekt techniczny nie wykonuje zaplanowanego zadania przewozowego ze względu na sposób organizacji zadań przewozowych.

W badanym systemie eksploatacji sposób organizacji zadań przewozowych określony jest istniejącym rozkładem jazdy.

**S<sub>13</sub> - stan oczekiwania obiektu technicznego ze względu na niezdatność otoczenia**

Zdatny zadaniowo obiekt techniczny nie realizuje zaplanowanego zadania przewozowego w wyniku zajścia w otoczeniu systemu eksploatacji zdarzenia uniemożliwiającego realizację tego zadania (niezdatność otoczenia systemu eksploatacji).

**S<sub>14</sub> - stan postoju organizacyjnego obiektu technicznego**

Obiekt techniczny nie znajduje się w żadnym z wcześniej wyróżnionych stanów (dla rzeczywistego systemu eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej stan ten wynika z charakteru podjętych zadań przewozowych, organizacji podsystemu utrzymania ruchu, realizowanej strategii eksploatacji itp.).

W badanym systemie eksploatacji jako czas przebywania w stanie postoju organizacyjnego obiektu technicznego przyjmuje się:

- czas parkowania zdatnego pojazdu wynikający ze specyfiki zadań przewozowych (przyjętego rozkładu jazdy),
- czas oczekiwania niezdatnego pojazdu (na terenie zajezdni) na odnowę ze względu na brak części wymiennych.

**3.2. Podstany stanów głównych**

W stanach:

- stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w systemie eksploatacji,
- stan diagnozowania przednaprawczego obiektu technicznego,
- stan diagnozowania ponaprawczego obiektu technicznego,
- stan „uszkodzenie” obiektu technicznego,

wyróżniono u ( $u \in N$ ) „podstanów” związanych z odnową, diagnozowaniem i uszkodzeniem wyodrębnionych podsystemów autobusu.

W celu ujednoczenia oznaczeń stanów oraz wykorzystania teorii procesów semi-Markowa do matematycznego modelowania procesu eksploatacji, każdy ze stanów głównych zdekomponowano na u „podstanów”. Wprowadzono następujące oznaczenia:

$S_{rs}$  – „podstan” s stanu głównego r,

gdzie:

- r – indeks stanu głównego,  $r = 1, 2, \dots, g$ ,  $g = 14$ ,
- s – indeks „podstanu” – oznacza kod wyróżnionego podsystemu obiektu technicznego,
- $s = 1, 2, \dots, u$ ,
- u – liczba wyróżnionych podsystemów obiektu technicznego,

np.:

dla  $r = 5$ ,  $s = 2$ , interpretacja „podstanu”  $S_{rs}$  jest następująca:

$S_{5,2}$  – stan odnowy obiektu technicznego, naprawianym podsystemem obiektu jest podsystem oznaczony kodem 2,

dla  $r = 1$ ,  $s = 2$ ,

$S_{1,2}$  – stan czynnego użytkowania obiektu technicznego, ostatnio naprawianym podsystemem obiektu był podsystem oznaczony kodem 2,

W zbiorze stanów głównych można wyróżnić podzbiór stanów charakteryzujących się tym, że wejście do nich nie może spowodować zmiany „podstanu”, tzn. jeżeli w chwili  $t$  obiekt znajduje się w stanie  $S_{i_s}$ , to kolejnym stanem obiektu będzie stan  $S_{j_s}$  ( $i \neq j$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, g$ ).

Przedstawiony powyżej model procesu eksploatacji, w którym wyróżniono  $g$  stanów głównych i  $u$  „podstanów” jest równoważny modelowi o  $k = g \cdot u$  stanach, w którym stanowi  $S_{r,s}$  odpowiada stan  $S_m$ :

$$S_{r,s} \rightarrow S_m,$$

gdzie:

$$m = (r-1) \cdot u + s,$$

wówczas zbiór  $S$  wyróżnionych stanów ma postać:

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}.$$

#### 4. ISTOTA METODY

Sterowanie procesem eksploatacji w systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej jest racjonalne, gdy podejmowane decyzje, dotyczące sterowania tym procesem umożliwiają osiągnięcie założonych celów, zgodnie z przyjętymi kryteriami oceny. Takimi kryteriami mogą być:

- nakłady ponoszone na działanie systemu,
- zysk wypracowany w systemie w analizowanym przedziale czasu,
- wydajność przewozowa,
- inne.

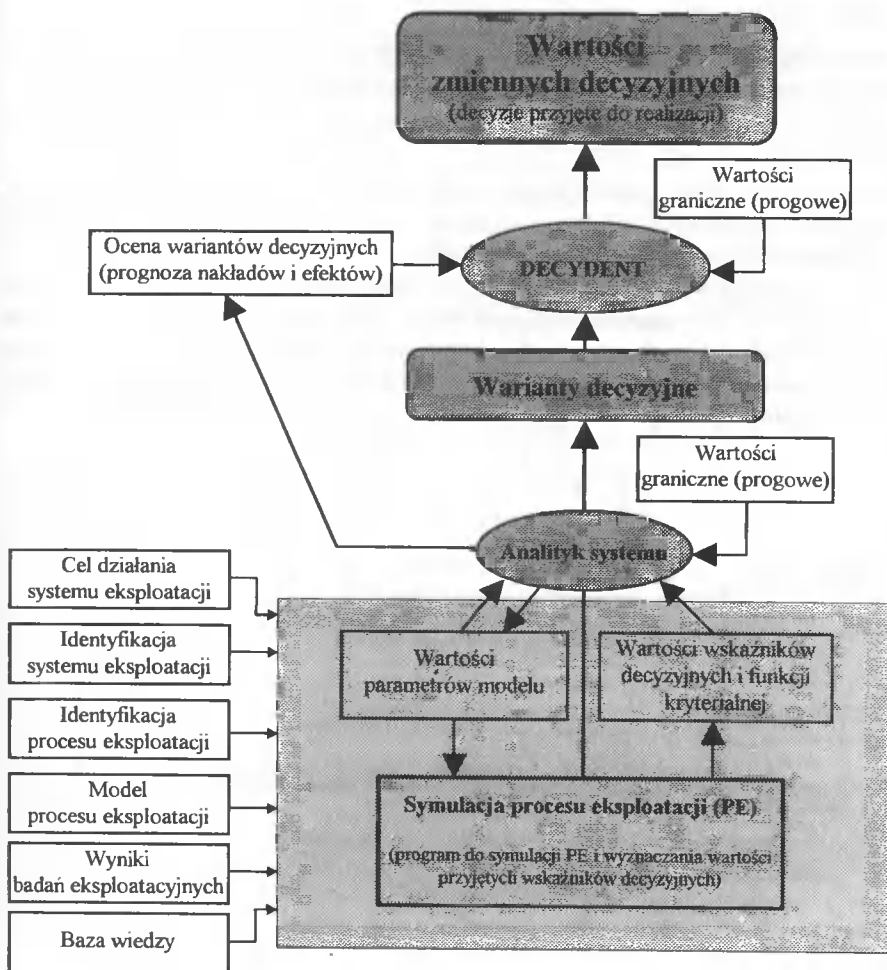
Istotny wpływ na racjonalność sterowania takimi systemami ma aktualność i wiarygodność uzyskiwanych informacji eksploatacyjnych oraz trafność prognoz, dotyczących zachowania się systemu i przebiegu procesu eksploatacji przy zmianach wymuszeń sterujących.

Ze względu na duży stopień złożoności rozpatrywanego systemu decyzyjnego utrudnione jest zastosowanie klasycznych modeli decyzyjnych (opisanych m.in. w pracach [1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 14]). Z tego względu ogranicza się ono do opisu szczegółowych problemów decyzyjnych, dla których możliwe jest sformalizowanie zagadnienia optymalizacji. Kompleksowe ujęcie procesu eksploatacji uwzględniające: złożone warunki w jakich jest on realizowany, współzależność, losowość, licznosc i różnorodność czynników wpływających na jego przebieg oraz jednoczesne oddziaływanie wielu czynników zakłócających (przypadkowych i niekontrolowanych) praktycznie uniemożliwia budowę i stosowanie matematycznych modeli decyzyjnych.

Znaczne uproszczenie modeli procesu eksploatacji, a tym samym modeli decyzyjnych, polegające na uwzględnianiu tylko zmiennych istotnych i najważniejszych zależności między nimi pozwala - z punktu widzenia celu optymalizacji - na matematyczne sformułowanie zagadnienia optymalizacji i wyznaczenie (np. przy wykorzystaniu metod programowania liniowego, nieliniowego, dynamicznego, marginalnego czy probabilistycznego) quasi optymalnych wartości wyróżnionych istotnych zmiennych decyzyjnych (wybór optymalnej decyzji) tylko dla pewnej klasy problemów decyzyjnych.



Ze względu na różnorodność i zakres decyzji - podejmowanych w rzeczywistych systemach eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej - dotyczących realizowanego procesu eksploatacji opracowano metodę pośredniego wyznaczania wartości zmiennych decyzyjnych. Polega ona na komputerowej symulacji przebiegu procesu eksploatacji na podstawie zbudowanego modelu tego procesu, analizie wartości wyznaczonych w procesie identyfikacji parametrów modelu oraz wyznaczonych wartości funkcji kryterialnej i wartości wskaźników decyzyjnych (rys. 2). Analiza modelu procesu eksploatacji i uzyskanych wyników badań symulacyjnych umożliwia wyznaczenie racjonalnej strategii eksploatacji obiektów technicznych, a w tym częstości oraz zakresu obsługi profilaktycznych i kontroli ich stanu, a więc wyznaczenie wartości zmiennych decyzyjnych. Przez strategię eksploatacji należy rozumieć uporządkowany zbiór reguł, metod postępowania i ciągów działań oraz środków do ich realizacji, dotyczący obiektów technicznych będących w fazie eksploatacji, decydujących o efektywności funkcjonowania obiektów technicznych oraz efektywności działania systemu eksploatacji jako całości [19].



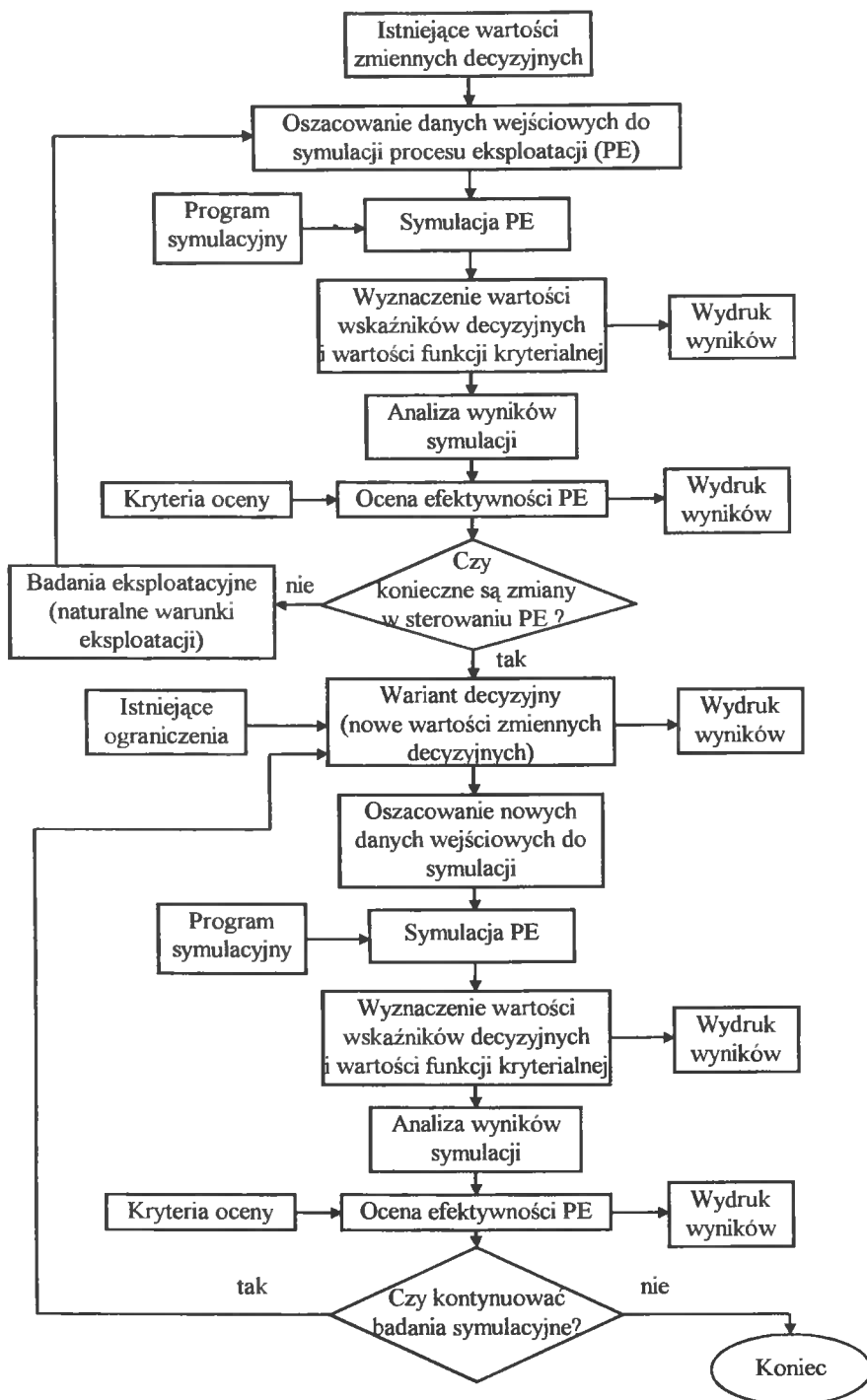
Rys. 2. Schemat ideowy metody wyznaczania wartości zmiennych decyzyjnych

Prognozowanie wpływu analizowanych, różnorodnych wariantów decyzyjnych na przebieg i efektywność procesu eksploatacji polega na symulacji n-przebiegów procesu eksploatacji dla oszacowanych wartości parametrów modelu i wyznaczeniu każdorazowo wartości funkcji celu oraz wybranych miar efektywności technicznej procesu eksploatacji.

Analiza wyników badań symulacyjnych dotyczących realizacji procesu eksploatacji w systemach eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej umożliwia podejmowanie decyzji dotyczących, m.in.:

- liczby autobusów niezbędnych do zapewnienia prawidłowej realizacji zadań przewozowych,
- zakończenia użytkowania autobusów w systemie (sprzedaż, likwidacja),
- zakupu nowych autobusów,
- zakresu realizowanych obsług codziennych,
- nakładów na realizację obsług codziennych,
- liczby jednostek pogotowia technicznego,
- zakresu napraw realizowanych przez jednostki pogotowia technicznego,
- zakresu wyposażenia jednostek pogotowia technicznego w sprzęt specjalistyczny,
- wyboru rodzaju podsystemów autobusu przeznaczonych do diagnozowania ponaprawczego,
- modernizacji systemu, poprzez odpowiedni dobór liczby stanowisk diagnostycznych, stanowisk naprawczych, ich wyposażenia w sprzęt specjalistyczny, likwidacji zbędnych stanowisk, zmiany struktury systemu itd.

Na rysunku 3 przedstawiono algorytm wyznaczania wartości wybranych wskaźników decyzyjnych, na podstawie wyników badań eksploatacyjnych z zastosowaniem programu symulacyjnego. Realizacja algorytmu umożliwia ocenę efektywności działania badanego systemu oraz wyznaczenie wartości zmiennych decyzyjnych do sterowania procesem eksploatacji.



Rys. 3. Algorytm wyznaczania wartości wskaźników decyzyjnych

## 5. WNIOSKI

1. Przedstawiona metoda pośredniego wyznaczania wartości zmiennych decyzyjnych może być stosowana do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji realizowanym w systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej i ze względu na jej stopień ogólności – wynikający z systemowego ujęcia modelowania – może być zaimplementowana w innych systemach eksploatacji.
2. Implementacja metody wraz z programem komputerowym do symulacji realizacji przebiegu procesu eksploatacji oraz wyznaczania wybranych wskaźników decyzyjnych w rzeczywistym systemie eksploatacji może stanowić narzędzie do wspomagania procesu podejmowania decyzji sterujących procesem eksploatacji i systemem, w którym jest on realizowany.

## LITERATURA

- [1] Benjamin J. R., Cornell C., A.: Rachunek prawdopodobieństwa statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa 1977.
- [2] DeGroot M. H.: Optymalne decyzje statystyczne. PWN, Warszawa 1981.
- [3] Drury C.: Rachunek kosztów. PWN, Warszawa 1998.
- [4] Fishman G.S.: Symulacja komputerowa pojęcia i metody. PWE, Warszawa 1981.
- [5] Grzegórski J.: Model oceny procesu eksploatacji systemu transportowego na przykładzie Zakładów Komunikacji Miejskiej. ATR, Bydgoszcz 1997.
- [6] Jewell W.S.: Markov-Renewal Programming I, II Operations Research 11, Nr 6, 1963.
- [7] Jędrzejowicz P.: Wybrane modele decyzyjne w produkcji i eksploatacji. WKiŁ, Warszawa 1981.
- [8] Kryński H., Badach A.: Zastosowania matematyki do podejmowania decyzji ekonomicznych. PWN, Warszawa 1976.
- [9] Landowski B.: Metoda wyznaczania wartości wybranych zmiennych decyzyjnych do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji realizowanym w systemie transportowym. ATR, Bydgoszcz 1999.
- [10] Lange O.: Optymalne decyzje. PWN, Warszawa 1964.
- [11] Lindgren B. W.: Elementy teorii decyzji. WNT, Warszawa 1977.
- [12] Mothes J.: Sytuacje niepewne a podejmowanie decyzji w przemyśle. WNT, Warszawa 1972.
- [13] Praca zbiorowa pod redakcją G.J. Klira: Ogólna teoria systemów. WNT, Warszawa 1976.
- [14] Wojciechowski K.: System z niepewnością ograniczoną: model, analiza i modyfikacja: podejmowanie decyzji i reguły decyzyjne. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
- [15] Woropay M., Knopik L., Landowski B.: Analiza wyników badań modelu procesu eksploatacji maszyn. Materiały IX Konferencji Naukowej nt.: „Problemy w kon-

- strukcji i eksploatacji maszyn hutniczych i ceramicznych”, Kraków 14-15 maja 1998.
- [16] Woropay M., Landowski B., Cieszyński T.: Metoda budowy modelu wstępnego złożonego systemu technicznego (na przykładzie autobusu Ikarus 280). Zeszyty Naukowe 212, Mechanika 42, Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [17] Woropay M., Landowski B.: Analiza symulacyjna procesu eksploatacji w systemie komunikacji miejskiej. Zeszyty Naukowe 212, Mechanika 42. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [18] Woropay M., Landowski B., Grzegórski J.: Metoda diagnozowania stanu systemu eksploatacji. Diag '98, IV Krajowa Konferencja nt.: „Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów”, Szczecin-Międzydroje-Ystad, 14-18 września 1998. Wydaw. WSzM, Szczecin 1998.
- [19] Woropay M., Landowski B.: Metoda wyboru strategii eksploatacyjnej złożonych obiektów technicznych. Konferencja Diagnostyka '94 nt.: „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów”, Borówno 1994. Wyd. KONFER, Bydgoszcz 1994.
- [20] Zeigler B.P.: Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1984.

## CALCULATION METHOD OUTLINE FOR VALUES OF DECISION-MAKING VARIABLES DESCRIBING SYSTEMS OF OPERATION OF MUNICIPAL BUS-TRANSPORT

### Summary

The paper presents an outline of a method of intermediate calculation of selected variables to enhance the municipal bus-transport system control. The paper provides basic assumptions of a model of operation, which is an essential element of the method presented, and gives the condition of busses run in the real-world transport system.

*Key words:* operation, municipal bus-transport, modelling, simulation, decision-making factor, decision-making



## MODEL EKSPLOATACJI PEWNEJ KLASY OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Bogdan Landowski

Katedra Eksploatacji Maszyn  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego, 85-796 Bydgoszcz

Artykuł dotyczy problematyki związanej z modelowaniem i symulacją procesów eksploatacji obiektów technicznych realizowanych w pewnej klasie złożonych systemów eksploatacji. W artykule przedstawiono podstawowe założenia modelu procesu eksploatacji umożliwiającego symulację realizacji procesu eksploatacji i wyznaczenie wybranych charakterystyk tego procesu. Założenia do modelu procesu eksploatacji opracowano na podstawie identyfikacji rzeczywistego systemu eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej i badań eksploatacyjnych zrealizowanych w tym systemie. Na zakończenie artykułu przedstawiono przykład obliczeniowy.

*Słowa kluczowe:* proces eksploatacji, modelowanie, symulacja, proces losowy, obiekt techniczny

### 1. WPROWADZENIE

Analizowanym złożonym systemem eksploatacji jest system autobusowego transportu miejskiego. O złożoności tego systemu i realizowanego w nim procesu eksploatacji decyduje zarówno duża liczba jego podsystemów i elementów usytuowanych na różnych poziomach dekompozycji, spełniających różne funkcje, jak również dynamiczna zmiana w czasie czynności i procesów eksploatacyjnych, którym poddawane są w tym systemie obiekty techniczne. Niektóre procesy zachodzą lub realizowane są w sposób zdeterminowany, natomiast inne mają charakter losowy.

Istotny wpływ na racjonalność sterowania takimi systemami ma aktualność i wiarygodność uzyskiwanych informacji eksploatacyjnych oraz trafność prognoz, dotyczących zachowania się systemu i przebiegu procesu eksploatacji przy zmianach wymuszeń sterujących.

W związku z powyższym podjęto próbę opracowania narzędzia w postaci modelu procesu eksploatacji i komputerowego programu symulacji przebiegu tego procesu, wspomagającego decydenta w procesie podejmowanie decyzji, dotyczących sterowania procesem eksploatacji i systemem, w którym on jest realizowany.

Model procesu eksploatacji zbudowany został na podstawie analizy przestrzeni stanów eksploatacyjnych oraz zdarzeń eksploatacyjnych autobusów komunikacji miejskiej, eksploatowanych w rzeczywistym systemie transportu miejskiego.

Model procesu eksploatacji opisano w kategorii stanów i możliwych przejść między tymi stanami. Stany procesu charakteryzowane są rozkładami czasów przebywania oraz zyskami (stratami) związanymi z przebywaniem obiektów technicznych w wyróżnionych stanach.

Prognozowanie wpływu analizowanych, różnorodnych wariantów decyzyjnych na przebieg i efektywność procesu eksploatacji polega na symulacji  $n$ -przebiegów procesu eksploatacji dla oszacowanych wartości parametrów modelu i każdorazowym wyznaczeniu wartości funkcji celu oraz wybranych miar efektywności technicznej procesu eksploatacji.

Przedstawiony w dalszej części opracowania model procesu eksploatacji opracowano na podstawie badań rzeczywistego systemu autobusowego transportu miejskiego. Jednak ze względu na założony stopień ogólności opisu mogą być one wykorzystane do analizy procesu eksploatacji realizowanego w systemach innych niż miejska komunikacja autobusowa.

Ze względu na ograniczoną objętość opracowania przedstawiono tylko podstawowe założenia opracowanego modelu.

## 2. MODEL PROCESU EKSPLOATACJI

### 2.1 Zbiór stanów modelu

Modelem procesu eksploatacji jest proces stochastyczny  $X(t)$ ,  $t \in R_+$  o skończonym zbiorze stanów  $S$ .

Niech  $S_1, S_2, \dots, S_g$  ( $g \in N$ ) oznaczają wyróżnione, istotne stany eksploatacyjne, w których mogą znajdować się obiekty techniczne. Stany  $S_r$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ) nazwano stanami głównymi modelu.

Każdy z eksploatowanych obiektów technicznych może, w danej chwili czasu  $t$ ,  $t \in \langle t_0, t_k \rangle$ , znajdować się tylko w jednym z wyróżnionych stanów. Przebywanie obiektów w poszczególnych stanach generuje przychody lub/i nakłady związane z działaniem systemu.

Realizacja procesu, to sekwencja następujących po sobie wyróżnionych stanów. Kolejność następstw stanów, czasy przebywania w poszczególnych stanach oraz częstotści ich występowania zależne są przede wszystkim od indywidualnych cech poszczególnych obiektów technicznych, cech procesów jakim te obiekty podlegają oraz od cech i struktury podsystemów, współdziałających w realizacji procesu eksploatacji.

Niech  $U_1, U_2, \dots, U_u$  ( $u \in N$ ) oznaczają dające się wyróżnić i opisać zdarzenia eksploatacyjne wpływające co najmniej na jedną z poniższych cech analizowanego procesu:

- czas przebywania obiektu technicznego w stanie  $S_r$ ,  $r = 1, 2, \dots, g$ ,
- zysk (dodatni lub ujemny) związany z przebywaniem obiektu technicznego w stanie  $S_r$ ,  $r = 1, 2, \dots, g$ ,
- prawdopodobieństwa przejścia między stanami  $S_r$ ,  $r = 1, 2, \dots, g$  (sekwencję kolejnych stanów procesu).



W dalszej części rozważań przyjęto, że obiekt techniczny zdekomponowano na  $u$  ( $u \in \mathbb{N}$ ) podsystemów, a wyróżnione zdarzenia  $U_s$  ( $s = 1, 2, \dots, u$ ) oznaczają uszkodzenie podsystemu oznaczonego kodem  $s$ .

Wyróżnione stany główne  $S_r$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ) modelu procesu eksploatacji zdekomponowano na  $u$  „podstanów”, co można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} S_1 &= \{S_{1,1}, S_{1,2}, \dots, S_{1,u}\} \\ S_2 &= \{S_{2,1}, S_{2,2}, \dots, S_{2,u}\} \\ &\dots\dots\dots \\ S_g &= \{S_{g,1}, S_{g,2}, \dots, S_{g,u}\} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

- $g$  – liczba wyróżnionych stanów głównych,
- $u$  – liczba wyróżnionych „podstanów” stanu głównego odpowiadająca liczbie podsystemów, wyodrębnionych w procesie dekompozycji obiektu technicznego.

Analizowany zbiór  $S$  wyróżnionych stanów procesu można przedstawić w postaci:

$$S = \{S_{rs}; \quad r = 1, 2, \dots, g, \quad s = 1, 2, \dots, u\} \quad (2)$$

$$S = \{S_{1,1}, S_{1,2}, \dots, S_{1,u}, S_{2,1}, S_{2,2}, \dots, S_{2,u}, \dots, S_{g,1}, S_{g,2}, \dots, S_{g,u}\} \quad (3)$$

gdzie:

- $r$  – indeks stanu głównego,  $r = 1, 2, \dots, g$
- $s$  – indeks „podstanu”,  $s = 1, 2, \dots, u$

Dla stanów  $S_{rs}$ , gdzie  $r \in B$  (podzbiór stanów procesu, w których obiekt techniczny znajduje się w stanie niezdatności zadaniowej) podstan  $s$  oznacza kod uszkodzonego podsystemu obiektu technicznego, natomiast dla  $r \in A$  (podzbiór stanów procesu w których obiekt techniczny znajduje się w stanie zdatności zadaniowej) podstan  $s$  oznacza kod podsystemu obiektu technicznego, w którym było zlokalizowane ostatnio usunięte uszkodzenie, gdzie:

$$A \cap B = \emptyset \quad A \cup B = \{1, 2, \dots, g\}$$

Zastosowany sposób kodowania stanów wynika z konieczności zwiększenia czytelności opisu modelu i ułatwienia jego analizy.

Matematycznym modelem procesu eksploatacji obiektów technicznych jest proces stochastyczny  $\{X(t), t \geq 0\}$  o skończonym zbiorze stanów  $S$ . Jeżeli  $X(t) = S_{rs}$  ( $r = 1, 2, \dots, g; s = 1, 2, \dots, u$ ), wówczas rozpatrywany obiekt techniczny znajduje się w chwili  $t$  w stanie  $S_{rs}$ . W pracy przyjęto założenie, że proces  $X(t)$  jest procesem semi-Markowa.

Wykorzystując do matematycznego modelowania procesu eksploatacji procesy semi-Markowa przyjęto następujące, główne założenia:

- proces semi-Markowa dostatecznie dobrze, z punktu widzenia celu badań, odwzorowuje modelowany, rzeczywisty proces eksploatacji,
- modelowany proces eksploatacji posiada skończoną liczbę stanów,

- zmienne losowe, oznaczające czasy trwania wyróżnionych stanów procesu mają skończone i dodatnie wartości średnie oraz wariancje,
- wyróżnione stany procesu eksploatacji są stanami dodatnio powracającymi,
- proces losowy  $X(t)$ , będący matematycznym modelem procesu eksploatacji jest jednorodny.

Analizowany proces  $X(t)$  (jednorodny proces semi-Markowa) jest w pełni określony, gdy dane są [3, 5]: rozkład początkowy procesu  $P_0$ , macierz  $P$  prawdopodobieństw przejść między stanami procesu (macierz prawdopodobieństw przejść włożonego łańcucha Markowa) i dystrybuanty zmiennych losowych  $T_{rs,vw}$  ( $T_{rs,vw}$  – zmienna losowa oznaczająca czas przebywania obiektu technicznego w stanie  $S_{rs}$  pod warunkiem, że następnym stanem będzie stan  $S_{vw}$ ).

## 2.2. Rozkład początkowy $P_0$ i macierz $P$ prawdopodobieństw przejść między stanami procesu $X(t)$

Rozkład początkowy procesu  $X(t)$  ( $p_{rs} = P\{X(0) = S_{rs}\}$ ) można przedstawić w postaci wektora  $P_0$ :

$$P_0 = [p_{rs}] = [p_{1,1}, p_{1,2}, \dots, p_{1,u}, p_{2,1}, p_{2,2}, \dots, p_{2,u}, \dots, p_{g,1}, p_{g,2}, \dots, p_{g,u}] \quad (4)$$

gdzie:

$$\sum_{r=1}^g \sum_{s=1}^u p_{rs} = 1$$

Macierz  $P$  prawdopodobieństw przejść włożonego w analizowany proces  $X(t)$  łańcucha Markowa można przedstawić w postaci:

$$P = [P_{r,v}] = \begin{bmatrix} [P_{1,1}] & [P_{1,2}] & \dots & [P_{1,g}] \\ [P_{2,1}] & [P_{2,2}] & \dots & [P_{2,g}] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ [P_{g,1}] & [P_{g,2}] & \dots & [P_{g,g}] \end{bmatrix} \quad r, v = 1, 2, \dots, g \quad (5)$$

gdzie każda z podmacierzy  $P_{r,v}$  ma postać:

$$P_{r,v} = [p_{rs,vw}] = \begin{bmatrix} p_{r,1;v,1} & p_{r,1;v,2} & \dots & p_{r,1;v,u} \\ p_{r,2;v,1} & p_{r,2;v,2} & \dots & p_{r,2;v,u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{r,u;v,1} & p_{r,u;v,2} & \dots & p_{r,u;v,u} \end{bmatrix} \quad s, w = 1, 2, \dots, u \quad (6)$$

$r, v$  – indeks stanów głównych,  $r, v = 1, 2, \dots, g$

$s, w$  – indeks „podstanów” stanów głównych,  $s, w = 1, 2, \dots, u$

### 2.3. Zmienne opisujące stany modelu

Każdy z analizowanych stanów  $S_{rs}$  opisany jest za pomocą następujących zmiennych losowych:

$T_{rs,vw}$  – zmienna losowa, oznaczająca czas przebywania obiektu technicznego w stanie  $S_{rs}$  pod warunkiem, że następnym stanem będzie stan  $S_{vw}$ ,

$Z_{rs}$  – zmienna losowa, oznaczająca umownie zysk (dodatni lub ujemny) osiągany na jednostkę czasu przez system, gdy obiekt techniczny znajduje się w stanie  $S_{rs}$ .

Dla potrzeb niniejszej pracy przyjęto, że zmienne losowe  $Z_{rs}$  są charakteryzowane za pomocą tylko jednego parametru, tj.: wartości średniej  $EZ_{rs}$ . Natomiast zmienne losowe  $T_{rs,vw}$  określa typ rozkładu i wartości jego parametrów.

Wszystkie zmienne losowe  $T_{rs,vw}$  można zapisać w postaci macierzy  $T$  postaci:

$$T = [T_{rv}] = \begin{bmatrix} [T_{1,1}] & [T_{1,2}] & \dots & [T_{1,g}] \\ [T_{2,1}] & [T_{2,2}] & \dots & [T_{2,g}] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ [T_{g,1}] & [T_{g,2}] & \dots & [T_{g,g}] \end{bmatrix} \quad r, v = 1, 2, \dots, g \quad (7)$$

gdzie każda z podmacierzy  $T_{rv}$  ma postać:

$$T_{rv} = [T_{rs,vw}] = \begin{bmatrix} T_{r,1;v,1} & T_{r,1;v,2} & \dots & T_{r,1;v,u} \\ T_{r,2;v,1} & T_{r,2;v,2} & \dots & T_{r,2;v,u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{r,u;v,1} & T_{r,u;v,2} & \dots & T_{r,u;v,u} \end{bmatrix} \quad s, w = 1, 2, \dots, u \quad (8)$$

Wszystkie wartości średnie  $z_{rs} = EZ_{rs}$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ,  $s = 1, 2, \dots, u$ ) zmiennej losowej  $Z_{rs}$  można zapisać w postaci macierzy  $Z$ :

$$Z = [z_{r,s}] = \begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \dots & z_{1,s} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \dots & z_{2,s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{g,1} & z_{g,2} & \dots & z_{g,s} \end{bmatrix} \quad r = 1, 2, \dots, g, s = 1, 2, \dots, u. \quad (9)$$

### 2.4. Algorytm symulacji

Ze względu na znaczną trudność wyznaczenia wartości analizowanych wskaźników decyzyjnych oraz brak możliwości wyznaczenia ich cech probabilistycznych w sposób analityczny wykorzystano metodę symulacji komputerowej.

Symulacja przebiegu procesu eksploatacji, którego matematycznym modelem jest proces semi-Markowa  $X(t)$  sprowadza się do symulacji realizacji tego procesu.

Dla zbudowanego modelu procesu eksploatacji podstawowymi danymi do symulacji przebiegu procesu eksploatacji i wyznaczenia wartości wskaźników decyzyjnych są:

- rozkład początkowy  $P_0$  (4) procesu  $X(t)$ ,
- macierz  $P$  (5) prawdopodobieństw przejść między stanami procesu  $X(t)$ ,

- c) rodzaje i parametry rozkładów zmiennych losowych  $T_{rs,vw}$ , określających czasy trwania stanów  $S_{rs}$  procesu,  
 d) macierz  $Z$  (9) zysków jednostkowych.

W celu uproszczenia opisu algorytmu symulacji wprowadzono następujące oznaczenia:

$G = \{1, 2, \dots, g\}$  – zbiór indeksów stanów głównych,

$U = \{1, 2, \dots, u\}$  – zbiór indeksów podstanów stanów głównych.

Uproszczony algorytm symulacji przebiegu procesu eksploatacji dla  $L$  obiektów technicznych można przedstawić następująco:

(1)

Stan zegara symulacyjnego ustala się na  $t := 0$ .

Numer iteracji ustala się na  $g := 0$ .

Zeruje się tablice  $V$  i  $C$ , które zdefiniowano następująco:

$V = V[i,r,s]$ ,  $i = 1, 2, \dots, L$ ,  $r \in G$ ,  $s \in U$  – tablica, której element  $V[i,r,s]$  oznacza liczbę wejść (w przedziale czasu  $\langle 0, t \rangle$ ) obiektu technicznego oznaczonego kodem  $i$  do stanu  $S_{rs}$ ,

$C = C[i,r,s,j]$ ,  $i = 1, 2, \dots, L$ ,  $r \in G$ ,  $s \in U$ ,  $j = 1, 2, \dots, V[i,r,s]$  – tablica, której element  $C[i,r,s,j]$  oznacza czas przebywania  $i$ -tego obiektu technicznego w stanie  $S_{rs}$  po  $j$ -tym wejściu do tego stanu.

(2)

Dla chwili  $t = 0$  generuje się zgodnie z rozkładem początkowym  $P_0$ , dla każdego obiektu stan początkowy  $S_{irs}^{(0)}$ .

Na podstawie wygenerowanych stanów początkowych modyfikuje się tablicę  $V$ :

$$V[i,r,s] := V[i,r,s] + 1.$$

Dla każdego obiektu technicznego generuje się zgodnie z macierzą  $P$  przejść pomiędzy stanami kolejny stan procesu  $S_{irs}^{(g+1)}$ .

(3)

Dla uzyskanych stanów początkowych generuje się – na podstawie danych o rozkładach zmiennych losowych  $T_{rs,vw}$  – czasy przebywania poszczególnych obiektów w stanach początkowych  $S_{irs}^{(0)}$ .

Wygenerowane czasy zapisuje się na odpowiednich pozycjach w tablicy  $C[i,r,s,j]$ .

Czasy te można przedstawić następująco:

$$\{t_1^{(0)}, t_2^{(0)}, \dots, t_L^{(0)}\}$$

(4)

Wyznacza się minimum zbioru:

$$\{t_1^{(g)}, t_2^{(g)}, \dots, t_L^{(g)}\}$$

Wartość tą oznaczono  $\min(g)$ .

Modyfikacja zegara symulacyjnego:  $t := t + \min(g)$ .

(5)

Jeśli  $t \geq t_E$  (zadany czas symulacji), to idź do punktu (10), w przeciwnym przypadku idź do (6).

(6)

Przez  $Q_g$  oznaczono zbiór indeksów  $\{q_1^{(g)}, q_2^{(g)}, \dots, q_n^{(g)}\}$ , dla których realizowane jest  $\min(g)$ , tj.:

$$Q_g = \{q; \min(g) = t_q^{(g)}, q \in \{1, 2, \dots, L\}\}$$

$$Q_g = \{q_1^{(g)}, q_2^{(g)}, \dots, q_n^{(g)}\} \subset \{1, 2, \dots, L\}.$$

(7)

Wyznacza się czasy resztowe:

$$t_i^{(g+1)} := t_i^{(g)} - \min(g) \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, L$$

Modyfikacja numeru iteracji  $g := g + 1$ .

(8)

Dla obiektów o indeksach  $i \in Q_g$  generuje się, zgodnie z odpowiednimi rozkładami prawdopodobieństwa z macierzy przejść  $P$ , nowe stany  $S_{irs}^{(g+1)}$  (dla  $i \notin Q_g$   $S_{irs}^{(g+1)} := S_{irs}^{(g)}$ ).

Modyfikuje się odpowiednie elementy tablicy  $V$  (dla  $i \in Q_g$ ,  $r, s$  – odpowiednio kod stanu głównego i „podstanu”  $i$ -tego obiektu dla iteracji o numerze  $g$ ):

$$V[i, r, s] := V[i, r, s] + 1 \quad \text{dla } i \in Q_g, S_{irs}^{(g)}$$

Dla obiektów o indeksach  $i \in Q_g$  generuje się czasy przebywania w poprzednio wygenerowanych stanach  $S_{irs}^{(g)}$ .

Czasy te oznaczono, przez  $t_i^{(g)}$ ,  $i \in Q_g$ .

Dla obiektów o indeksach  $i \in Q_g$  wygenerowane czasy przebywania w stanach  $S_{irs}^{(g)}$  zapisuje się na odpowiednich pozycjach w tablicy  $C[i, r, s, j]$ .

(9)

Idź do punktu (4)

(10)

Wyznaczenie wartości wskaźników decyzyjnych.

Wyznaczenie wybranych statystyk dla analizowanych wskaźników decyzyjnych.

### 3. WSKAŹNIKI DECYZYJNE

W każdym z wyróżnionych stanów procesu eksploatacji, w różnym stopniu realizowane są cele systemu eksploatacji przez jego poszczególne podsystemy. W związku

z tym niezbędna jest analiza informacji dotyczących przebiegu wyróżnionych podprocesów procesu eksploatacji.

Informacje o przebiegu procesu eksploatacji realizowanego w obiekcie badań oraz o jego efektywności technicznej i ekonomicznej przedstawiono w postaci zbioru wskaźników decyzyjnych.

Przykładowe wskaźniki decyzyjne (dla systemu autobusowego transportu miejskiego) to [6]:

1. Sumaryczna liczba wejść procesu do wyróżnionych stanów.
2. Sumaryczny czas przebywania obiektów technicznych w wyróżnionych stanach procesu eksploatacji.
3. Sumaryczny zysk (nakład), związany z przebywaniem obiektów technicznych w wyróżnionych stanach procesu eksploatacji.
4. Sumaryczny zysk (strata), osiągnięty przez system w wyniku realizacji zadań przewozowych przez obiekty techniczne.
5. Wartość średnia zysku (straty) osiągniętego przez system na jednostkę czasu w wyniku eksploatacji jednego obiektu technicznego.
6. Sumaryczny zysk (strata) osiągnięty przez system, w wyniku realizacji zadań przewozowych przez jeden obiekt techniczny.
7. Wartość średnia i odchylenie standardowe ciągu losowego, wyrażającego sumaryczny czas przebywania obiektów technicznych w wyróżnionych stanach procesu eksploatacji.
8. Wartość średnia i odchylenie standardowe ciągu losowego, wyrażającego sumaryczny zysk (stratę) dla poszczególnych obiektów technicznych w wyróżnionych stanach procesu eksploatacji.
9. Wartość średnia i odchylenie standardowe zmiennej losowej  $MT_r$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ) oznaczającej czas między tymi samymi stanami głównymi  $S_r$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ) procesu. Interpretacja zmiennej losowej  $MT_r$ , np. dla  $r = 10$ , jest następująca:  
 $MT_{10}$  – czas między uszkodzeniami obiektu technicznego.
10. Wartość średnia i odchylenie standardowe zmiennej losowej  $MT_{rs}$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ,  $s = 1, 2, \dots, u$ ) oznaczającej czas między „podstanami”  $S_{rs}$  ( $r = 1, 2, \dots, g$ ,  $s = 1, 2, \dots, u$ ) stanu głównego  $S_r$  procesu. W tym podzbiore wskaźników, największe znaczenie – uwzględniając sterowanie procesem eksploatacji - mają wartości wskaźników wyznaczone dla stanów  $S_{rs}$ , gdzie  $r \in \{3, 5, 7, 9, 10\}$ ,  $s \in U$ . Interpretacja zmiennej losowej  $MT_{r,s}$ , np. dla  $r = 10$ ,  $s = 5$ , jest następująca:  
 $MT_{10,5}$  – czas między uszkodzeniami podsystemu oznaczonego kodem 5 obiektu technicznego.
11. Wartość średnia i odchylenie standardowe zmiennej losowej  $JT_r$  ( $r \in G$ ,  $r \neq 1$ ) oznaczającej sumaryczny czas przebywania procesu w stanie głównym  $S_1$  (stan czynnego użytkowania) między wejściami do stanów głównych  $S_r$  ( $r \in G$ ,  $r \neq 1$ ). Interpretacja zmiennej losowej  $JT_{10}$  jest następująca:  
 $JT_{10}$  – czas przebywania w stanie czynnego użytkowania między uszkodzeniami obiektu technicznego.
12. Wartość średnia i odchylenie standardowe zmiennej losowej  $JT_{rs}$  ( $r \in G$ ,  $r \neq 1$ ,  $s \in U$ ) oznaczającej sumaryczny czas przebywania procesu w stanie głównym  $S_1$  (stan czynnego użytkowania) między wejściami do „podstanów”  $S_{rs}$  ( $r \in G$ ,  $r \neq 1$ ,  $s \in U$ ). Największe znaczenie, z punktu widzenia sterowania procesem eksploatacji, w tym podzbiore wskaźników, mają wartości wskaźników wyznaczone dla stanów

$S_{rs}$ , gdzie  $r \in \{3, 5, 7, 9, 10\}$ ,  $s \in U$ . Interpretacja zmiennej losowej  $JT_{10,5}$  jest następująca:

$JT_{10,5}$  – czas między uszkodzeniami podsystemu oznaczonego kodem 5 obiektu technicznego.

#### 4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

W wyniku identyfikacji systemu autobusowego transportu miejskiego i realizowanego w nim procesu eksploatacji, w oparciu o kryterium istotności stanów (kryterium zysku) wyróżniono następujące stany eksploatacyjne autobusu [6]:

$S_1$  – stan czynnego użytkowania obiektu technicznego (realizacja zadania przewozowego),

$S_2$  – stan oczekiwania obiektu technicznego na jednostkę pogotowia technicznego,

$S_3$  – stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w otoczeniu systemu eksploatacji,

$S_4$  – stan oczekiwania obiektu technicznego na odnowę realizowaną w systemie eksploatacji,

$S_5$  – stan odnowy obiektu technicznego realizowanej w systemie eksploatacji,

$S_6$  – stan oczekiwania obiektu technicznego na diagnozowanie przednaprawcze,

$S_7$  – stan diagnozowania przednaprawczego obiektu technicznego,

$S_8$  – stan oczekiwania obiektu technicznego na diagnozowanie ponaprawcze,

$S_9$  – stan diagnozowania ponaprawczego obiektu technicznego,

$S_{10}$  – stan uszkodzenia obiektu technicznego,

$S_{11}$  – stan obsługi codziennej obiektu technicznego,

$S_{12}$  – stan oczekiwania obiektu technicznego na podjęcie realizacji zadania przewozowego,

$S_{13}$  – stan oczekiwania obiektu technicznego ze względu na niezdatność otoczenia,

$S_{14}$  – stan postoju organizacyjnego obiektu technicznego.

Eksperymenty symulacyjne polegały na realizacji przebiegów procesu eksploatacji, za pomocą komputerowego programu symulacyjnego, dla różnych wartości wielkości wejściowych. Wyznaczanymi w trakcie symulacji wielkościami wyjściowymi były wybrane wskaźniki decyzyjne.

Jako przykład przedstawiono symulację wymiany autobusów „wyeksploatowanych” na nowe objekty.

Eksperymenty symulacyjne wykonano przy następujących założeniach (w celu uproszczenia prezentowanego przykładu):

– czasy przebywania w stanach procesu nie zależą od kolejnego stanu procesu,

– rozkłady czasów przebywania obiektów technicznych w poszczególnych stanach procesu mają rozkład gamma (do weryfikacji hipotezy o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem gamma wykorzystano test zgodności  $\chi^2$  oraz  $\lambda$  Kołmogorowa).

Czas symulacji  $t_E$ , we wszystkich eksperymentach wynosił,  $t_E = 1920$  godzin. Przedstawione w dalszej części opracowania wyniki symulacji dotyczą przedziału czasu  $\langle 0, t_E \rangle$ .

W celu realizacji eksperymentów symulacyjnych dokonano estymacji wartości parametrów wejściowych modelu, tj.: rozkładu początkowego procesu, macierzy prawdopodobieństw przejść między stanami procesu, parametrów charakteryzujących czasy

przebywania obiektów technicznych w poszczególnych stanach procesu (wartości średnie i odchylenia standardowe) i zysków jednostkowych, związanych z przebywaniem obiektów technicznych w stanach procesu. Estymacji ww. wielkości dokonano na podstawie wyników zrealizowanych badań eksploatacyjnych w rzeczywistym systemie autobusowej komunikacji miejskiej dla następujących trzech kategorii obiektów technicznych:

- a) kategoria 1: autobusy Ikarus 280B/70B, których okres eksploatacji wynosi od 2 do 4 lat,  
 b) kategoria 2: autobusy Ikarus 260, których okres eksploatacji wynosi od 8 do 10 lat.

W celu symulacji wymiany autobusów wyeksploatowanych (kategoria 2) na nowe obiekty (kategoria 1) zrealizowano przebiegi symulacyjne procesu eksploatacji 100 autobusów, zmieniając liczby autobusów należących do analizowanych kategorii. Liczności analizowanych kategorii autobusów, w kolejnych przebiegach symulacji przedstawiono w tablicy 1. Wybrane wyniki eksperymentu zestawiono w tablicach od 2 do 5 oraz zilustrowano na rysunkach od 1 do 3. Wymiana autobusów wyeksploatowanych na nowe obiekty prowadzi do pozytywnej zmiany wartości wskaźników decyzyjnych. Należy zaznaczyć, że przy wyznaczaniu wartości wskaźników decyzyjnych (ekonomicznych) nie uwzględniono kosztów związanych z wymianą autobusów.

Tablica 1. Liczba obiektów w analizowanych kategoriach w kolejnych przebiegach symulacyjnych

Kod symulacji	Liczba obiektów		
	Kategoria 1	Kategoria 2	Suma
Sym_1	50	50	100
Sym_2	60	40	100
Sym_3	70	30	100
Sym_4	80	20	100
Sym_5	90	10	100
Kat. 1: autobusy Ikarus 280/70B, których okres eksploatacji wynosi od 2 do 4 lat			
Kat. 2: autobusy Ikarus 260, których okres eksploatacji wynosi 8 do 10 lat			

Tablica 2. Zyski wypracowane przez system

Kod symulacji				
Sym_1	Sym_2	Sym_3	Sym_4	Sym_5
Całkowity zysk wypracowany przez system				
788 179,10	1 034 510,70	1 250 101,70	1 450 146,90	1 716 697,00
Zysk wypracowany przez system w jednostce czasu				
4,09	5,37	6,49	7,53	8,91
Sumaryczny zysk przypadający na statystyczny obiekt techniczny				
7 881,79	10 345,11	12 501,02	14 501,47	17 166,97



Tablica 3. Sumaryczny czas przebywania obiektów technicznych w stanach głównych procesu [h]

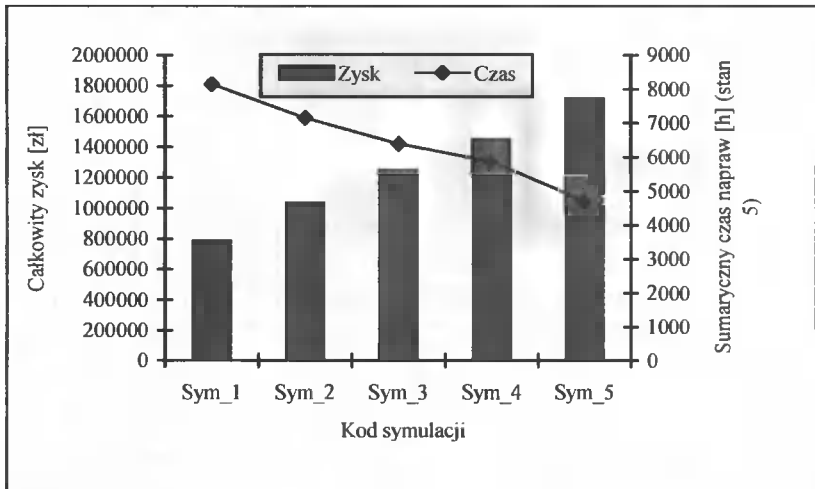
Kod stanu	Kod symulacji				
	Sym_1	Sym_2	Sym_3	Sym_4	Sym_5
1	120 541,57	122 276,41	123 835,25	126 104,22	127 979,32
2	563,28	491,94	455,06	377,86	328,69
3	1 152,13	1 057,80	1 013,24	906,64	899,21
4	5 710,26	5 017,65	4 124,53	3 345,20	2 466,86
5	8 144,22	7 148,50	6 398,30	5 874,26	4 711,01
6	101,49	86,40	80,66	71,70	64,68
7	247,00	215,97	182,04	164,70	136,26
8	8,43	7,27	4,28	5,34	4,04
9	139,27	119,45	110,62	92,41	88,01
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	681,89	697,59	703,24	705,85	719,30
12	670,27	661,54	646,32	694,57	688,41
13	44,09	41,62	26,26	37,85	23,77
14	54 726,05	54 741,52	55 041,83	54 287,42	54 511,59

Tablica 4. Sumaryczny zysk (nakład) związany z przebywaniem obiektów technicznych w stanach głównych procesu [zł]

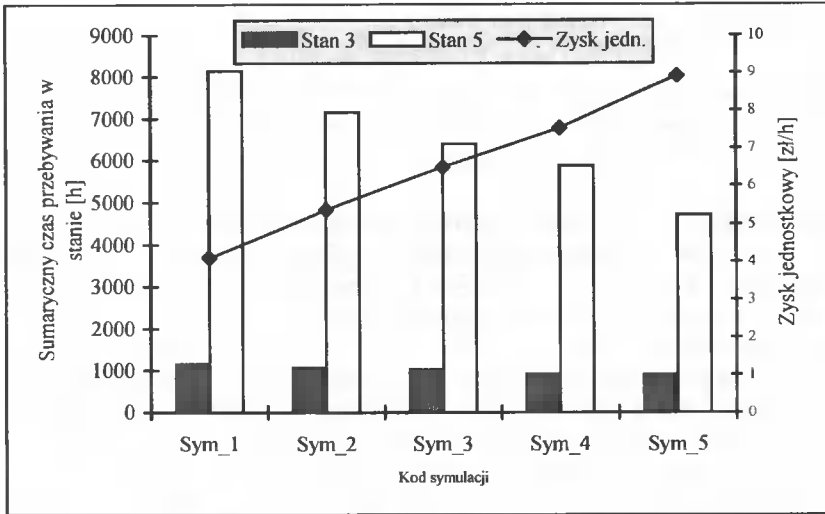
Kod stanu	Kod symulacji				
	Sym_1	Sym_2	Sym_3	Sym_4	Sym_5
1	2 226 281,60	2 373 087,80	2 518 596,70	2 676 422,30	2 830 719,20
2	-2 498,80	-2 230,00	-2 137,60	-1 860,00	-1 766,50
3	-82 040,40	-74 288,50	-69 991,10	-61 368,00	-59 079,60
4	-24 533,40	-21 926,10	-18 731,40	-15 772,20	-12 568,50
5	-933 165,50	-834 159,60	-761 680,30	-725 269,00	-607 660,70
6	-453,00	-397,10	-380,00	-354,60	-342,80
7	-21 012,90	-18 821,40	-16 296,40	-15 530,20	-13 787,80
8	-38,10	-34,80	-20,50	-26,10	-21,50
9	-11 031,60	-9 660,50	-9 185,80	-8 198,50	-8 115,20
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	-91 989,80	-95 241,90	-97 164,40	-98 625,20	-101 516,60
12	-3 294,20	-3 366,50	-3 389,30	-3 774,60	-3 867,80
13	-214,10	-190,60	-137,10	-202,90	-137,40
14	-267 830,70	-278 260,10	-289 381,10	-295 294,10	-305 157,80

Tablica 5. Sumaryczna liczba wejść do stanów głównych procesu

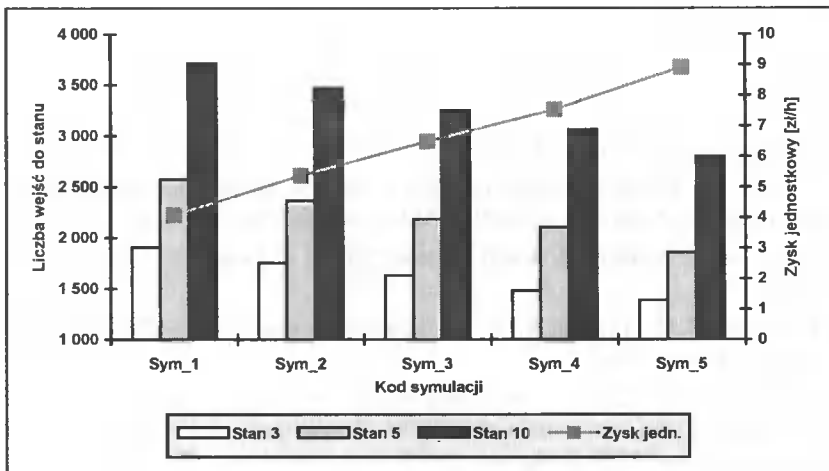
Kod stanu	Kod symulacji				
	Sym_1	Sym_2	Sym_3	Sym_4	Sym_5
1	10 482	10 422	10 262	10 112	9 957
2	1 829	1 683	1 587	1 445	1 367
3	1 908	1 755	1 633	1 481	1 387
4	1 686	1 526	1 385	1 225	1 014
5	2 572	2 366	2 185	2 103	1 857
6	939	822	741	672	598
7	1 073	970	827	735	622
8	81	84	49	57	51
9	762	672	598	550	495
10	3 711	3 468	3 248	3 061	2 800
11	7 253	7 418	7 544	7 574	7 749
12	1 915	1 795	1 642	1 606	1 487
13	26	25	16	22	14
14	8 008	8 152	8 195	8 233	8 253



Rys. 1. Zależność sumarycznego czasu przebywania obiektów technicznych w stanie głównym  $S_5$  procesu (naprawa w warsztacie) i całkowitego zysku wypracowanego przez system od liczby obiektów technicznych w analizowanych dwóch kategoriach obiektów



Rys. 2. Zależność sumarycznego czasu przebywania obiektów technicznych w stacjach głównych  $S_3$  i  $S_5$  procesu ( $S_3$  – „naprawa na trasie”,  $S_5$  – „naprawa w warsztacie”) oraz zysku jednostkowego od liczby obiektów technicznych (tab. 1) w analizowanych dwóch kategoriach obiektów



Rys. 3. Zależność sumarycznej liczby wejść do stanów głównych  $S_3$ ,  $S_5$  i  $S_{10}$  procesu ( $S_3$  – „naprawa na trasie”,  $S_5$  – „naprawa w warsztacie”,  $S_{10}$  – „uszkodzenie”) oraz zysku jednostkowego od liczby obiektów technicznych (tab. 1) w analizowanych dwóch kategoriach obiektów

## 5. WNIOSKI

1. Wyniki zrealizowanych badań symulacyjnych potwierdzają oczekiwane reakcje modelu na zmiany wartości jego parametrów. Świadczy to o przydatności modelu do jakościowej i ilościowej analizy wariantów decyzyjnych w systemach transportowych.
2. Przedstawiona metoda budowy modelu procesu eksploatacji umożliwia opis procesu eksploatacji na wymaganym, wynikającym z celu modelowania, poziomie jego dekompozycji, a badania tak zbudowanego modelu umożliwiają analizę procesu eksploatacji na przyjętym poziomie szczegółowości.
3. Zastosowany sposób budowy modelu i kodowania stanów eksploatacyjnych pozwolił, m.in. na opis następujących zależności - stwierdzonych na podstawie analizy wyników badań rzeczywistego systemu autobusowego transportu miejskiego:
  - rozkładu zmiennej losowej określającej czas przebywania autobusu w stanie odnowy od rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu,
  - kosztu naprawy od rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu,
  - rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu od rodzaju poprzednio uszkodzonego podsystemu,
  - sekwencji kolejnych stanów procesu od rodzaju uszkodzonego podsystemu autobusu.

## LITERATURA

- [1] Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT, Warszawa 1986.
- [2] Fishman G.S.: Symulacja komputerowa pojęcia i metody. PWE, Warszawa 1981.
- [3] Grabski F.: Teoria semi-markowskich procesów eksploatacji obiektów technicznych. Zeszyty Naukowe WSzMW (AMW) w Gdyni nr 75A, Gdynia 1982.
- [4] Jewell W.S.: Markow-Renewal Programming I, II Operations Research 11 Nr 6, 1963.
- [5] Королюк В. С., Турбин А.: По́лмарковские процессы и их приложения. Научная Dumka, Kijów 1976.
- [6] Landowski B.: Metoda wyznaczania wartości wybranych zmiennych decyzyjnych do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji realizowanym w systemie transportowym. ATR, Bydgoszcz 1999.
- [7] Moore P.G.: Wprowadzenie do badań operacyjnych. WNT, Warszawa 1973.
- [8] Woropay M., Knopik L., Landowski B.: Trójstanowy model procesu eksploatacji. Zeszyty Naukowe Nr 212. Mechanika 42. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [9] Woropay M., Landowski B., Cieszyński T.: Metoda budowy modelu wstępnego złożonego systemu technicznego (na przykładzie autobusu Ikarus 280). Zeszyty Naukowe Nr 212. Mechanika 42. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.

- [10] Woropay M., Landowski B.: Analiza symulacyjna procesu eksploatacji w systemie komunikacji miejskiej. Zeszyty Naukowe Nr 212. Mechanika 42. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [11] Zeigler B.P.: Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1984.

## MODEL OF A MAINTENANCE PROCESS EXECUTED WITHIN CHOSEN TECHNICAL UNITS.

### Summary

The paper investigates modelling and simulating of a technical units maintenance process. The process is being executed within chosen maintenance systems. Main guidelines for a model of a maintenance process execution, and then - determining of some chosen process profiles. Main guidelines for a model of a maintenance process are based on an identification of a real urban bus maintenance system process and also, on many researches on the system process. In closing, there is a computational example.

*Key words:* maintenance process, modelling, simulation, random process, technical unit



## PROGRAM SOLID EDGE – ROZSZERZENIE MOŻLIWOŚCI PROJEKTOWANIA I KONSTRUOWANIA W SYSTEMIE CAD

Janusz Musiał, Michał Styp-Rekowski

Zakład Obrabiarek i Robotów  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Dynamiczny rozwój informatyki sprawił, że systemy komputerowego wspomaganie projektowania (CAD) stały się dziś niezbędnym elementem wyposażenia wielu instytucji i zakładów przemysłowych. Jednym z nowszych programów – zdaniem autorów – rozszerzającym możliwości projektowania i konstruowania w systemie CAD jest program Solid Edge (SE). Umieszczony w środowisku Windows przeznaczony jest do konstruowania przestrzennego z parametryzacją modelowania. SE służy do konstruowania zarówno zespołów i elementów maszyn o złożonej postaci konstrukcyjnej, jak również projektowania całych, nawet skomplikowanych systemów technicznych.

W artykule przedstawiano analizę cech charakterystycznych programu SE, jego wady i zalety. Porównano omawiany program z innymi programami CAD-owskimi. Podjęto również próbę odpowiedzi na pytania: w jakich działach techniki program ten może znaleźć szczególne zastosowanie i dlaczego?

*Słowa kluczowe:* system komputerowy, komputerowe wspomaganie projektowania (CAD), komputerowe wspomaganie wytwarzania (CAM)

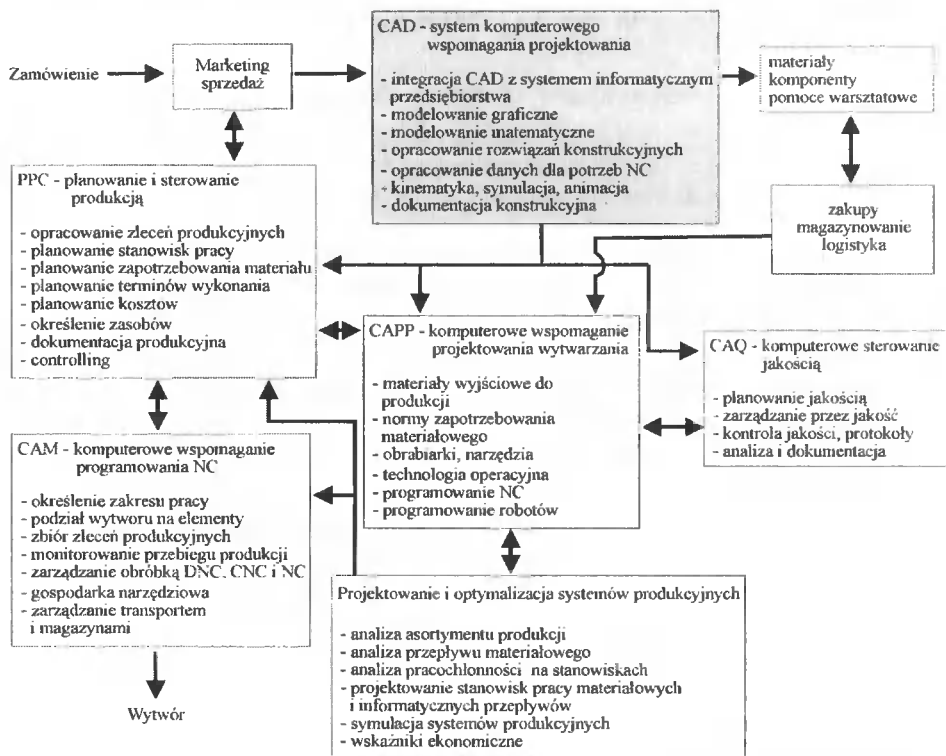
### 1. WPROWADZENIE

Idea komputerowego wspomaganie projektowania CAD (*Computer Aided Design*) zaczęła rozpowszechniać się z chwilą szerszego dostępu do sprzętu komputerowego. Rozwój informatyki spowodował, że system CAD stał się podstawowym narzędziem projektanta i konstruktora. Miejsce systemu CAD w procesie powstawania wytworu przedstawia rysunek 1. Usytuowanie tego systemu w poniższej strukturze i gęsta sieć powiązań świadczy o jego dużym znaczeniu.

Fakt, czy dany system CAD zostanie zaakceptowany przez konstruktora (pomijając aspekty ekonomiczne) uzależniony jest od następujących czynników [2]:

- zasobów sprzętowych:
  - systemu ogólnego przeznaczenia (PC),
  - systemu specjalizowanego (stacje graficzne),

- systemu pracy:
  - dwuwymiarowego (2D),
  - przestrzennego (3D),
- zastosowania oprogramowania:
  - procedur graficznych,
  - procedur obliczeniowych,
  - bazy danych i innych.



Rys. 1. Schemat funkcyjny zintegrowanego systemu produkcyjnego CIM

W ostatnich latach powstało wiele komputerowych programów wspomagających projektowanie. Obejmują one etapy projektowania, które ułatwiają prace projektanta [3]. Należą do nich: obliczenia konstrukcyjne, opracowanie dokumentacji technicznej, optymalizacja postaci konstrukcyjnej, symulacja zjawisk fizycznych itp.

Celem projektowania jest opracowanie postaci konstrukcyjnej środków technicznych. Postać konstrukcyjna (jakościowa własnością konstrukcyjną) wraz z układem wymiarów (ilościową własnością konstrukcyjną), zgodnie z teorią nauki konstrukcji [1], stanowią zbiór cech konstrukcyjnych:

- tworzywowych,
- geometrycznych,
- dynamicznych.



Opisywany w tym artykule program Solid Edge – przy tak zdefiniowanej konstrukcji - służy przede wszystkim do wyznaczania i optymalizacji geometrycznych cech konstrukcyjnych.

## 2. WYMAGANIA STAWIANE PROGRAMOM CAD

Programy CAD są dzisiaj niezbędnym wyposażeniem w wielu instytucjach i zakładach przemysłowych. Do niedawna programy te praktycznie tworzyły hermetyczne rozwiązania, znacznie różniące się od innych grup narzędzi informatycznych, szeroko stosowanych przy wspomaganiu prac biurowych, obróbce danych, programach finansowych itp. Dziś systemy CAD starają się eliminować te ograniczenia, co prowadzi do spełniania wymagań formułowanych przez użytkownika. Konstruktor spodziewa się łatwych w obsłudze i jednocześnie wysokospecjalizowanych systemów realizujących często specyficzne zadania w konkretnych dziedzinach. Poszczególne aplikacje powinny umożliwiać swobodne ich łączenie, gwarantując prawidłową współpracę, mimo że mogą pochodzić one od różnych twórców. Praktycznie konstruktora interesuje przede wszystkim ścisła integracja programu CAD z oprogramowaniem używanym w standardowych pracach biurowych.

Obecnie systemy CAD można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

1. Pierwsza - systemy klasy Unix, do których można zaliczyć takie programy, jak: CATIA, IDEAS, ProE. Rozwiązania te, stosując zaawansowane techniki projektowania (parametryczne modelowanie bryłowe, relacje geometryczne, wielomodułowość CAM/CAE), oferują wiele możliwości. Ich zastosowanie wiąże się ze stosunkowo dużą inwestycją (koszt zakupu, długi okres nauki).
2. Druga - systemy CAD, które wymagają komputerów klasy PC. Do tej grupy można zaliczyć program Solid Edge. Programy tej grupy w porównaniu z pierwszą grupą nie wymagają stacji roboczych, a jedynie komputery PC, które można w bardzo łatwy sposób rozbudowywać.
3. Trzecia grupa to systemy przede wszystkim o niższych kosztach zakupu i z mniejszymi wymaganiami sprzętowymi. Do tej grupy można zaliczyć: AutoCAD, czy MicroStation. Cechą ujemną tego typu programów są wyraźnie mniejsze możliwości i węższy zakres zastosowania w porównaniu z wymienionymi w pierwszej i drugiej grupie.

## 3. CECHY CHARAKTERYSTYCZNE PROGRAMU SOLID EDGE

Solid Edge jest programem CAD przeznaczonym do projektowania i wykonywania dokumentacji konstrukcyjnej złożonych mechanizmów i urządzeń oraz pojedynczych części, w tym części blaszanych, przewidzianych do obróbki plastycznej. Posiada on możliwości pełnej integracji z programami przeznaczonymi do symulacji procesów wytwarzania (CAM) i wykonywania analiz inżynierskich (CAE). Solid Edge przeznaczony jest do pracy na pojedynczych stanowiskach oraz w zintegrowanych środowiskach sieciowych.

Solid Edge charakteryzuje się następującymi cechami [4]:

- możliwością wykorzystania istniejących danych – modele 3D wczytywane są poprzez format SAT i IGES. Ponadto za pomocą dodatkowego modułu istnieje możli-

wość wczytania modeli powierzchniowych formatu STEP i VDA. W zakresie wczytywania modeli 2D program ten wykorzystuje własne środowisko płaskiego rysowania, które automatycznie wczytuje pliki rastrowe oraz wektorowe w formacie DWG i DXF (AutoCAD) i DGN (MicroStation),

- modelowanie bryłowe – brak możliwości tworzenia kształtów swobodnych, co było wadą pierwszych wersji tego programu. W kolejnych opracowaniach została ona usunięta. Zaletą programu zaś jest fakt, że posiada on prostą filozofię tworzenia bryły. Kształt bryły otrzymuje się za pomocą takich funkcji, jak: dodawanie, odejmowanie, pochylanie, wykonanie żeber itd.,
- modelowanie w kontekście złożenia – program posiada mechanizm określania zależności pomiędzy poszczególnymi częściami, pozwala także zaprojektować nową część przy wykorzystaniu istniejącej geometrii sąsiadujących podzespołów,
- wizualizacja - ustawienie źródeł światła oraz ich charakterystyk (określenie cieni, odbić czy przezroczystości), możliwość nakładania faktur powierzchni,
- tworzenie dokumentacji technicznej – dokumentacja generowana jest na podstawie wykonanego modelu 3D lub poprzez „ręczne” narysowanie dokumentacji 2D. Przy korzystaniu z modelu 3D program automatycznie generuje widoki, przekroje i listę części,
- zarządzanie danymi – opis atrybutów poszczególnych części i złożeń oraz możliwość opisu statusu dokumentów,
- mechanizm samonauczania – program posiada wbudowane lekcje umożliwiające samodzielne opanowanie obsługi programu,
- integracja z programami CAM/CAE – transfer geometrii bryłowej za pomocą formatu SAT,
- integracja z MSOffice,
- istnienie polskiej wersji językowej Solid Edge.

Solid Edge jest programem przeznaczonym do pracy w grupie. Pozwala na jednoczesny dostęp do projektu większej liczbie użytkowników, a tym samym na pracę grupy projektantów nad tym samym zadaniem. Kilka osób może zatem jednocześnie pracować nad poszczególnymi elementami lub podzespołami wchodzącymi w skład złożenia, z możliwością podglądu aktualnych prac pozostałych projektantów. W pracy grupowej niezwykle ważną sprawą jest kontrola struktury projektowanego wytworu oraz dokumentacji technicznej (jej wydawania i zmian). Program ten posiada – specjalnie przygotowane do tego celu - mechanizmy zarządzania i kontroli, które zapewniają zapis i wyszukiwanie informacji z bibliotek, opis atrybutów poszczególnych części i złożeń.

Wymienione wyżej cechy świadczą o tym, że program Solid Edge pozytywnie wyróżnia się spośród wielu programów wspomagających działalność inżynierską.

#### 4. ELEMENTY USPRAWNIAJĄCE PROJEKTOWANIE W PROGRAMIE SOLID EDGE

Program Solid Edge posiada kilka elementów, które przyczyniają się do usprawnienia pracy inżyniera projektującego za pomocą tego programu [6]. Należą do nich:

*SmartSketch* - sprawia, że w trakcie rysowania, np. linii, odgadywane są dynamiczne położenia charakterystyczne dotyczące tej linii jak również relacje w stosunku do już istniejących elementów. Przy kursorze wyświetlane

są położenia w postaci małych symboli, np. równoległość, styczności itp. Dotyczy to także punktów charakterystycznych (punktów przecięcia, końcowych itp.). Wszystkie te relacje mogą zostać podtrzymane w projekcie w postaci więzów "utrzymujących" geometrię,

- FreeSketch* - umożliwia narysowanie dowolnego elementu jednym pociągnięciem myszy, np. do narysowania prostokąta wystarczy narysowanie „z wolnej ręki” jego przekątnej. Podobnie można tworzyć okręgi, łuki oraz skomplikowane profile,
- SmartStep* - pokazuje i podpowiada kolejne kroki w trakcie każdej komendy. Jest to podpowiadacz szczególnie przydatny dla początkujących użytkowników Solid Edge. SmartStep nie tylko podpowiada, co wykonuje się aktualnie, lecz także umożliwia powrót do dowolnego kroku komendy,
- QuickPick* - jest to narzędzie pozwalające na wybranie dowolnego elementu konstrukcji. Często zdarza się, że rysunek zawiera kilka płaszczyzn w jednym miejscu, aby wybrać odpowiednią pomaga QuickPick, który wyświetla ilość znajdujących się pod kursorem płaszczyzn i pozwala wybrać tę właściwą,
- PathFinder* - wyświetla kolejność wykonanych operacji, a w złożeniu strukturę zespołu. Umożliwia zorientowanie się w strukturze, odnalezienie poszczególnych części i dokonywanie na nich operacji. Pozwala również wskazać element w zespole i wyłączyć jego wyświetlenie,
- OLE for D&M* - jest to mechanizm pozwalający na łatwą integrację z programami biurowymi i innymi programami technicznymi.

## 5. OBSZAR ZASTOSOWAŃ PROGRAMU SOLID EDGE

Przedstawione powyżej najistotniejsze – zdaniem autorów – cechy programu spowodowały duże zainteresowanie. Wśród krajowych użytkowników, których jest już ponad stu, są przede wszystkim wytwórcy z branży elektromechanicznej. Ich produkty charakteryzują się dużą złożonością postaci konstrukcyjnej i wysokimi wymaganiami w zakresie dokładności wykonania, np. elementów hydrauliki, urządzeń pomiarowych, silników, obrabiarek, maszyn technologicznych dla różnych branż. W tej grupie odbiorców wykorzystanie możliwości programu oraz jego efektywności są najpełniejsze i największe. Wśród nich są zarówno wytwórcy elementów o prostej budowie i niezbyt wysokich wymaganiach dokładnościowych, np. śrub, a także producenci łożysk – elementów o dużej dokładności.

Wśród odbiorców są też producenci reprezentujący inne branże, np. telekomunikację, elektronikę, meblarstwo, przemysł chemiczny i szklarski.

Trzecią grupę odbiorców, którą można wyodrębnić wśród użytkowników programu Solid Edge są przedsiębiorstwa zajmujące się przede wszystkim eksploatacją, np. elektrownie, sieci energetyczne, gazownictwo.

Bardzo ważną i coraz liczniejszą grupę wśród użytkowników stanowią jednostki zaplecza naukowo-badawczego: przemysłowe instytuty badawcze, ośrodki badawczo-rozwojowe, biura projektowo-konstrukcyjne i inne. W tej grupie są też przedstawiciele szkół wyższych (politechniki), oraz średnich (technika). Wykorzystanie programu na etapie edukacji jest bardzo ważne, gdyż absolwent szkoły – bez względu, czy jest to wyższa uczelnia czy technikum – posiadający umiejętność posługiwania się nowocze-

snymi narzędziami wykorzystywanymi w sferze CAD-CAM-CAE jest bardzo poszukiwany we wszystkich branżach gospodarki.

Wśród zagranicznych użytkowników omawianego programu są, np. AT&T, Boeing, FUJI, NEC, Siemens a więc firmy o światowej renomie.

Przedstawione powyżej zestawienie użytkowników programu Solid Edge bezsprzecznie wykazało, że spektrum jego odbiorców jest bardzo szerokie i różnorodne, co potwierdza uniwersalność ocenianego programu. Według różnych szacunków stosowanie programu pozwala na uzyskanie poprawy efektywności do 40%. Dodatkowo uwzględniając w tej ocenie okres nauki i nabieranie doświadczenia, uzyskane efekty mogą być jeszcze wyższe, co potwierdza doświadczenie autorów zdobyte w ciągu kilkuletniego stosowania programu.

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawiona powyżej identyfikacja cech programu Solid Edge wykazała możliwość wielostronnego wykorzystania go w procesie projektowo-konstrukcyjnym. Dzięki możliwości szerokiej integracji z innymi programami powinien on stanowić ważne ogniwo w coraz liczniejszym zbiorze komputerowych programów, stanowiących pomoc w pracach inżynierskich. Zebrane przez autorów oceny użytkowników programu oraz własne spostrzeżenia powyższe prognozy w pełni uzasadniają. Nie należy jednak zapominać, że jest to tylko narzędzie w rękach konstruktora, iż „żaden program komputerowy nie może zastąpić inżynierskiej wiedzy i wyczucia. Jest prawdą, że słaby inżynier nie zrobi za pomocą najpotężniejszego systemu tego, co może dobry inżynier policzyć na odwrocie koperty” [5].

Oceniając program Solid Edge z pozycji pracownika państwowej uczelni technicznej stwierdzić można, że podstawową przyczyną niezbyt jeszcze licznych uczelniach użytkowników programu są koszty jego zakupu. Wydaje się, że dystrybutor uwzględniając charakter wykorzystania programu, mógłby udostępniać go na warunkach zdecydowanie promocyjnych, gdyż z jednej strony rozszerzałoby to bardzo szybko krąg osób zainteresowanych stosowaniem programu, a więc i jego zakupem, z drugiej zaś - podnosiłoby poziom procesu dydaktycznego i atrakcyjność na rynku pracy absolwentów posiadających umiejętność posługiwania się nim.

## LITERATURA

- [1] Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
- [2] Dybała B., Grobelny P.: Graphilcal Kernel System w systemach CAD. Mat. Konf. „Komputerowe wspomaganie konstrukcji obrabiarek i procesów skrawaniem CAD-CAM-CIM”. Wrocław 1988.
- [3] Iwaniec M., Majkut L., Tomaszewski K.: Komputerowe wspomaganie projektowania koncepcji wytworu technicznego. Mat. XIV Ogólnopol. Konf. „Poliptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania”. Koszalin-Kołobrzeg 1996.
- [4] Profesjonalne systemy CAD/CAM/CAE dla mechaników – Solid Edge. Mechanik nr 12/97, Warszawa 1997.

- [5] Siwek B.: Wspomaganie konstruowania w środowisku edytorów graficznych. Mat. XIII Ogólnopol. Konf. „Poliptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania”. Koszalin-Kołobrzeg 1995.
- [6] Solid Edge – nowa możliwość. Przegląd Mechaniczny 23-24, Warszawa 1997.

## SOLID EDGE – CAD DEVELOPMENT

### Summary

As part of a dynamic development of computer application, Computer-Aided Design (CAD) has been widely implemented in institutions and industrial plants. One of the latest CAD products, in the opinion of the authors, is Solid Edge (SE) designed for complex-engineering machine systems and elements. The paper offers an SE analysis, advantages and drawbacks and compares it with other SE products. Finally it suggests its most potential applications.

*Key words:* computer system, Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM)



## TECHNOLOGICZNE I KONSTRUKCYJNE ZAGADNIENIA RECYRKULACJI PŁYNÓW OBRÓBKOWYCH W OBRABIARKACH EROZYJNYCH

Michał Styp-Rekowski

Zakład Obrabiarek i Robotów  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

W pracy dokonano analizy czynników technologicznych i konstrukcyjnych, które ze względów ekologicznych należy uwzględnić przy projektowaniu obrabiarek. Prezentowaną analizę przeprowadzono na przykładzie obrabiarek realizujących obróbkę erozyjną coraz częściej stosowaną we współczesnych procesach wytwarzania. Recykulacja płynów obróbkowych stanowi jeden z aspektów – ekologiczny, który powinien być uwzględniany w projektowaniu i wytwarzaniu maszyn, a także opracowywaniu procesów wytwórczych – na równi z zagadnieniami ekonomicznymi i technicznymi.

*Słowa kluczowe:* obrabiarki erozyjne, obróbka erozyjna, płyny obróbkowe, recykulacja

### 1. WPROWADZENIE

Realizowane na współczesnych obrabiarkach procesy technologiczne powinny charakteryzować się, m. in. możliwie małą szkodliwością dla środowiska i osób realizujących te procesy. Jest to zagadnienie, na które coraz częściej zwraca się uwagę i dąży się do minimalizacji wspomnianego wpływu, gdyż całkowite wyeliminowanie tego oddziaływania nie jest praktycznie możliwe [2, 6, 7, 14].

Jednym ze sposobów prowadzących do tego celu jest recykulacja mediów występujących w procesach technologicznych, np. produktów odpadowych, płynów technologicznych, ciepła itp. W pracy analizie poddano czynniki, które należy uwzględnić, rozpatrując możliwości recykulacji płynów obróbkowych stosowanych w obróbkach erozyjnych. W związku z dynamicznym rozwojem inżynierii materiałowej jest to rodzaj obróbek rozwijających się. Fakt ten generuje potrzeby, m. in. w zakresie konstruowania nowych obrabiarek realizujących te procesy obróbkowe. Powoduje to, że zbiór czynników oddziałujących na środowisko ciągle powiększa się, stwarzając potrzebę rozszerzenia zakresu badań.

## 2. OBRABIARKI REALIZUJĄCE EROZYJNE METODY OBRÓBK

Szeroki rozwój erozyjnych metod obróbki, głównie materiałów trudno obrabialnych, spowodował trudności w czytelnej systematyzacji obrabiarek realizujących ten rodzaj obróbki. Przeplatają się one wzajemnie tworząc, tzw. metody hybrydowe. Nierzadko stanowią także połączenie z metodami tradycyjnymi [1, 9, 13]. Najogólniej, obrabiarki erozyjne można podzielić przyjmując jako kryterium wykorzystywany rodzaj erozji:

- obrabiarki elektroerozyjne (erozja elektryczna),
- obrabiarki elektrochemiczne (erozja elektrochemiczna),
- obrabiarki strumieniowe (erozja strumienia energii).

W przypadku erozji elektrycznej źródłem energii - której oddziaływanie na przedmiot obrabiany powoduje oddzielanie od niego (od elektrody roboczej także) cząstek materiału - jest prąd elektryczny doprowadzany z generatora do obu biegunów w postaci impulsów.

Erozja elektrochemiczna przebiega w wyniku zachodzących reakcji chemicznych w obecności prądu elektrycznego, a więc reakcji elektrochemicznych w obszarze przyanodowym i w szczelinie międzyelektrodowej.

W erozji strumieniowej energia powodująca oddzielanie cząstek materiału od przedmiotu obrabianego zawarta jest w skoncentrowanym strumieniu, np.: jonów, elektronów lub fotonów, wody lub mieszaniny wody i ścierniwa.

W każdej z wyżej wymienionej grup obróbek występują płyny robocze, z tym że ich funkcja w każdym rodzaju obróbki jest inna.

## 3. FUNKCJA PŁYNÓW OBRÓBKOWYCH W WYBRANYCH METODACH OBRÓBK EROZYJNEJ

Do obróbki elektroerozyjnej (*Electro-Discharge Machining* - EDM) stosuje się płyny obróbkowe, które muszą być dielektrykiem. Ich zadaniem jest:

- stwarzanie możliwości powstawania kanału wyładowania i koncentrowania energii wyładowania przez ograniczenie wymiarów kanału,
- izolowanie przedmiotu obrabianego od elektrody roboczej,
- chłodzenie elektrody oraz cząstek roztwarzanego przedmiotu obrabianego,
- odprowadzenie produktów erozji elektrycznej ze szczeliny międzyelektrodowej.

W obrabiarkach realizujących tę odmianę obróbki jako płyny robocze stosuje się ciecze węglowodorowe lub zdejonizowaną wodę [13, 15, 16].

W obróbce elektrochemicznej (*Electro-Chemical Machining* - ECM) wykorzystującej erozję elektrochemiczną, płynami obróbkowymi są wodne roztwory soli nieorganicznych - najczęściej sodu, potasu, wapnia lub mieszaniny różnych soli. Stosuje się w nich także roztwory kwasów nieorganicznych (np.: solnego, siarkowego, fosforowego) oraz ich mieszaniny [3, 12, 16]. Są to więc elektrolity - płyny przewodzące prąd elektryczny a proces roztwarzania ma charakter elektrochemiczny i przebiega zgodnie z prawami Faradaya.

Ciecze obróbkowe stosowane w obrabiarkach elektrochemicznych mają funkcje jedynie w niewielkim stopniu pokrywające się z zadaniami cieczy używanymi w obrabiarkach elektroerozyjnych (chłodzenie i odprowadzanie produktów erozji ze strefy



roztwarzania). Różnice te wymuszają niezbędne właściwości jakimi muszą się cieczce charakteryzować. Elektrolity w obróbce elektrochemicznej mają przede wszystkim umożliwić sprawny przebieg reakcji elektrochemicznych, inicjowanych i wspomaganych prądem elektrycznym.

W obróbkach strumieniowych, np. elektronowej (*Electron Beam Machining* - EBM), laserowej (*Laser Beam Machining* - LBM), lub laserem wodnym (*Water Jet Machining* - WJM) cieczce obróbkowe nie są stosowane we wszystkich ich odmianach. Tam, gdzie one występują, np. lasery wodne, obróbka strumieniowo-ścierna (*Abrasive Water Jet Machining* - AWJM) podstawową funkcją jest dostarczanie energii niezbędnej do oddzielania cząstek materiału od przedmiotu obrabianego i odprowadzenie produktów erozji ze strefy obróbki. Do tego celu najczęściej stosowana jest woda - ewentualnie ze specjalnymi dodatkami (antyutleniającymi, powierzchniowo czynnymi itp.).

#### 4. REAKCJE CHEMICZNE ZACHODZĄCE W PŁYNACH TECHNOLOGICZNYCH W CZASIE OBRÓBK

Obecność prądu elektrycznego, a także środowisko w jakim zachodzi obróbka erozyjna są czynnikami sprzyjającymi zachodzeniu reakcji chemicznych. Reakcje te powodują jednak zmianę własności i właściwości płynów obróbkowych, zaś jednym z warunków stabilnego przebiegu procesu erozji zarówno elektrycznej, jak i elektrochemicznej jest trwałość cech płynów obróbkowych [17]. Są one więc czynnikiem niekorzystnym, przyczyniającym się do starzenia płynów obróbkowych i pogarszającym warunki obróbki.

Zmiany te, w zależności od rodzaju obróbki, zachodzą w różnych formach a ich skutki mają także zróżnicowany zakres.

##### 4.1. Obróbka elektroerozyjna (EDM)

Wysoka temperatura jaka towarzyszy procesom wyładowania w kanale plazmowym w obróbce EDM powoduje, że zachodzący proces starzenia ma charakter termooksydacyjny. Powoduje on pogarszanie cech użytkowych cieczy obróbkowych.

Proces utleniania cieczy węglowodorowych jest procesem rodnikowo-łańcuchowym, w którym można wyróżnić trzy fazy [12]:

- inicjowania, która ma bardzo duży wpływ na przebieg kolejnych faz,
- propagacji - rozwijania łańcucha,
- zakończenia w wyniku przzerwania reakcji łańcuchowej.

W pierwszej fazie zapoczątkowana zostaje reakcja łańcuchowa w wyniku ataku uaktywnionej cząsteczki tlenu na wiązanie C-H i powstania w rezultacie hydroksynadtlenku. Zachodzące reakcje można zapisać:



Druga faza – rozbudowy łańcucha – zachodzi według reakcji:



Powstający w tej fazie nadtlenek ROOH ma właściwości silnie utleniające. Rozpada się on homolitycznie na rodniki:



Wolne rodniki alkoksy- i hydroksylowe są bardzo reaktywne i reagują natychmiast, powodując oderwanie wodoru od węglowodoru, co można zapisać:



W wyniku powyższych reakcji, a także kolejnych, będących konsekwencją wyżej przedstawionych, w węglowodorowej cieczy obróbkowej powstają aldehydy, ketony, kwasy i alkohole organiczne powodujące zmianę kwasowości dielektryka, pogarszając jego cechy użytkowe w obróbce EDM.

W trzeciej fazie wolne rodniki węglowodorowe i nadtlenkowe deaktywują się w wyniku rekombinacji, przerywając reakcję łańcuchową:



Reakcje te wspomagane są działaniem substancji antyutleniających. Polega ono na rozkładzie silnych utleniaczy - wodoronadtlenków i rodników nadtlenków do związków nie aktywnych.

Poprawę użytkowych cech węglowodorowych płynów obróbkowych można uzyskać przez stosowanie dodatków modyfikujących. Ich działanie polega na obniżaniu intensywności zjawisk negatywnych i wzmacnianiu pozostałych. Wśród tych dodatków są, m. in. [4, 8, 11]:

- dyspergująco-myjące,
- inhibitory utleniania,
- inhibitory korozji,
- zwiększające lepkość.

Ze względu na możliwe interakcje pomiędzy nimi dodatki należy stosować kompleksowo w postaci pakietu i kontrolować w czasie obróbki istotne dla jej przebiegu wielkości charakteryzujące ciecz obróbkową.

## 4.2. Obróbka elektrochemiczna (ECM)

Duża różnorodność stosowanych w obróbce elektrochemicznej soli stanowiących podstawę elektrolitów powoduje sytuację, że bardzo różne są także zachodzące reakcje chemiczne. Tworzeniu się wodnych roztworów soli lub kwasów towarzyszy dysocjacja elektrolityczna, w wyniku której powstają dodatnio i ujemnie naładowane jony, co na przykładzie roztworu soli kuchennej NaCl można zapisać:



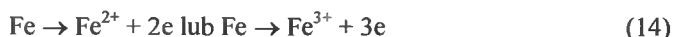
Obecność prądu elektrycznego wywołuje migrację jonów: dodatnich do katody, ujemnych do anody. Na anodzie, dla przykładu wykonanej z żelaza, mogą zachodzić więc reakcje rozładowywania anionów elektrolitu:



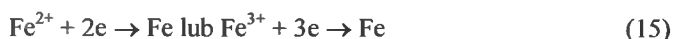
a po wyczerpaniu jonów  $\text{Cl}^-$  reakcje:



oraz roztwarzania żelaza, co w uproszczonej formie można zapisać:



Na katodzie możliwe jest natomiast osadzanie żelaza według reakcji:



oraz dejonizacja jonów wodoru:



Na obu elektrodach zachodzi też elektroliza wody, z tym że na anodzie wg reakcji:



a na katodzie:



Jony anody dyfundują następnie w głąb szczeliny międzyelektrodowej, w której zachodzą dalsze reakcje, np.:



oraz



Intensywność przedstawionych powyżej reakcji decyduje o stopniu zmiany parametrów stosowanego w obróbce elektrolitu i tym samym o zmianach w procesie technologicznym

### 4.3. Obróbka strumieniowa

W tym rodzaju obróbki erozyjnej cieczy obróbkowe (tam gdzie one występują) spełniają funkcję nośnika energii. Istotną ich rolą jest dostarczenie energii do strefy obróbki w postaci skoncentrowanego strumienia, gdyż tylko taka postać zapewnia efektywną obróbkę.

Cieczą roboczą jest najczęściej woda lub jej mieszanina ze ścierniwem [10, 13]. Ponieważ ma ona odczyn obojętny nie zachodzą w niej reakcje chemiczne i tym samym nie ulega starzeniu. Woda jako rozpuszczalnik polarny prawie pozbawiona jonów (zawiera jedynie jony z dysocjacji własnej  $\text{H}^+$  i  $\text{OH}^-$  w ilości po ok.  $10^{-7}$  mola/dm<sup>3</sup> każdy), jest dielektrykiem o nieszkodliwych dla środowiska produktach rozkładu.

Skutki procesów utleniania się obrabianych powierzchni w wyniku kontaktu z wodą, jakie mogą zachodzić dla niektórych obrabianych materiałów, można minimalizować dodatkami antykorozyjnymi dodawanymi do cieczy obróbkowych.

## 5. ZAGADNIENIA TECHNOLOGICZNE ZWIĄZANE Z RECYRKULACJĄ PŁYNÓW OBRÓBKOWYCH

### 5.1. Obróbka EDM

Na podstawie analizy reakcji zachodzących w płynach technologicznych stosowanych w obróbce elektroerozyjnej można stwierdzić, że zmiany podczas obróbki mają charakter nieodwracalny. Przywrócenie płynom ich początkowych własności i właściwości jest praktycznie niemożliwe (ciecze węglowodorowe), a nawet niecelowe (zdejonizowana woda) ze względów ekonomicznych. Możliwości recykulacji płynów są więc znikome i w rozwiązaniach konstrukcyjnych czołowych producentów tego typu obrabiarek (Agie lub Charmilles) nie jest ona spotykana [5].

Ze względów ekologicznych istotnym problemem pozostaje utylizacja zużytych płynów obróbkowych oraz produktów erozji.

### 5.2. Obróbka ECM

Zachodzące w elektrolicie reakcje powodują, że zmienia się stężenie roztworu a wraz z nim inne wielkości charakteryzujące elektrolit, od których zależy przebieg obróbki elektroerozyjnej. W obróbce elektrochemicznej na przykład podstawową wielkością jest wymiar szczeliny międzyelektrodowej  $s$ , który można opisać wzorem:

$$s = \kappa \cdot \eta \cdot k_v \cdot \frac{U - \Delta U_p}{v_f} \quad (21)$$

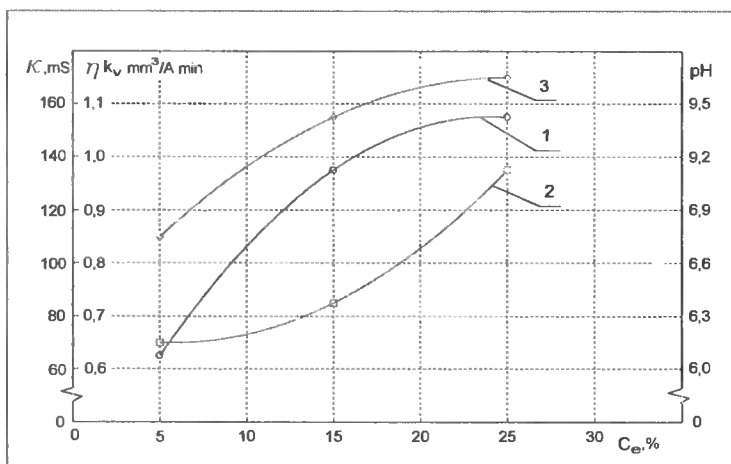
przy czym:

$$\kappa_1 = \kappa_0 (1 + \alpha \Delta T) \cdot (1 - c_H)^{1,5} \quad (22)$$

gdzie:

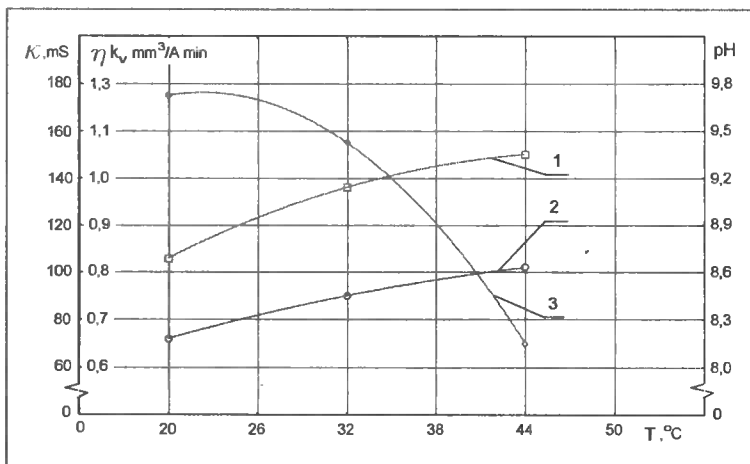
- $\kappa_{(1,0)}$  – przewodność właściwa elektrolitu (konduktywność) odpowiednio: w szczelinie (1) i na wlocie do szczeliny (0),
- $\eta$  – wydajność prądowa procesu roztwarzania,
- $k_v$  – równoważnik elektrochemiczny obrabianego metalu,
- $U$  – napięcie elektrodowe,
- $\Delta U_r$  – spadek potencjału pola elektrycznego w warstwach przyelektrodowych (napięcie polaryzacyjne),
- $v_f$  – prędkość posuwu narzędzia (elektrody),
- $\alpha$  – temperaturowy współczynnik przyrostu konduktywności elektrolitu,
- $\Delta T = T_1 - T_0$  – przyrost temperatury w szczelinie,
- $c_H$  – koncentracja objętościowa wodoru.

Przeprowadzone badania, np. [17], wykazały istotną zależność wielkości występujących w powyżej przedstawionych funkcjach, od stężenia elektrolitu. Wybrane wyniki z tego zakresu przedstawiono w formie graficznej na rysunku 1.



Rys. 1. Zależność własności elektrolitu: 1 – kondukcyjności  $\kappa$ , 2 – odczynu pH, oraz 3 – współczynnika obrabialności elektrochemicznej  $\eta k_v$ , od stężenia elektrolitu  $c_e$  w procesie drążenia (elektrolit: wodny roztwór  $\text{NaNO}_3$ , temperatura elektrolitu:  $T = 305 \text{ K}$ , obrabiany materiał: stal 3H13, prędkość drążenia:  $v_f = 0,4 \text{ mm/min}$ ) wg [17]

W czasie obróbki obserwuje się wzrost temperatury elektrolitu, przede wszystkim w wyniku wydzielania się ciepła Joule'a podczas przepływu prądu elektrycznego przez szczelinę międzyelektrodową, a także na skutek tego, że reakcje zachodzące w elektrolicie są egzotermiczne. Cytowane wyżej badania, wykazały że temperatura ma także istotny wpływ na analizowane wielkości. Wykresy obrazujące tę zależność przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność własności elektrolitu: 1 – kondukcyjności  $\kappa$ , 2 – odczynu pH, oraz 3 – współczynnika obrabialności elektrochemicznej  $\eta k_v$ , od temperatury elektrolitu  $T$  w procesie drążenia (stężenie elektrolitu:  $c_e = 15 \%$ , pozostałe parametry – jak na rys. 1) wg [17]

Z przytoczonych powyżej wyników badań wynika więc jednoznacznie, że procesy starzenia elektrolitu w istotny sposób wpływają na warunki obróbki i przebieg procesu technologicznego, znacznie je zmieniając - najczęściej pogarszając.

### 5.3. Obróbka strumieniowa

W tej odmianie obróbki erozyjnej płynem technologicznym jest woda. Nie stanowi ona zagrożenia dla środowiska naturalnego, dlatego też rozpatrywanie możliwości jej recyrkulacji jest nieuzasadnione. W przypadku obróbki strumieniowo-ścierniej (AWJM), w której płynem obróbkowym jest mieszanina wody i ścierniwa recyrkulacja także nie jest stosowana, a przywracanie płynom ich początkowych właściwości odbywa się poprzez oddzielenie fazy stałej od ciekłej i uzupełnienie wody nowym ścierniwem. Z technologicznego punktu widzenia istotne jest ustalenie momentu, kiedy należy tego dokonać.

## 6. KONSTRUKCYJNE UWARUNKOWANIA RECYRKULACJI PŁYNÓW OBRÓBKOWYCH

Jak już we wstępie stwierdzono jedną z cech, jaką powinny charakteryzować się metody obróbki stosowane w dzisiejszym przemyśle jest możliwie najmniej szkodliwe oddziaływanie ich na środowisko. Jednym ze sposobów pozwalających osiągnąć ten cel jest używanie mediów, występujących w procesach technologicznych w obiegu zamkniętym. Wymaga to zwiększenia ich trwałości lub zastosowania procesów regeneracji (w szerokim pojęciu) i recyrkulacji.

Rozwiązanie takie może dotyczyć także płynów obróbkowych będących przedmiotem rozważań w niniejszej pracy. Jak wcześniej stwierdzono ciecze te ulegają starzeniu i zanieczyszczeniu produktami obróbki. Aby więc możliwa była recyrkulacja płynów obróbkowych niezbędne jest dokonanie ich regeneracji polegającej na przywróceniu im pierwotnych cech [7, 14, 17]. Wymaga to zrealizowania dwóch zasadniczych działań technologicznych:

- oczyszczenia płynu z produktów erozji oraz związków powstałych w wyniku reakcji chemicznych,
- zidentyfikowania stopnia zmian stanu płynu obróbkowego i uzupełnienia go składnikami przywracającymi cechy początkowe.

Pierwsze z powyższych działań można zrealizować wykorzystując do tego metody:

- mechaniczne, np. filtrowanie, rozdzielanie grawitacyjne (wirowanie),
- fizyczne, np. sedymentację,
- chemiczne, np. flotację, koagulację,

lub połączenie wyżej wymienionych metod, w zależności od możliwości i potrzeb.

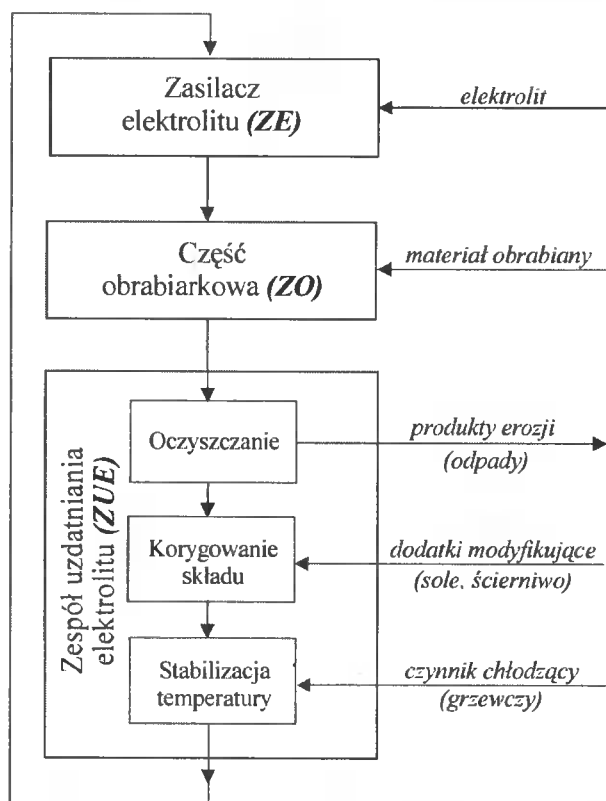
Fracje stanowiące zanieczyszczenia płynów obróbkowych powinny być następnie utylizowane, aby uniknąć zanieczyszczenia środowiska. Metody utylizacji produktów erozji zależą głównie od ich składu chemicznego [7, 14].

Fracja oczyszczona stanowi podstawę płynu przewidzianego do recyrkulacji. Reakcje chemiczne, temperatura oraz procesy oczyszczania mogą jednak tak zmienić jego własności i właściwości, że bez identyfikacji tych zmian nie należy go powtórnie wprowadzać do obiegu. Ciągłe monitorowanie składu chemicznego płynu obróbkowego

jest technicznie możliwe, lecz uciążliwe i kosztowne, dlatego też często realizuje się je pośrednio. Zmianę stężenia roztworu stanowiącego elektrolit w obróbce elektrochemicznej można na przykład zbadać laboratoryjnie w funkcji czasu obróbki lub ilości materiału rozтворzonego i korygować okresowo, weryfikując w ustalonym cyklu inne jego istotne dla obróbki parametry, np.: konduktywność, kwasowość.

Temperaturę płynu obróbkowego, drugi istotny czynnik w obróbkach erozyjnych, można stabilizować automatycznie.

Podsumowując tę część rozważań można stwierdzić, że możliwości recyrkulacji płynów obróbkowych zawężone są do obróbek elektrochemicznych. Przebiegać powinna ona według schematu przedstawionego na rysunku 3. Zaznaczono na nim tylko najistotniejsze dla poruszanego problemu wejścia i wyjścia oraz bloki, odpowiadające zespołom maszyny.



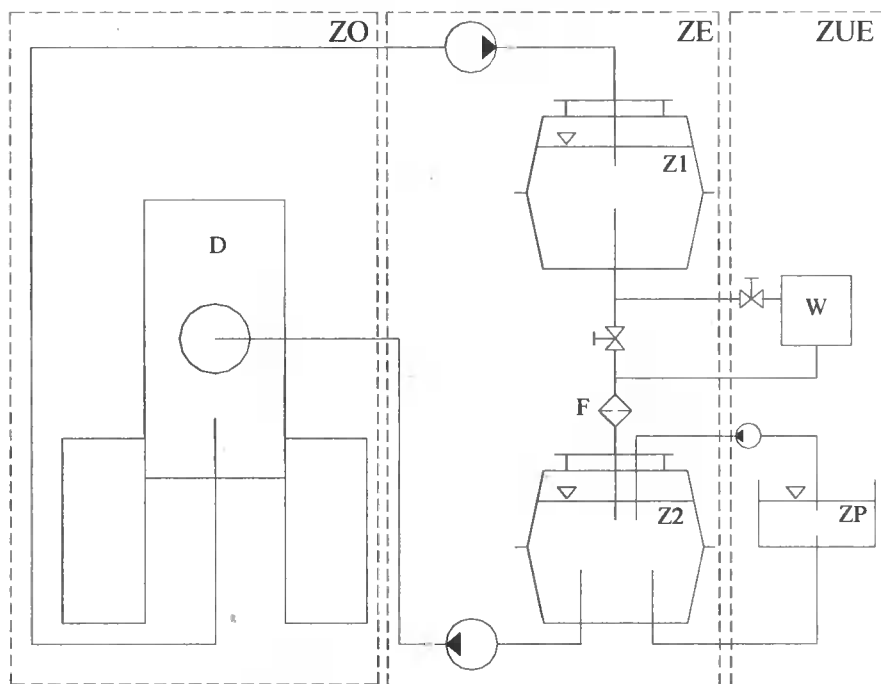
Rys. 3. Schemat blokowy recyrkulacji płynów technologicznych w obrabiarkach erozyjnych (elektrochemicznych)

Realizacja przedstawionych na powyższym schemacie zabiegów technologicznych wymaga właściwego zabezpieczenia technicznego. Potrzeby w tym zakresie należy uwzględnić już na etapie projektowania obrabiarki. Względny te, a także zagadnienia związane z bezpieczeństwem pracy na obrabiarkach tego typu powodują, że układy

zasilania w płyny obróbkowe wraz z układami peryferyjnymi są niekiedy bardzo rozbudowane, np.[2, 3].

Przykładowy schemat instalacji obiegu elektrolitu w drążarce EDCA10 przedstawiono na rysunku 4. Wyróżnić na nim można trzy zasadnicze moduły niezbędne do zapewnienia możliwości recyrkulacji (jako bloki przedstawione także na rysunku 3).

Pierwszy z nich – zasilacz elektrolitu (ZE), składa się z dwóch magazynowych zbiorników elektrolitu. Elektrolit zanieczyszczony produktami erozji odprowadzany jest ze strefy obróbki do zbiornika górnego (Z1). Spełnia on także funkcję odstoju, z którego elektrolit jest grawitacyjnie podawany w zależności od potrzeb do wirówki (W) lub poprzez filtr (F) do zbiornika dolnego (Z2). Drugi moduł – zespół uzdatniania elektrolitu (ZUE), to połączony równolegle ze zbiornikiem (Z2) zbiornik pomocniczy (ZP), w którym przeprowadza się niezbędne pomiary i na ich podstawie dokonuje się korekty składu i temperatury elektrolitu. Do zespołu tego należy także wirówka (W) oczyszczająca elektrolit z produktów erozji. Tak przygotowany elektrolit powraca z dolnego zbiornika (Z2) do obiegu roboczego i bierze udział w procesie technologicznym realizowanym w trzecim module – części obrabiarkowej (ZO) drążarki (D).



Rys. 4. Schemat instalacji obiegu elektrolitu w drążarce EDCA10

Jest to przykład układu niezbyt rozbudowanego, a w porównaniu do proponowanych przez czołowych producentów tego typu obrabiarek [2, 5] – wręcz prostego. Zawiera on jednak podstawowe elementy niezbędne do prowadzenia obróbki elektrochemicznej w stabilnych warunkach i umożliwiające recyrkulację elektrolitu. Wyposażenie obrabiarki w taki układ jest więc jednym ze sposobów zapewnienia opisanym procesom obróbki minimalizacji ich szkodliwego oddziaływania na środowisko.



## 7. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono technologiczne i konstrukcyjne uwarunkowania, które muszą być spełnione, aby możliwa była recyrkulacja płynów roboczych w obrabiarkach erozyjnych. Przedstawione rozważania powinny być uwzględnione podczas projektowania obrabiarek służących do realizacji opisanych metod obróbek erozyjnych.

Spełnienie tych wymagań zapewnia minimalizację szkodliwego oddziaływania procesów technologicznych na środowisko. Stanowi więc przykład ekologicznego ujęcia procesów projektowania obrabiarek i procesów wytwarzania.

Projektując obrabiarkę realizującą procesy obróbki erozyjnej z recyrkulacją płynów technologicznych należy pamiętać o kryterium kosztów. Układ umożliwiający recyrkulację musi być niezbyt rozbudowany i tym samym możliwie tani, gdyż w przeciwnym razie idea recyrkulacji chroniąca środowisko może okazać się zbyt słabym argumentem materialnym aby ją realizować.

W przedstawionych rozważaniach dokonano pewnych, niekiedy nawet znacznych uproszczeń. Dotyczą one głównie zjawisk zachodzących podczas opisanych metod obróbki. Obróbki erozyjne a szczególnie bardzo liczne obecnie obróbki hybrydowe są tak różnorodne, że dokładne ich omówienie, nawet w tak wąskim aspekcie, jak możliwość ich recyrkulacji przekracza założony zakres niniejszej pracy. Poruszane w niej problemy są jednak zdaniem autora najistotniejsze dla omawianego w opracowaniu zagadnienia.

## LITERATURA

- [1] Albiński K.: Rozwój erozyjnych metod obróbki materiałów. Mat. II Konf. Nauk.-Techn. EM'86 (Electromachining). Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 1986.
- [2] Chuchro M., Czekaj J., Zybura-Skrabalak M.: Wybrane zagadnienia bezpiecznej eksploatacji obrabiarek elektrochemicznych. Mat. V Konf. Nauk.-Techn. EM'97 (Electromachining). Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz - Golub Dobrzyń 1997.
- [3] Gołąbczak A.: Elektrochemiczne ostrzenie ściernic z zastosowaniem prądu przemiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej nr 762, Rozprawy z. 234. Łódź 1996.
- [4] Herdan J.M.: Metalworking Fluids – Present and Future. Proceedings of 12<sup>th</sup> International Colloquium 'TRIBOLOGY 2000 – Plus'. Esslingen, Germany 2000.
- [5] Karty informacyjne obrabiarek erozyjnych firm Agie i Charmilles.
- [6] Kowalski S., Wieczorowski K.: Ekologiczne aspekty procesów zgrubnego stykowego przecinania na przykładzie przecinania anodowo-mechanicznego. Mat. VI Konf. Nauk.-Techn. EM'2000 (Electromachining). Bydgoszcz - Wenecja 2000.
- [7] Leppert T.: Analiza ekologicznych czynników obróbki elektroerozyjnej. Mat. IX Międzynarodowej Konf. Nauk. „Recyrkulacja w budowie maszyn”. Bydgoszcz 1999.
- [8] Marczak R., Ozimina D., Senatorski J., Scholl H.: Ocena aktywności tribologicznej dodatków do smarów i cieczy technologicznych. Tribologia nr 5-6/1997.

- [9] Musiał J., Styp-Rekowski M.: Struktura geometryczna powierzchni kształtowanych metodami erozyjnymi. Mat. V Konf. Nauk.-Techn. EM'97 (Electromachining). Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz - Golub Dobrzyń 1997.
- [10] Oczos K. E.: Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1996.
- [11] Parenago O.P., Kuzmina G.N., Vipper A.B.: Zinc and Molybdenum Dithiocarbamates – Antioxidant Additives. Proceedings of 12<sup>th</sup> International Colloquium 'TRIBOLOGY 2000 – Plus'. Esslingen, Germany 2000.
- [12] Płaza S: Fizykochemia procesów tribologicznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1997.
- [13] Ruszaj A.: Niekonwencjonalne metody wytwarzania elementów maszyn i narzędzi. Prace Instytutu Obróbki Skrawaniem. Monografia, Kraków 1999.
- [14] Styp-Rekowski M.: Recykulacja technicznych płynów obróbkowych. Mat. VI Międzynarodowej Konf. Nauk. „Recykulacja w budowie maszyn”. Bydgoszcz 1996.
- [15] Tomczak J.M.: Ciecze dielektryczne stosowane w obróbce elektroerozyjnej. Mat. II Konf. Nauk.-Techn. EM'86 (Electromachining). Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 1986.
- [16] Waszkiewicz L.: Podstawy teoretyczne obróbki anodowo-mechanicznej. Materiały Szkoły Naukowej Obróbek Erozyjnych. Wydawnictwo Sekcji Podstaw Technologii KBM PAN, Warszawa 1990.
- [17] Zybura-Skrabalak M., Ruszaj A., Chuchro M.: Stabilizacja właściwości elektrolitu w procesie obróbki elektrochemicznej. Mat. IV Konf. Nauk.-Techn. EM'94 (Electromachining). Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz - Ciechocinek 1994.

## OPERATIONAL AND CONSTRUCTIONAL FACTORS OF CUTTING FLUID RECYCLING IN EROSIIVE MACHINES

### Summary

The present paper offers an analysis of operational and constructional factors which should be considered as an environment-saving measure in machine designing; in specific of erosive machines more and more popular in manufacturing. Cutting fluid recycling enhances environment-saving and is to be factored in in machine designing and manufacturing as well as in the manufacturing process along with economic and technical guidelines.

*Key words:* erosive machine, erosive machining, cutting fluid, recycling

## METODY BADAŃ CECH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH ZIAREN ZBÓŻ

Grzegorz Szala

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Praca obejmuje analizę możliwości realizacji badań wytrzymałości materiału ziarnistego na przykładzie ziaren zbóż, propozycje własnej metodyki badań wytrzymałości ziaren zbóż w próbie technologicznego ścinania, projekt przyrządu oraz weryfikację doświadczalną metody badań i funkcjonalnych cech przyrządu. W pracy wykazano przydatność zaproponowanej metody i przyrządu do wyznaczenia wytrzymałości ziaren na ścinanie oraz wyznaczania energii potrzebnej do ścinania stanowiącej zasadniczy element założeń w konstruowaniu rozdrabniaczy.

*Słowa kluczowe:* ziarno zbóż, technologiczne ścinanie

### 1. WPROWADZENIE

Powszechność stosowania rozdrabniaczy do produktów ziarnistych i innych produktów działających na zasadzie ścinania rozdrabnianych materiałów wymaga określenia oporów ich ścinania [1, 6]. W tym celu wymagana jest znajomość wytrzymałości tych materiałów na ścinanie. Ze względu na duży udział w rozdrabnianiu materiałów ziarnistych celowe jest podjęcie badań wytrzymałości tych materiałów na ścinanie. Poprawnie przeprowadzona próba ścinania daje ponadto możliwość obserwacji przekroju ziarna celem oceny mączystości i szklistości ziarna [1, 4, 5].

Powyższe stwierdzenia wskazują na wagę problemu pod względem poznawczym i praktyczno-technicznym oraz w pełni uzasadniają celowość podjęcia tematu pracy.

#### 1.1. Cel pracy

Celem pracy jest:

- przeprowadzenie analizy zagadnień wytrzymałości materiałów, prób technologicznych materiałów oraz charakterystyki budowy ziarna z punktu widzenia cech mechanicznych,
- zaprojektowanie przyrządu do badań wytrzymałościowych ziarna pszenicy,
- wykonanie przyrządu umożliwiającego przeprowadzenie prób na maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON,
- przeprowadzenie badań oraz analiz wyników wytrzymałości pszenicy,

## 1.2. Zakres

Praca obejmuje swym zakresem:

- analizę danych literaturowych dotyczących badań wytrzymałościowych materiałów, próby technologiczne w badaniach materiałów oraz charakterystykę budowy ziarna z punktu widzenia cech mechanicznych,
- wnioski z analizy literatury dotyczące opracowania metodyki badań własnych, stanowiska badawczego (maszyna wytrzymałościowa, przyrząd), projektu przyrządu oraz analizy wyników badań,
- schemat przyrządu do badań wytrzymałościowych ziaren pszenicy z opisem,
- przeprowadzenie badań ziarna pszenicy na ścinanie, w tym opracowanie metody i programu badań oraz ich analizę oraz sformułowanie wniosków z badań.

Zakres badań własnych obejmujących badania ścinania ziaren pszenicy celem określenia wytrzymałości na ścinanie tych ziaren oraz analizę szklistości i mączystości pszenicy.

## 2. ANALIZA LITERATURY Z ZAKRESU BADAŃ

### Metody badań wytrzymałości materiałów

Wytrzymałość materiałów jest działem mechaniki odkształcalnych ciał stałych, w którym bada się, czy dana część konstrukcyjna w określonych warunkach fizycznych, wpływających na własności ciała stałego (np. temperatura) nie ulegnie zniszczeniu pod wpływem przyłożonych sił zewnętrznych.

Przez zniszczenie rozumie się – w zależności od potrzeb albo odkształcenia – przekraczające wartości podyktowane przeznaczeniem części konstrukcyjnych, albo dekohezję, tj. pokonanie sił spójności ciała i zniszczenie go przez podział na części.

Wytrzymałość prosta dzieli się na: rozciąganie-ściskanie, ścinanie, zginanie oraz skręcanie [6, 7].

W maszynach rozdrabniających używanych w przemyśle paszowym rozdrabnianie materiału ziarnistego następuje w wyniku zgniatania, rozcierania, zgniatania ze ścinaniem (qasi-ścinanie), rozbijania bijakiem w strumieniu i przeciwstrumieniu. Najczęściej jednak na skutek połączenia wymienionych sposobów [1].

Przedstawiony opis metod badania wytrzymałości materiałów oraz sposoby rozdrabniania materiałów ziarnistych umożliwiają sformułowanie wniosku, iż w zakresie pomiaru wytrzymałości ziarna ograniczone są możliwości zastosowania standardowych prób. Z określonymi modyfikacjami mogą być zastosowane metody typu technologicznego, odpowiadające badaniom materiałów na ścinanie i ściskanie.

Z powyższego stwierdzenia wynika wniosek ogólny: istnieje potrzeba zaprojektowania przyrządu do badań, realizujących próbę technologicznego ścinania ziaren celem wyznaczenia wytrzymałości (a dokładniej – oporu) ziarna na ścinanie.

### 3. APARATURA BADAWCZA Z ZAKRESU BADAŃ WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH ZIAREN

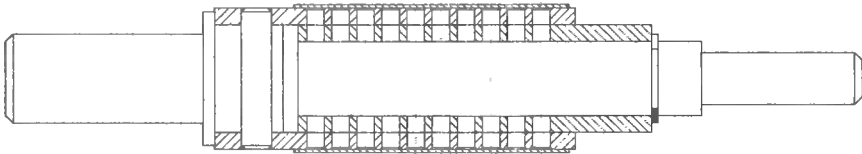
Do najbardziej znanych przyrządów służących do ścinania ziarna można zaliczyć farinotom starego typu. Jest to przyrząd składający się z płytki górnej i dolnej w kształcie okrągłym zaopatrzonej w 50 pokrywających się otworów oraz noża o podobnym kształcie umieszczonym między płytkami (górną i dolną). Farinotom ten jest urządzeniem ręcznym wymagającym dosyć znacznej siły do przecięcia ziaren [2, 3, 4].

Innym urządzeniem jest farinotom opracowany w Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego w Bydgoszczy. Zbudowany jest z dwóch płytek przecinających z otworami, podstawy, tulei obrotowej, ramienia oraz krzywki prowadzącej. Przewidziany jest do przecinania jednocześnie 50 ziaren zbóż jednocześnie. Jest urządzeniem ręcznym, lecz przez zastosowanie dźwigni wymaga dużo mniejszej siły do przecięcia ziaren niż farinotom starego typu [4].

Trzecim urządzeniem jest przyrząd wytrzymałościowy wg koncepcji prof. Józefa Flizikowskiego. Służy do analizy obciążeń i odkształceń w warunkach maszyny wytrzymałościowej. Przyrząd składa się z trzech płaskowników o różnych grubościach, w których wykonano 15 otworów o zmiennych średnicach. W przyrządzie tym istnieje możliwość regulacji szczeliny między płaskownikami.

### 4. PRÓBA TECHNOLOGICZNEGO ŚCINANIA – PROJEKT PRZYRZĄDU DO BADAŃ I METODYKA BADAŃ

Przyrząd do próby technologicznego ścinania jest przystosowany do pracy z maszyną wytrzymałościową typu INSTRON. Składa się z tulei roboczej zewnętrznej, tulei roboczej wewnętrznej, uchwytu tulei zewnętrznej i wewnętrznej (rys. 1).



Rys. 1. Przyrząd do technologicznej próby ścinania [5, 8]

W zaprojektowanym przyrządzie ścinanie następuje przez względne przesunięcie części roboczych przyrządu z wykonanymi otworami na ziarno i w płaszczyźnie z ukształtowanymi krawędziami tnącymi. Demontaż części roboczych przyrządu powinien zapewniać zabezpieczenie ściętych ziaren przed wypadaniem z gniazd.

Omawiany przyrząd zapewnia: wewnętrzne zrównoważenie sił, wykorzystanie maszyny wytrzymałościowej, dokładność pomiaru siły tnącej, obserwację przebiegu procesu ścinania (siła – przemieszczenie) oraz cięcie większej liczby ziaren.

Samo badanie polega na wypełnieniu przyrządu określoną liczbą ziaren (od 1 do 100) oraz ich ścięciu przez wywieranie siły wzdłuż osi przyrządu na maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON. Wynikiem próby ścinania uzyskano wykresy zależności

siły w funkcji przemieszczenia. Średnią nominalną wytrzymałość na ścinanie obliczono z zależności:

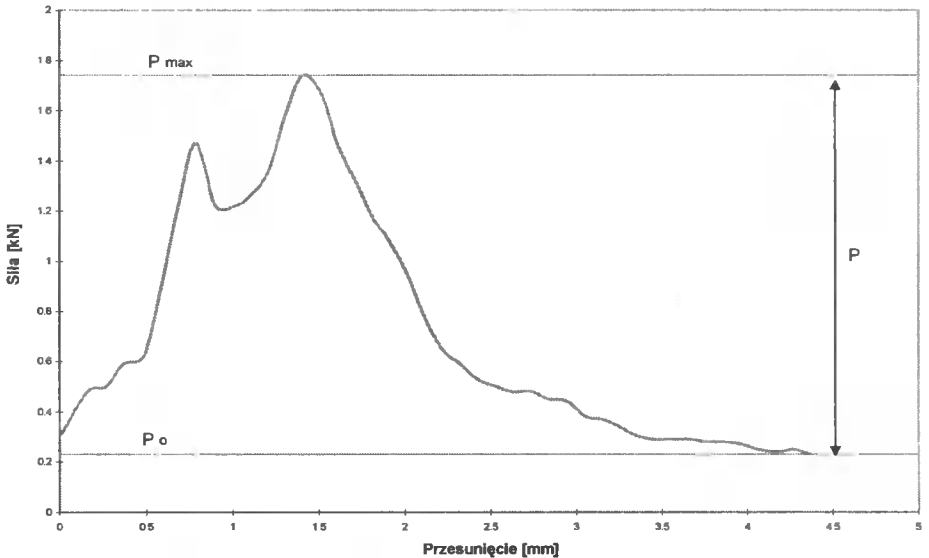
$$R_t = \frac{P}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

gdzie:

- $R_t$  – średnia wytrzymałość na ścinanie w MPa,
- $P$  – maksymalna siła zarejestrowana na wykresie z próby ścinania w N,
- $F_i$  – przekrój  $i$ -tego ziarna  $\text{mm}^2$ ,
- $i$  – kolejny numer ziarna.

W obliczeniach przybliżonych ziaren o zbliżonych przekrojach w mianowniku w miejsce sumy można wstawić iloczyn:

$$\sum_{i=1}^n F_i \cong n \cdot F \quad (2)$$



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie wykresu technologicznego ścinania ziarna pszenicy z wielkościami stosowanymi w obliczeniach [5]

Maksymalną siłą  $P$  obliczano jako różnicę  $P_{\max}$  – maksymalne wskazanie siłomierza oraz siły początkowej  $P_0$ .

$$P = P_{\max} - P_0 \quad (3)$$

Pole pod wykresem obrazuje pracę w próbie technologicznego ścinania  $L_T$  i może być użyte w dalszych analizach oceny energii użytej w procesach rozdrabniania materiałów ziarnistych.

## 5. WERYFIKACJA DOŚWIADCZALNA METODY TECHNOLOGICZNEGO ŚCINANIA I FUNKCJONALNYCH CECH PRZYRZĄDU

W trakcie badań pozytywnie zweryfikowano wszystkie założenia projektowe przyrządu do technologicznej próby ścinania ziaren pszenicy. Przede wszystkim takie cechy użytkowe przyrządu, jak: dokładność pomiaru siły tnącej i przemieszczeń, łatwość obsługi przyrządu w zakresie badań oraz uniwersalność w zakresie różnej liczby ścinanych ziaren od 0-100.

## 6. WNIOSKI

1. W trakcie badań wstępnych zweryfikowano pozytywnie wszystkie założenia projektowe przyrządu do technologicznej próby ścinania.
2. Dane uzyskane z badań wskazują na możliwość określenia zależności wytrzymałości na ścinanie  $R_t$  od szklistości w poszczególnych rodzajach ziaren (mieszane, szkliste).
3. Rejestracja ciągła zmian siły tnącej i przemieszczenia pokazana na rys. 2 wskazuje na możliwość wyznaczenia pracy ścinania co ma podstawowe znaczenie w konstruowaniu rozdrabniaczy działających na zasadzie ścinania ziaren.
4. Z przeprowadzonych badań wynika potrzeba ich kontynuacji ze względu na wyznaczenie zależności:
  - wytrzymałości na technologiczne ścinanie od szklistości ziaren,
  - energii potrzebnej do realizacji technologicznego ścinania od parametrów eksploatacyjnych, między innymi prędkości ścinania, rodzaju obciążenia, wilgotności.

## LITERATURA

- [1] Flizikowski J.: Badania i podstawy konstrukcyjne wielotarczowych rozdrabniaczy nasion. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1990.
- [2] Praca zbiorowa: Ćwiczenia technologii zbóż i strączkowych jadalnych, Wyd. Uczeln. AR, Poznań 1973.
- [3] Praca zbiorowa pod red. T. Jakubczyka i T. Habera: Analiza zbóż i przetworów zbożowych.
- [4] Sadkiewicz K., Sadkiewicz J.: Urządzenia pomiarowo-badawcze dla przetwórstwa zbożowo-mącznego, Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [5] Szala G.: Praca dyplomowa – Badania twardości i wytrzymałości ziarna pszenicy, 1999.
- [6] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera mechanika. WNT, Warszawa 1968.
- [7] Siołkowski B.: Mechanika techniczna. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1979.
- [8] Szala G.: Przyrząd do technologicznej próby ścinania. Opis patentowy UPRP, Warszawa 2000.

## CEREAL GRAIN STRENGTH RESEARCH METHODS

### Summary

The present paper presents a strength research analysis for corn seeds, offers a new method of shear strength trial, a newly-developed device as well as test results and the device user-friendliness. The study verifies the applicability of the method and of the device to defining grain shear strength and the shear energy which is crucial to mill designing.

*Key words:* cereal grain, shear strength



## BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI ZIAREN PSZENICY W PRÓBIE TECHNOLOGICZNEGO ŚCINANIA

Grzegorz Szala

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Praca obejmuje opis badań wytrzymałości ziaren pszenicy podczas próby technologicznego ścinania z wykorzystaniem przyrządu do technologicznej próby ścinania własnej konstrukcji, współpracującego z maszyną wytrzymałościową typu INSTRON.

Z przeprowadzonych badań wynika, że: we wszystkich rodzajach prób wytrzymałości na ścinanie otrzymano wartości o niedużym rozrzucie ( $R_t = 1,97$  MPa,  $\gamma_R = 0,157$ ), analiza przekrojów ziaren wskazuje na znaczny rozrzut szklistości badanych ziaren ( $\gamma_U = 0,54$ ), co wskazuje na konieczność przeprowadzenia dalszych badań dotyczących szklistości ziaren po selekcji. Analiza wyników badań umożliwiła sformułowanie szeregu wniosków do dalszych badań, głównie w zakresie analiz energetycznych.

*Słowa kluczowe:* ziarno pszenicy, próba technologicznego ścinania

### 1. WSTĘP

Dotychczasowe próby ścinania w celu określenia mączystości i szklistości ziarna pszenicy przeprowadza się za pomocą ręcznych przyrządów zwanych farinotomami [1, 4, 6]. Tego typu przyrządy o prostej konstrukcji nie pozwalają na dokładne wyznaczenie oporów ścinania lub wytrzymałości ziarna na ścinanie. Badania, których celem jest wyznaczenie oporów ścinania lub wytrzymałości z odpowiednią dokładnością wymagają zastosowania specjalistycznych maszyn wytrzymałościowych i specjalistycznego oprzyrządowania. Maszyny te, poza wartościami sił ścinania, umożliwiają śledzenie przebiegu ścinania, który można zobrazować za pomocą wykresów siły w funkcji przemieszczenia.

Powyższe stwierdzenia wskazują na poznawcze i praktyczno-techniczne znaczenie problemu oraz na potrzebę opracowania oprzyrządowania umożliwiającego przeprowadzenie powyższych badań.

## 2. OPIS BADAŃ

### 2.1. Metoda badań

Na podstawie analizy i wniosków z literatury wynika, że w zakresie oceny własności mechanicznych ziarna pszenicy i wynikających z tej wytrzymałości oporów rozdrabniania ziarna przez ścinanie ważne są badania ziaren na ścinanie. Opis ogólnych metod badań zamieszczono w pracy [7], w której opisano też przyrząd do badań wytrzymałościowych. Umożliwia on badania wytrzymałości ziaren pszenicy na ścinanie w liczbie od 1 do 100.

Badania polegają na wypełnieniu przyrządu określoną ilością ziaren pszenicy i ich ścięciu przez wywieranie siły wzdłuż osi przyrządu na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501. Po ścięciu ziaren następuje wysunięcie tulei wewnętrznej przyrządu z jednoczesnym zabezpieczeniem ziaren przed wypadaniem z gniazd przyrządu za pomocą przezroczystej osłony, która umożliwia obserwację przekrojów ziaren celem oceny mączności i szklistości ziaren. Oceny budowy przekroju ziarna dokonuje się w skali makroskopowej (bez powiększeń). Wynikiem próby ścinania są wykresy zależności siły w funkcji przemieszczenia, których ogólny przebieg omówiono w pracy [7, 8]. W powyższym opracowaniu także podano wzory obliczeniowe, których postać dla jednoznaczności opracowania podano niżej. Średnią nominalną wytrzymałość na ścinanie oblicza się z zależności:

$$R_t = \frac{P}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

gdzie:

- $R_t$  – średnia wytrzymałość ziarna na ścinanie w MPa,
- $P$  – maksymalna siła próby ścinania zarejestrowana na wykresie w N,
- $F_i$  – przekrój  $i$ -tego ziarna,
- $i$  – kolejny numer ziarna.

W przybliżonych obliczeniach przekroju ziaren o zbliżonych przekrojach w mianowniku w miejsce sumy można wstawić iloczyn

$$\sum_{i=1}^n F_i \cong n \cdot F \quad (2)$$

gdzie:

- $n$  – liczba ziaren w próbce ścinania, umieszczonych w przyrządzie,
- $F$  – średnia powierzchnia ziarna.

### 2.2. Program badań

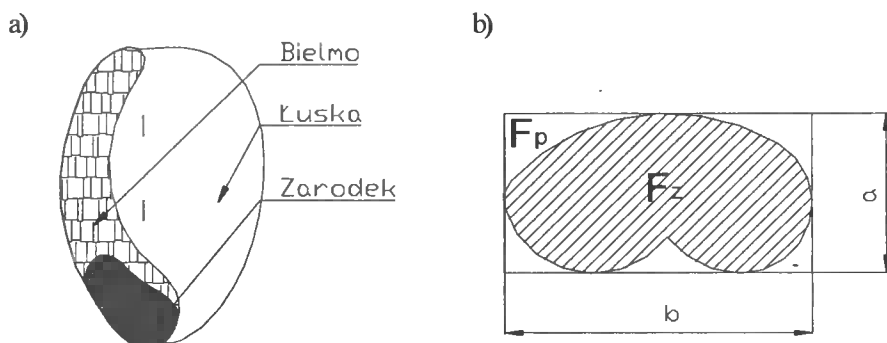
Próbę ścinania przeprowadzono w następujących warunkach:

Do badań przyjęto trzy rodzaje ziarna pszenicy. Pierwszy – ziarna pszenicy losowo wybrane. Drugi – ziarna wyselekcjonowane według kryterium szklistości Trzeci – ziarna pszenicy dobrane pod względem jednakowych wymiarów.

Dla opracowania statystycznego wyników badań każdą z prób powtórzono pięciokrotnie w ustalonych warunkach.

### 2.3. Charakterystyka budowy ziarna z punktu widzenia cech mechanicznych

Budowę ziarna pszenicy przedstawiono na rys. 1. W przekroju wzdłużnym wyróżnia się zarodek, bielmo i łuskę. Jedną z charakterystycznych cech bielma – po dokonaniu przekroju ziarna pszenicy – jest szklistość lub mączystość. Cecha powyższa związana jest z barwą oraz twardością. Barwa biała charakterystyczna jest dla ziarna mączystego zawierającego dużo skrobi, ale mało białka, natomiast barwa szara z połyskiem typowa jest dla ziarna szklanego, twardego i bogatego w białko.



Rys. 1. Przekrój ziarna pszenicy: a) przekrój wzdłużny, b) przekrój poprzeczny [6]

Szklistość decyduje o wartości technologicznej ziarna, gdyż wiąże się to z dużą zawartością białek glutenowych, a więc decyduje w dużym stopniu o wartości wypiekowej pszenic chlebowych, które są szczególnie poszukiwane i wysoko cenione [6].

Na podstawie wymiarów poprzecznego przekroju ziarna (rys. 1b) obliczono pole jego przekroju według wzoru:

$$F = a b \zeta \quad (3)$$

gdzie:

a, b – wymiary charakterystyczne,

$\zeta$  – współczynnik wypełnienia zdefiniowany jako stosunek przekroju ziarna  $F_z$  do pola prostokąta o bokach a i b ( $F_p = a \times b$ )

$$\zeta = \frac{F_z}{F_p} \quad (4)$$

Protokoły pomiarów przekrojów ziarna zestawiono w pracy [7] (ze względu na dużą liczbę danych – 1500 – w artykule nie zamieszczono szczegółowych zestawień). Dla przykładu tablica 1 przedstawia protokół pomiarów dla ziaren mieszanych (mączysto-szklistych) podczas jednej próby ścinania.

Tablica 1. Wymiary charakterystyczne – ziarno rodzaj 1, próba a

Lp.	Wymiar charakterystyczny		Przekrój F	Lp.	Wymiar charakterystyczny		Przekrój F
	a	b			a	b	
1	2,90	3,25	7,7285	51	2,95	2,95	7,3605
2	3,25	3,55	9,4608	52	2,90	3,25	7,7285
3	3,25	3,55	9,4608	53	2,60	2,55	5,4366
4	2,75	3,55	8,0053	54	2,80	3,70	8,4952
5	2,75	3,35	7,5542	55	2,75	3,65	8,2307
6	3,10	3,25	8,6615	56	2,65	2,90	6,3017
7	2,90	3,50	8,3230	57	3,00	3,75	9,2250
8	2,95	3,20	7,7408	58	2,95	3,30	7,9827
9	2,95	3,30	7,9827	59	2,70	2,55	5,6457
10	2,80	2,90	6,6584	60	2,75	3,45	7,7797
11	2,90	3,40	8,0852	61	3,05	3,65	9,1286
12	2,80	3,25	7,4620	62	2,45	3,15	6,3283
13	2,85	3,05	7,1278	63	2,80	3,25	7,4620
14	3,00	3,10	7,6260	64	2,85	3,20	7,4784
15	2,90	3,25	7,7285	65	3,00	3,75	9,2250
16	3,00	3,25	7,9950	66	2,60	3,20	6,8224
17	2,75	3,25	7,8925	67	3,00	3,50	8,6100
18	3,30	3,50	9,4710	68	2,75	3,25	7,3287
19	3,25	4,00	10,660	69	2,60	3,25	6,9290
20	2,80	3,30	7,5768	70	2,85	3,65	8,5300
21	2,70	3,15	6,9741	71	2,80	3,40	7,8064
22	2,85	3,80	8,8806	72	3,05	3,70	9,2537
23	2,60	3,05	6,5026	73	2,75	3,30	7,4415
24	2,90	2,90	6,8962	74	2,70	3,35	7,4169
25	2,70	3,15	6,9741	75	2,40	3,15	6,1992
26	3,25	3,50	9,3275	76	2,80	3,40	7,8064
27	3,25	3,80	10,127	77	2,70	3,40	7,5276
28	3,25	3,70	9,8605	78	2,65	3,15	6,8449
29	2,80	3,15	7,2324	79	3,00	3,60	8,8560
30	3,25	3,65	9,7275	80	2,75	3,35	7,5542
31	3,10	3,20	8,1344	81	2,75	3,20	7,2160
32	3,20	3,55	9,3152	82	2,45	3,00	6,0270
33	2,90	3,55	8,4419	83	2,70	3,15	6,9741
34	3,00	2,65	6,5190	84	2,95	3,00	7,2570
35	2,80	3,30	7,5768	85	2,80	3,40	7,8064
36	2,85	3,30	7,7121	86	2,90	3,15	7,4907
37	2,90	2,95	7,0151	87	2,60	3,05	6,5026
38	2,90	3,35	7,9663	88	2,70	3,15	6,9741
39	2,95	3,20	7,7408	89	3,00	3,35	8,2410
40	3,00	3,25	7,9950	90	2,80	2,90	6,6584
41	2,70	3,35	7,4169	91	2,85	3,30	7,7121
42	2,70	2,85	6,3099	92	3,15	3,35	8,6530
43	2,75	2,60	5,8630	93	2,45	3,15	6,3283
44	3,00	3,50	8,6100	94	2,70	3,55	7,8597
45	2,80	2,90	6,6584	95	2,40	2,90	5,7072
46	2,85	3,70	8,6469	96	2,85	3,45	8,0626
47	2,70	3,10	6,8634	97	2,70	3,15	6,9741
48	2,95	3,10	7,4989	98	3,00	3,20	7,8720
49	2,90	3,25	7,7285	99	2,50	2,95	6,0475
50	3,00	3,30	8,1180	100	3,05	2,90	7,2529
						Σ	770,21 mm <sup>2</sup>

## 2.4. Próbkki do badań

Losowo pobrano ziarno pszenicy trzech rodzajów: ziarno mączysto-szkliste o różnych wymiarach, ziarno szkliste również o różnych wymiarach oraz ziarno mączysto-szkliste segregowane według wielkości. Ziarno pszenicy do badań uzyskano z Zakładu Badawczego Przemysłu Piekarskiego sp. z o. o. w Bydgoszczy.

## 2.5. Opis stanowiska badawczego

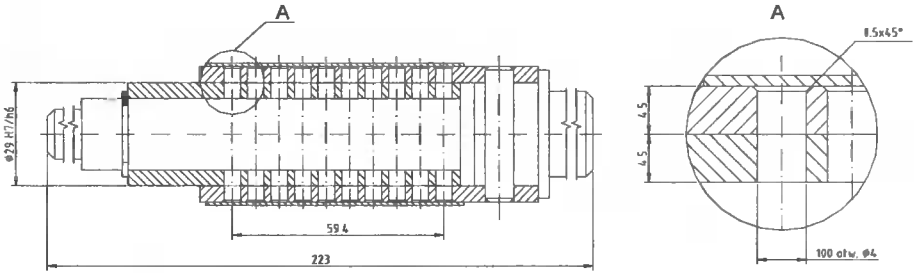
Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy INSTRON. Układ maszyny składa się z komputera pozwalającego na sterowanie próbą wytrzymałościową według założonego programu. Do rejestracji wyników prób zastosowano komputer klasy PC z odpowiednim oprogramowaniem.

Podstawowe dane techniczno-użytkowe serwo-hydraulicznej maszyny wytrzymałościowej INSTRON 8501:

- sterowanie cyfrowe,
- zakres obciążeń:
  - statyczne  $\pm 120$  kN,
  - zmienne  $\pm 100$  kN przy częstotliwości wynikającej z zastosowanej pompy – 45 l/min,
- przemieszczenie tłoka –  $\pm 50$  mm,
- przestrzeń robocza – 1132 x 562 mm,
- możliwość jednoczesnego pomiaru siły, przemieszczenia i odkształcenia,
- możliwość sterowania każdym z kanałów pomiarowych,
- możliwość zadawania obciążeń :
  - monotonicznych typu „rampa” i „trapez”,
  - zmiennych stałoamplitudowych,
  - zmiennych nieregularnych-pseudolosowych (losowych),
- możliwość rejestracji danych z każdego kanału w różnych trybach,
- możliwość sterowania:
  - z konsoli,
  - z poziomu komputera zewnętrznego poprzez GPIB,
    - z wykorzystaniem programów standardowych,
    - z wykorzystaniem programów oryginalnych,
- wyjścia pomiarowe analogowe i cyfrowe.

Ścinanie ziaren następuje przez względne przesunięcie części roboczych przyrządu z wykonanymi otworami na ziarno i w płaszczyźnie styku z ukształtowanymi krawędziami tnącymi. Demontaż części roboczych przyrządu powinien zapewniać zabezpieczenie ściętych ziaren przed wypadaniem z gniazd. Konieczność oceny przekrojów ścinania wymaga dostępu do ziaren celem bezpośredniej obserwacji ich przekrojów po próbie ścinania [7].

Badania przeprowadzono stosując przyrząd, którego opis ogólny zamieszczono w pracach [7, 9]. Niżej podano szczegółowe dane dotyczące tego przyrządu, które pokazano na rys.2.



Rys. 2. Przyrząd do technologicznej próby ścinania [7, 9]

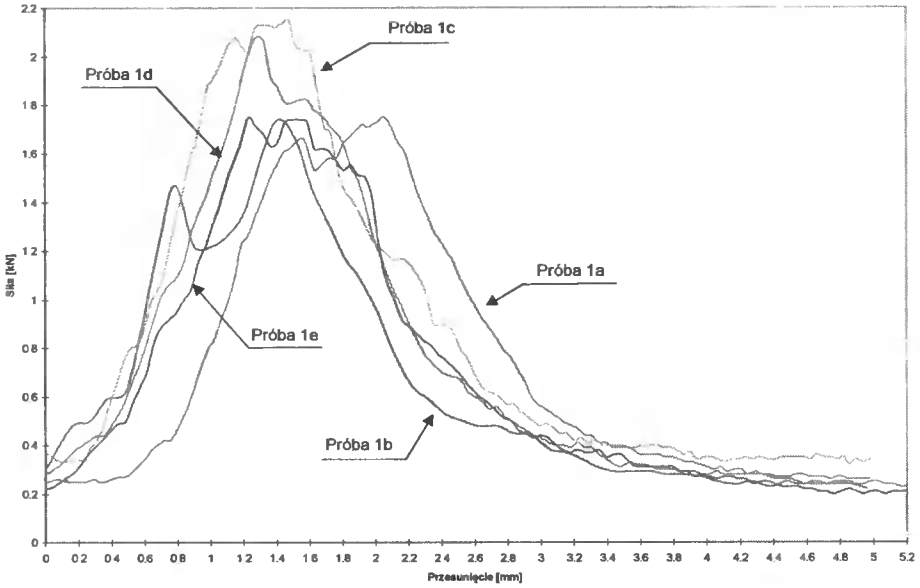
### 3. WYNIKI BADAŃ

Tablica 2 zawiera informacje dotyczące : rodzaju ziarna, numeru próby, wartości maksymalnej siły tnącej, sumarycznego przekroju 100 ziaren, obliczonego według wzoru (1), wytrzymałości na ścinanie oraz procentowego udziału ziaren szklistych w próbce 100 ziaren.

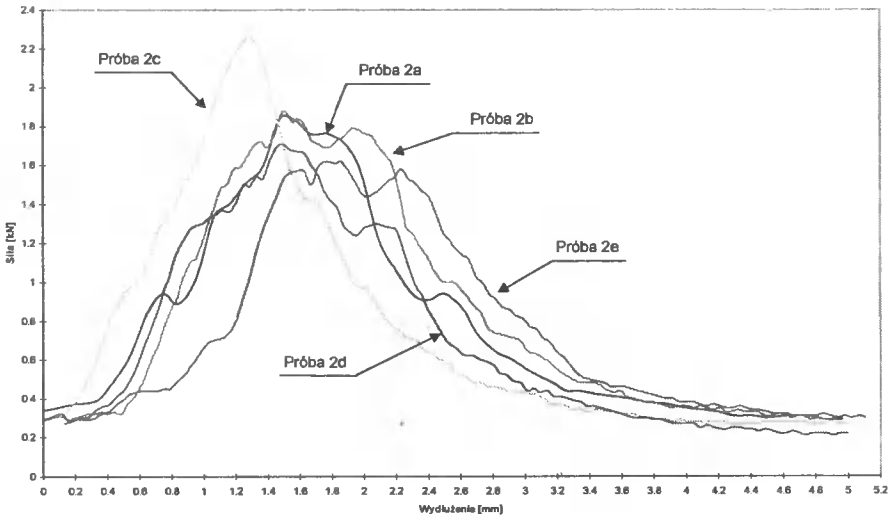
Tablica 2

Rodzaj ziarna	Lp. próby	Maksymalna siła tnąca P [kN]	Suma przekroju Ziaren $\Sigma F_i$ [mm <sup>2</sup> ]	Wytrzymałość na ścinanie $R_t$ [MPa]	Procent Szklistość $U_i$ [%]
1	a	1,50	770,21	1,95	18
	b	1,52	779,13	1,95	20
	c	1,81	792,52	2,28	32
	d	1,85	801,64	2,30	28
	e	1,53	772,81	1,98	21
2	a	1,55	823,32	1,88	57
	b	1,59	812,68	1,96	62
	c	1,99	844,34	2,36	79
	d	1,49	828,76	1,80	60
	e	1,35	805,15	1,68	64
3	a	1,99	882	2,26	28
	b	1,59	882	1,80	21
	c	1,32	882	1,50	16
	d	1,87	882	2,12	30
	e	1,55	882	1,76	23

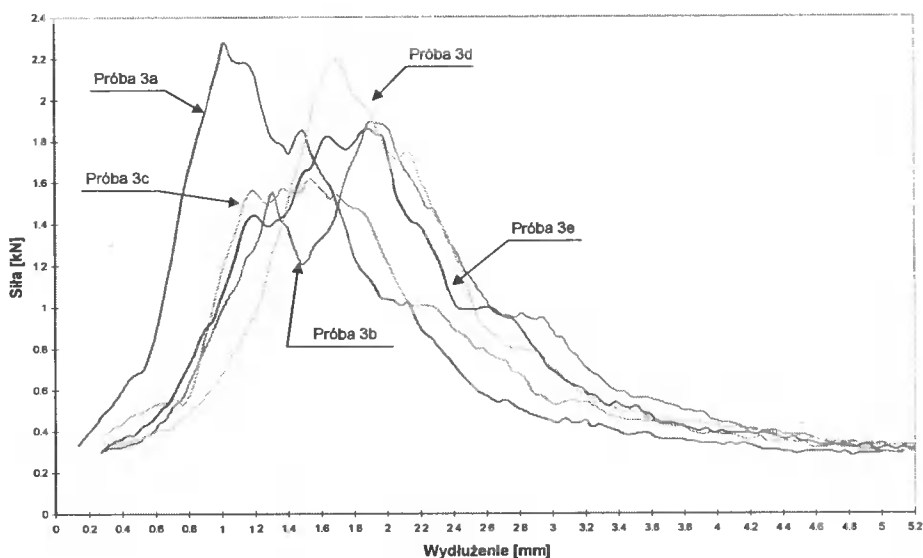
Rysunki 3, 4 i 5 przedstawiają wykresy ścinania dla poszczególnych rodzajów ziaren pszenicy. Wykresy te ilustrują zmianę siły tnącej w funkcji przemieszczenia tulei tnących przyrządu.



Rys. 3. Wykres ścinania pszenicy mieszanej-rodzaj I [7]



Rys. 4. Wykres ścinania pszenicy szklistej-rodzaj II



Rys. 5. Wykres ścinania pszenicy mieszanej segregowanej według wielkości-rodzaj III

## 4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

### 4.1. Analiza statystyczna

Z danych zawartych w tablicy 2 wynika znaczny rozrzut wytrzymałości na ścinanie i udziału ziaren szklanych w poszczególnych rodzajach ziarna pszenicy.

Z danych zawartych w kolumnie 5 (wartości  $R_t$ ) można wyznaczyć:

- wartość średnią  $\bar{R}_t$  ze wzoru:

$$\bar{R}_t = \frac{1}{n} \sum_i^n R_{ti} = 1,97 \text{ MPa} \quad (5)$$

- odchylenie standardowe  $s_R$  oblicza się ze wzoru:

$$s_R = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\bar{R}_t - R_i)^2} = 0,3027 \text{ MPa} \quad (6)$$

Wartość średnia i wartość odchylenia standardowego, a szczególnie stosunek odchylenia standardowego  $s_R$  do wartości średniej wytrzymałości na ścinanie świadczy o niedużym rozrzucie wyników badań dla ogółu przeprowadzonych testów:

$$\gamma = \frac{s_R}{\bar{R}_t} = \frac{0,3027}{1,97} = 0,157 \quad (7)$$



Podobne parametry statystyczne można wyznaczyć dla udziału procentowego ziaren szklitych pszenicy  $U_i$  %:

– wartość średnia  $\bar{U}$  z wzoru:

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_i^n U_i = 37 \% \quad (8)$$

– odchylenie standardowe  $s_U$ :

$$s_U = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\bar{U} - U_i)^2} = 20 \% \quad (9)$$

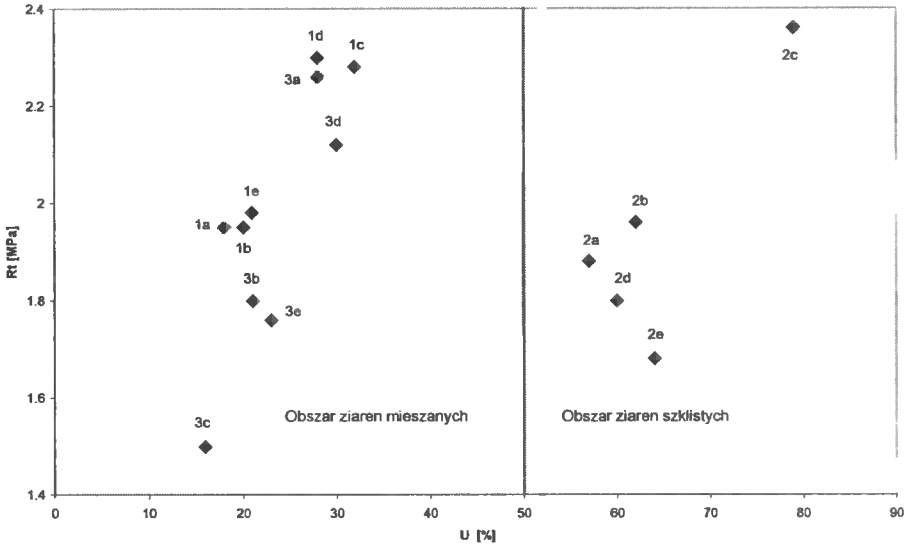
Podobnie jak w przypadku wytrzymałości na ścinanie wartość średnia i wartość odchylenia standardowego, a szczególnie stosunek odchylenia standardowego  $s_U$  do wartości średniej procentowego udziału ziaren szklitych  $\bar{U}$  wskazuje na znaczny rozrzut wyników:

$$\gamma = \frac{s_U}{\bar{U}} = \frac{0,2}{0,37} = 0,54 \quad (10)$$

Powyższe stwierdzenie wskazuje na potrzebę oddzielnej analizy wyników badań dla prób z ziarnami mieszanymi i szklitymi.

#### 4.2. Analiza zależności wytrzymałości na ścinanie $R_{fi}$ od udziału ziaren szklitych $U_i$

Na podstawie danych zawartych w tabeli 2 opracowano rys. 6. Na osi odciętej wykresu podano procentowy udział ziaren szklitych w poszczególnych próbach, na osi rzędnych wartość wytrzymałości na ścinanie dla poszczególnych prób. Wykres podzielono na dwa obszary: obszar ziaren mieszanych ( $0 < U \leq 50$  %) i obszar ziaren szklitych ( $50 \% < U \leq 100$  %). Wykres ten sporządzono w celu analizy zależności wytrzymałości na ścinanie  $R_{fi}$  od udziału ziaren szklitych  $U_i$ . Losowy rozkład punktów w poszczególnych obszarach utrudnia statystyczne opracowanie wyników, którego celem byłoby wyznaczenie funkcji regresji dla przedstawionych zbiorów wyników. Fakt ten wskazuje na brak wyraźnej zależności wytrzymałości ziaren na ścinanie  $R_{fi}$  od procentowego udziału ziaren szklitych w próbie. Dlatego istnieje potrzeba dalszych badań w tym w warunkach dokładnej selekcji ziaren ze względu na ich szklistość.



Rys. 6. Zależność wytrzymałości na ścinanie od udziału ziaren szklistych w próbce

## 5. WNIOSKI

### 5.1. Wnioski z badań

1. W wyniku przeprowadzonych badań dla trzech zróżnicowanych rodzajów ziaren pszenicy wyznaczono ich wytrzymałość na ścinanie  $R_t$  jako średnią dla 100 ziaren. Średnia wartość wszystkich wytrzymałości  $R_t = 1,97$  MPa, odchylenia standardowe  $s_R = 0,3027$ .
2. Rozrzut wytrzymałości wskazuje na zadowalającą jednorodność wytrzymałości. Świadczy o tym mała wartość współczynnika zmienności  $\gamma = 0,157$ .
3. Duży rozrzut udziałów procentowych szklistości ( $\gamma_U = 0,54$ ) wskazuje na konieczność analizy w poszczególnych rodzajach ziaren podzielonych ze względu na ich szklistość.
4. Dane pokazane na rys. 6 wskazują na możliwość określenia zależności wytrzymałości na ścinanie  $R_t$  od szklistości w poszczególnych rodzajach ziaren (mieszane, szkliste). Jednakże niewielka liczba wyników wskazuje na potrzebę kontynuacji badań, celem określenia zależności funkcyjnej pomiędzy wymienionymi czynnikami.

### 5.2. Wnioski do dalszych badań

1. Wykresy ujmujące zmianę siły od przesunięcia umożliwiają dokonanie analizy w ujęciu energetycznym, co jest ważne ze względu na ocenę oporów ścinania w procesach rozdrabniania ziaren. Zagadnienie to wymaga opracowania numerycznej metody całkowania eksperymentalnie wyznaczonych funkcji.
2. Wpływ niejednorodności ziarna wskazuje na potrzebę przeprowadzenia badań ziarna selekcyjowanego.

3. Różne wymiary ziaren w stosunku do średnic otworów przyrządu mogą mieć wpływ na przebieg ścinania, co wskazuje na potrzebę prac projektowych, modernizacyjnych przyrządu do ścinania.
4. Na proces ścinania może mieć istotny wpływ szybkość ścinania i jej przebieg (np. w postaci drgań), co może być wykazane w odrębnym programie badań.

## LITERATURA

- [1] Flizikowski J.: Badania i podstawy konstrukcyjne wielotarczowych rozdrabniaczy nasion. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1990.
- [2] Flizikowski J.: Projektowanie środowiskowe maszyn. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [3] Flizikowski J.: Rozdrabnianie tworzyw sztucznych. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [4] Praca zbiorowa: Ćwiczenia technologii zbóż i strączkowych jadalnych. Wyd. Uczeln. AR, Poznań 1973.
- [5] Praca zbiorowa pod red. T. Jakubczyka i T. Habera: Analiza zbóż i przetworów zbożowych. Skrypty Akademii Rolniczej, Warszawa 1981.
- [6] Sadkiewicz K., Sadkiewicz J.: Urządzenia pomiarowo-badawcze dla przetwórstwa zbożowo-mącznego. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [7] Szala G.: Praca dyplomowa – Badania twardości i wytrzymałości ziarna pszenicy, 1999.
- [8] Szala G.: Metody badań cech wytrzymałościowych ziaren zbóż. Zeszyty Naukowe nr 222, Mechanika 48, Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 2000.
- [9] Szala G.: Przyrząd do technologicznej próby ścinania, opis patentowy UPRP 2000.

## WHEAT GRAIN STRENGTH RESEARCH METHODS

### Summary

The paper describes the methodology of wheat grain strength research with a newly-developed device combined with INSTRON tester. The results showed that in all kinds of shear strength trials the scatter was not high ( $R_T = 1.97$  MPa,  $\gamma_R = 0.157$ ). The grain cross-section analysis indicates a substantial glassiness of the grain tested ( $\gamma_U = 0.54$ ), which calls for further research into post-selection grain glassiness. The result analysis has paved the way for further testing, energy analysis in specific.

*Key words:* wheat grain, shear trial



## METODOLOGIA BADANIA WRAŻLIWOŚCI PROGNOZY STANU TECHNICZNEGO MASZYN

Henryk Tylicki<sup>1</sup>, Jacek Różycki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego, 85-796 Bydgoszcz

<sup>2</sup>Zakład Techniki Cyfrowej  
Wydział Telekomunikacji i Elektrotechniki ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego, 85-796 Bydgoszcz

W pracy rozpatrzono problem wrażliwości prognozy w zależności od czynników eksploatacyjnych maszyn. Przedstawiono koncepcję programu symulacyjnego do badania wrażliwości prognozy stanu maszyn. Przeprowadzone wstępne badania pozwalają na sformułowanie wniosków dotyczących potrzeby i możliwości badania wrażliwości prognozy stanu maszyn w aspekcie wykorzystania metodyki wyznaczania prognozy w dynamicznym systemie eksploatacji maszyn.

*Słowa kluczowe:* diagnostyka techniczna, prognozowanie stanu maszyn, wrażliwość prognozy, metodologia badania wrażliwości prognozy stanu maszyn

### WSTĘP

Prognozowanie stanu technicznego maszyn na podstawie zmiany wartości parametrów diagnostycznych [1], odnoszące się do dłuższego okresu wiąże się z ryzykiem, że prognoza oparta będzie na zdezaktualizowanym modelu, a więc takim którego elementy (optymalny zbiór parametrów diagnostycznych i optymalna metoda prognozowania) nie odzwierciedlają już rzeczywistych związków między stanem technicznym zespołów maszyn a prognozą.

Optymalna prognoza powinna więc być stabilna w całym okresie prognozowania stanu maszyny i stąd konieczność badania jej wrażliwości, w zależności od czynników charakterystycznych dla eksploatacji maszyn.

Schemat wyznaczania prognozy składa się z [2]:

- a) wyboru optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych;
- b) wyboru optymalnej metody prognozowania;
- c) oceny jakości prognozy.

Między wymienionymi etapami istnieje ścisła więź, która polega na tym, że każdy poprzedni etap wpływa na następny. Dlatego, chcąc poddać analizie wrażliwość prognozy należy odnieść ją zarówno do poszczególnych etapów jak także uwzględnić ją w występujących między nimi zależnościach.

Dlatego abstrahując od działania wszystkich czynników określa się optymalny zbiór parametrów diagnostycznych ze względu na niektóre kryteria. Pozostałe traktuje się jako czynniki wpływające na stabilność tego zbioru. Uważa się, że najważniejszymi wśród nich są:

- a) minimalna liczba elementów szeregu czasowego niezbędna do uruchomienia predykcji;
- b) zmienna niezawodność zespołów maszyn w czasie jego eksploatacji, wynikająca, np. z wymiany lub regulacji zespołów oraz zmiennych warunków eksploatacji (np. warunki pracy, warunki klimatyczne, jakość obsługiwaniana, inne), powodująca skokowe zmiany wartości parametrów diagnostycznych;
- c) maksymalna wartość kroku czasowego;
- d) liczebność optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych.

Niezależnie od wyboru optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych, na podstawie którego wyznacza prognozę, ważną rolę odgrywa także wybór metody prognozowania. Podobnie jak w poprzednim przypadku optymalną metodę prognozowania wybiera się na podstawie niektórych kryteriów. Pozostałe traktuje się jako czynniki na nią wpływające. Uważa się, że najważniejszymi wśród nich są:

- a) horyzont prognozy;
- b) minimalna liczba punktów czasowych niezbędna do uruchomienia predykcji;
- c) liczba punktów czasowych przed czasem  $t_0$  przyjmowana do obliczenia prognozy;
- d) zmienna niezawodność zespołów maszyn w czasie eksploatacji powodująca skokowe zmiany wartości parametrów diagnostycznych.

Przystępując więc do wyznaczania prognozy w postaci terminu diagnozowania zespołów maszyn natrafia się na problemy, które sprowadzają się do następujących pytań:

- a) czy optymalny zbiór parametrów diagnostycznych jest stabilny, czy też wykazuje istotne zmiany a jeśli tak to jaki jest charakter tych zmian w zależności od przedstawionych czynników;
- b) w jaki sposób na stabilność optymalnej prognozy wpływają czynniki charakterystyczne dla eksploatacji maszyn: wartość horyzontu prognozy (o którym może decydować użytkownik maszyny), zmienne warunki eksploatacji i zmienna niezawodność zespołów maszyny.

Trafne rozwiązanie tych problemów jest niezbędne do efektywnego prognozowania stanu maszyn i wymusza konieczność badania wrażliwości optymalnej prognozy na powyższe czynniki. Jeżeli badanie wykazuje, że uzyskana prognoza jest stabilna, wówczas można ją wykorzystać w dynamicznym systemie eksploatacji maszyny. W przeciwnym wypadku należy podjąć decyzję o modyfikacji założeń i ograniczeń procesu wyznaczania prognozy, np. poprzez nieuwzględnienie czynników, wywołujących niestabilność rozwiązania i tym samym zmniejszających uniwersalność otrzymanego rozwiązania.

## 1. METODY BADANIA WRAŻLIWOŚCI PROGNOZY MASZYN

Przedstawiona konieczność badania stabilności prognozy wymaga metod, które pozwolą określić jej wrażliwość na przedstawione czynniki. W tym celu, po przeprowadzeniu modyfikacji niektórych metod badania stabilności modeli ekonometrycznych [3, 4], opracowano następujące metody badania wrażliwości optymalnej prognozy. Są to:

### 1.1. Metoda badania wpływu zmiennej niezawodności zespołów maszyn

Zmienność niezawodności zespołów maszyn, wynikająca np. z ich regulacji lub wymiany jest pierwszym czynnikiem, który należy uwzględnić:

#### Przy wyborze optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych

Podstawą wnioskowania w przypadku wrażliwości optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych jest określenie stałości tego rozwiązania w funkcji przebiegu (dla kolejnych elementów szeregu czasowego). Stałość rozwiązań świadczy o braku wrażliwości, zaś zmienność rozwiązań w funkcji przebiegu wymusza konieczność uwzględnienia wpływu zmiennej niezawodności zespołów maszyn na optymalny zbiór parametrów diagnostycznych w każdym n-tym elemencie szeregu czasowego. Wówczas proponuje się obliczyć wartości współczynnika korelacji liniowej i przyjmuje to rozwiązanie dla którego spełniona jest nierówność:

$$r_{j,n} \geq r_j^{\min} \quad (1)$$

gdzie:

$r_j^{\min}$  – przyjęta przez użytkownika minimalna wartość  $r_j$ , np.  $r_j^{\min} = 0.9$

#### Przy wyborze optymalnej metody prognozowania

Podstawą wnioskowania na temat wrażliwości optymalnej metody prognozowania jest określenie zmienności tego rozwiązania w funkcji przebiegu (czasu pracy) maszyny. Stałość rozwiązań świadczy o braku wrażliwości, zaś niestałość rozwiązań w funkcji przebiegu wymusza konieczność uwzględnienia wpływu zmiennej niezawodności zespołów maszyny na optymalną prognozę w każdym elemencie szeregu czasowego poprzez wyznaczenie prognozy, według kryterium minimalnego błędu prognozy. Występowanie tego samego rozwiązania przed i po czynnościach regulacyjnych lub naprawczych oraz w zmiennych warunkach eksploatacji preferuje do stosowania to rozwiązanie.

### 1.2. Metoda badania wpływu wartości horyzontu prognozy

Horyzont prognozy  $\tau$  jest wielkością, która istotnie wpływa na prognozę [4]. Podstawą wnioskowania na temat wrażliwości optymalnej prognozy jest określenie stałości wartości błędu prognozy  $e_p$  dla różnych wartości horyzontu prognozy  $\tau$ .

Stałość wartości  $e_p$  świadczy o braku wrażliwości, zaś niestałość wymusza konieczność określenia wartości horyzontu prognozy  $\tau$  poprzez przyjęcie maksymalnej wartości dopuszczalnej błędu prognozy  $e_p$  według zależności:

$$\tau^* = \tau_{n^*} \quad n^* = 1, \dots, N \quad \wedge \quad e_p(\tau_{n^*}) < e_p^{\max} \quad (2)$$

Ponadto za pracą [3] wprowadza się ograniczenie odnośnie wartości  $\tau$  w postaci:

$$\tau \leq 3\Delta t \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta t$  – wartość kroku czasowego.

### 1.3. Metoda badania wpływu liczby elementów szeregu czasowego na prognozę

Rozpatruje się dwa problemy:

#### Określenie minimalnej liczby elementów szeregu czasowego

Minimalna liczba elementów niezbędna do uruchomienia predykcji jest następnym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę przy wyznaczaniu optymalnej prognozy. Jako podstawę wnioskowania proponuje się przyjąć:

- a) minimalną wartość elementów szeregu czasowego, niezbędną dla obliczenia prognozy według określonej metody prognozowania,  $n_p$ ;
- b) maksymalną wartość horyzontu prognozy,  $\tau = 3\Delta t$ .

Minimalną liczbę punktów czasowych  $n_{\min}$  oblicza się wówczas z wyrażenia:

$$n_{\min} \geq n_p + 3 \quad (4)$$

Dodatkowo należy sprawdzić ostatni  $n$ -ty element minimalnej liczby elementów szeregu czasowego poprzez określenie, czy spełniona jest nierówność (1). W przypadku negatywnego wyniku sprawdzenia, dobór elementów kontynuuje się do chwili otrzymania pozytywnego wyniku.

#### Określenie liczby punktów czasowych przed czasem $t_b$

Jako podstawę do wnioskowania o liczbie elementów przed czasem  $t_b$  przyjmowaną do obliczeń wyznaczania prognozy proponuje się przyjąć minimalną liczbę elementów  $n_{\min}$  (3) według zależności:

$$n_{\min}(t_b) \geq n_p \quad (5)$$

Dodatkowo sprawdza się ostatni  $n$ -ty element niezbędnej liczby elementów  $n_{\min}(t_b)$  poprzez określenie, czy spełniona jest nierówność:

$$e_p(n_{\min}(t_b)) < e_p^{\max} \quad (6)$$

gdzie:

$e_p^{\max}$  – maksymalna dopuszczalna wartość błędu prognozy akceptowana przez użytkownika, np.  $e_p^{\max} < 10\%$

W przypadku negatywnego wyniku sprawdzenia, dobór elementów szeregu czasowego kontynuuje się do chwili otrzymania pozytywnego wyniku sprawdzenia.

### 1.4. Metoda badania wpływu liczności optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych na prognozę

W wyniku optymalizacji zbioru parametrów diagnostycznych otrzymuje się optymalny zbiór parametrów diagnostycznych. W zależności od wyniku rozwiązania może być to zbiór jednoelementowy lub zbiór wieloelementowy. Dla potrzeb obliczenia prognozy proponuje się obliczenie wag ważności parametrów diagnostycznych  $w_j$  według zależności:



$$w_j = 1 - \frac{r_{ji}}{\sum_{j=1}^J r_{ji}} \quad (7)$$

gdzie:

$r_{ji}$  – odległość od punktu idealnego [2].

W przypadku zbioru jednoelementowego wartość  $w_j=1$ , w przypadku zbioru wieloelementowego wartość  $w_j \in (0,1)$ . W celu obliczenia optymalnej prognozy  $DP^o$  proponuje się skorzystać z zależności:

$$DP^o = \frac{\sum_{j=1}^J DP_j^o}{\sum_{j=1}^J w_j} \quad DP_j^o = \langle t_{jb1}^o \rangle \quad (8)$$

Podstawą wnioskowania na temat wrażliwości optymalnej prognozy jest określenie stałości wartości błędu prognozy  $e_p(6)$  dla różnej liczebności optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych  $Y^o$ . Stałość wartości  $e_p$  świadczy o braku wrażliwości, niestałość zaś wymusza konieczność zadeklarowania poziomu akceptacji zbioru  $Y^o$  poprzez przyjęcie maksymalnej dopuszczalnej wartości błędu prognozy  $e_p$  według zależności:

$$e_p(Y^o) < e_p^{\max} \quad (9)$$

W przypadku negatywnego wyniku sprawdzenia, dobór parametrów diagnostycznych realizuje według innych kryteriów, np. według indywidualnych preferencji użytkownika.

## 2. PROGRAM SYMULACYJNY DO BADANIA WRAŻLIWOŚCI PROGNOZOWANIA STANU MASZYN

W celu zautomatyzowania pracy opracowano projekt programu symulacyjnego do badania wrażliwości prognozowania stanu maszyn.

### 2.1. Założenia funkcjonalne

Wrażliwość prognozy jest badana w zależności od:

- wyboru horyzontu prognozy;
- liczby pomiarów sygnałów diagnostycznych przed terminem badania przyjmowanym do obliczenia prognozy;
- minimalnej liczby punktów czasowych niezbędnych do uruchomienia predykcji;
- zmiennej niezawodności analizowanych maszyn spowodowanych, np. naprawą;
- częstotliwości pomiarów sygnałów diagnostycznych (wielkości kroku czasowego);
- wyboru określonych sygnałów diagnostycznych.

Program umożliwi wprowadzanie następujących informacji:

- struktury analizowanych maszyn wraz z opisem dotyczącym poszczególnych podzespołów,

- b) wartości sygnałów diagnostycznych
- c) określenie parametrów badania takich, jak:
  - wartości graniczne sygnałów,
  - horyzont prognozy,
  - przedział ufności,
  - numer badania,
  - liczby pomiarów sygnałów diagnostycznych przed terminem badania przyjmowanym do obliczenia prognozy.

Program umożliwia generowanie zestawień (w tym zestawień tabelarycznych i wykresów) określających wartości:

- a) błędów prognozy;
- b) promienia przedziału granicy tolerancji prognozy;
- c) wartości terminu prognozowania.

## 2.2. Moduły programu

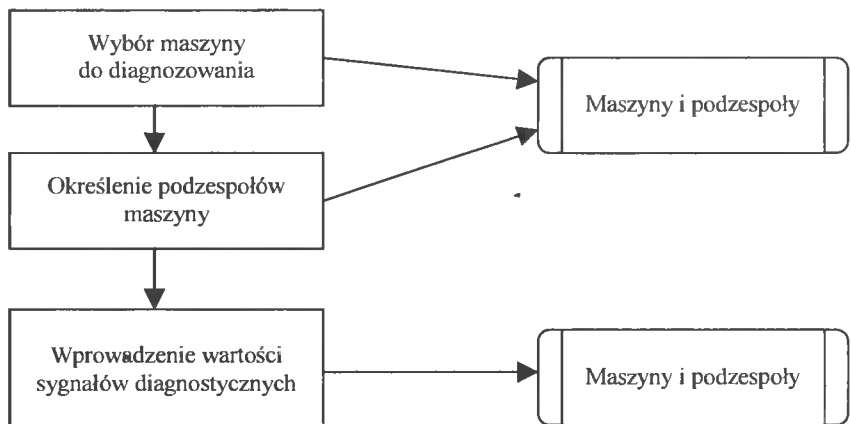
Program podzielony jest na następujące moduły:

- a) wprowadzania danych zewnętrznych;
- b) przeprowadzania badań (symulacji);
- c) procedur obliczeniowych;
- d) raportów.

## 2.3. Diagram przepływu danych

### Moduł wprowadzania danych zewnętrznych

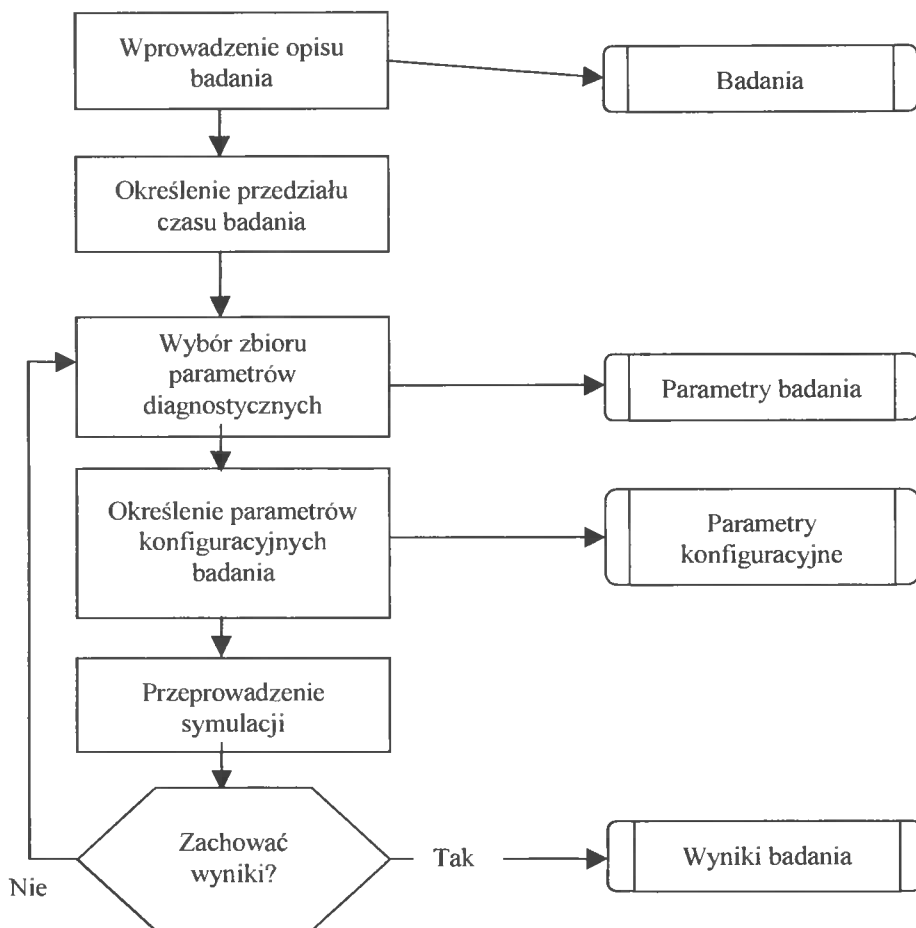
Umożliwia wprowadzanie danych o wybranych maszynach i podzespołach maszyn. Dane przechowywane są w formie drzewa, którego wierzchołkami są maszyny, z jednym poziomem zagłębienia, w których przechowywane są dane dotyczące podzespołów. Dla każdego wierzchołka liścia mogą być wprowadzane wartości parametrów diagnostycznych o określonej nazwie.



Rys. 1. Przepływ danych w module wprowadzania danych zewnętrznych

### Moduł przeprowadzania badań

Umożliwia przeprowadzanie badań symulacyjnych. Dla wybranych sygnałów diagnostycznych określa się parametry konfiguracyjne – po przeprowadzeniu symulacji wyniki badania mogą zostać zachowane.



Rys. 2. Przepływ danych w module przeprowadzania badań

### 3. BADANIE WRAŻLIWOŚCI PROGNOZY NA PRZYKŁADZIE ZESPOŁÓW POJAZDU

Celem badań było określenie zależności prognozy od wartości horyzontu prognozy  $\tau$ . Przedmiotem badań były zespoły i układy samochodów STAR 29 i STAR 200 oraz układy i zespoły silnika UTD-20 [2]. Zakres badań obejmował pomiary wartości parametrów diagnostycznych zespołów i układów samochodu oraz silnika. Charakteryzo-

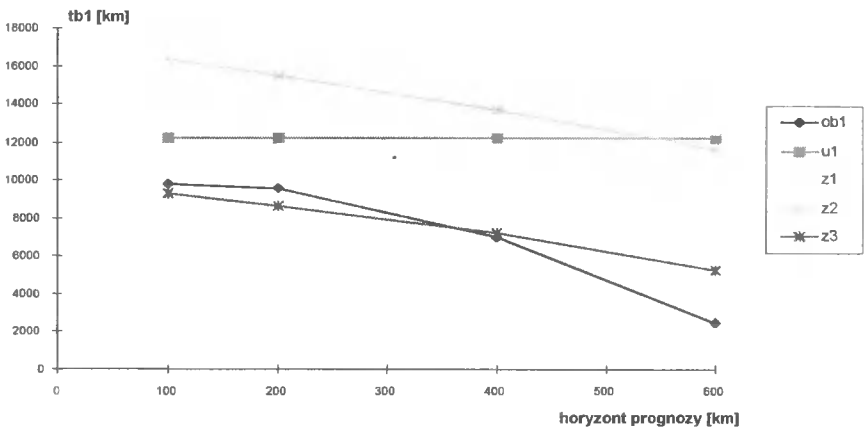
wały się one różnym przebiegiem w czasie rozpoczęcia badań, co umożliwiło zebranie wyników w zakresie przebiegu 1000-216000 km.

W celu określenia zależności optymalnej prognozy  $DP^o$  od wartości  $\tau$  przyjęto do badań następujące wartości horyzontu prognozy:

a) dla silnika UTD-20(ob1), jego układów (u1) i zespołów (z1, z2, z3):  $dt_1 = 100$  km,  $dt_2 = 200$  km,  $dt_3 = 400$  km,  $dt_4 = 600$  km;

Przyjęte wartości stanowią odpowiednio 50 %, 100 %, 150 % i 300 % wartości średniego kroku czasowego w rozpatrywanych szeregach czasowych ( $t_1, t_b$ ).

Ponadto przyjęto współczynnik ufności  $1 - \gamma = 0.95$  i odpowiednio: wartość promienia przedziału granicy błędu prognozy  $r_{\sigma\tau}$  i termin diagnozowania  $t_{b1}$  (próg alarmowy) [1]. Interpretację graficzną zmiany wartości elementów  $DP^o$  w zależności od różnych wartości horyzontu prognozy dla silnika UTD-20 przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 3. Zmiana wartości terminu kolejnego diagnozowania  $t_{b1}$  w zależności od horyzontu prognozy  $\tau$

Analizując wyniki obliczeń oraz odpowiadające im interpretacje graficzne zmiany  $DP^o$  w zależności od horyzontu prognozy  $\tau$  (rys. 1) stwierdzono, że:

1. Zwiększenie wartości horyzontu prognozy  $\tau$  powoduje wzrost wartości promienia przedziału granicy tolerancji prognozy  $r_{\sigma\tau}$  i zmianę wartości terminu  $t_{b1}$  oraz nieznaczny wzrost błędu prognozy  $e_p$ .
2. Zmiana wartości horyzontu prognozy  $\tau$  w przypadku metody parametru uogólnionego (u1) nie powoduje zmiany prognozy, z wyjątkiem nieznacznej zmiany błędu prognozy  $e_p$ .
3. Największe zmiany  $DP^o$  występują dla grupy zespołów silnika UTD-20. Spowodowane może być to nierówną wartością kroku czasowego analizowanego szeregu czasowego, pozostałe obiekty badań (z równymi krokami czasowymi - obiekty grupy samochodów STAR) wykazują zmiany kilkuprocentowe.
4. Zwiększenie wartości horyzontu prognozy  $\tau$  zwiększa wartość błędu prognozy  $e_p$  oraz wartość promienia przedziału granicy tolerancji prognozy  $r_{\sigma\tau}$  co wymusza konieczność odwołania się do warunku (2) i przyjęcie przez użytkownika akceptowanej przez niego wartości horyzontu prognozy  $\tau^o$ .

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań wrażliwości optymalnej prognozy na przykładzie zespołów pojazdu stwierdzono:

1. Zmiana wartości horyzontu prognozy  $\tau$  powoduje, w przypadku wszystkich metod prognozowania z wyjątkiem metody parametru uogólnionego, zmianę wartości składników optymalnej prognozy  $DP^0$ . Wzrost wartości  $\tau$  powoduje:
  - a) wzrost wartości błędu prognozy  $e_p$ ;
  - b) wzrost wartości promienia przedziału granicy tolerancji prognozy  $r_G$ ;
  - c) zmniejszenie wartości terminu następnego diagnozowania i obsługiwanego  $t_{b1}$  maszyny.

Powoduje to konieczność, w przypadku przyjęcia  $\tau > \Delta t_k$  sprawdzenia, czy  $t_{b1} > t_b$ . W przypadku, gdy nierówność ta nie jest spełniona, należy zmniejszyć wartość  $\tau$ . Na podstawie analizy wyników, stwierdza się, że maksymalną wartością horyzontu prognozy  $\tau_{max}$  w myśl (2) jest  $\tau_{max} = 3 \Delta t_k$ .

2. Konieczne jest przeprowadzenie badań symulacyjnych wrażliwości prognozy na pozostałe czynniki sformułowane w punkcie 1 niniejszego opracowania, z ewentualnym rozszerzeniem badań na inne grupy maszyn.
3. Przedstawiona metodyka badania wrażliwości prognozy oraz wnioski z przeprowadzonych badań (wpływ horyzontu prognozy na optymalną prognozę) pozwalają sformułować tezę odnośnie potrzeby i możliwości badania wrażliwości prognozy stanu maszyn w aspekcie jej wykorzystania w dynamicznym systemie eksploatacji maszyn.

## LITERATURA

- [1] Tylicki H.: Conception of the optimization of devices technical condition forecasting process. Machine Dynamics Problems 9 (1994), Warszawa 1995.
- [2] Tylicki H.: Synteza optymalnej diagnozy prognostycznej zespołów pojazdu mechanicznego. Materiały seminarium IPM WAT, Warszawa: WAT 1996, s. 62-78.
- [3] Waszkiewicz L.: Weryfikacja procedur prognostycznych. PWE, Warszawa 1975.
- [4] Zeliaś A.: Teoria prognozy. PWE, Warszawa 1984.
- [5] Tylicki H., Różycki J.: Badania wrażliwości prognozy stanu technicznego maszyn. Materiały konferencji Forum Młodych' 2000, Bydgoszcz - Borówno 2000, s. 223-230.

## METHODOLOGY OF INVESTIGATING THE SENSIBILITY OF MACHINE TECHNICAL CONDITION PROGNOSIS

### Summary

The present paper examines the prognosis sensitivity methodology depending on the machine operation factors. It offers a simulation programme which is to measure the machine condition sensitivity prognosis. The preliminary investigation defines the need of and potential for machine condition prognosis sensitivity; application of prognosis-defining methodology in the dynamic machine operation system.

*Key words:* technical diagnostics, technical condition prognosis for machines, sensibility of prognosis, machine technical condition prognosis sensitivity-defining methodology

## PROBLEMY DIAGNOZOWANIA UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH MASZYN ROBOCZYCH I POJAZDÓW

Henryk Tylicki<sup>1</sup>, Leszek Surówka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. Prof. S. Kaliskiego, 85-796 Bydgoszcz

<sup>2</sup>CSCS,  
ul. Podchorążych 1, 64-920 Piła

W pracy przedstawiono charakterystykę układów hydraulicznych maszyn roboczych i pojazdów oraz określono zasady doboru parametrów diagnostycznych. Scharakteryzowano także niektóre cechy stanu oraz metody oceny stanu układów hydraulicznych.

*Słowa kluczowe:* układy hydrauliczne maszyn roboczych i pojazdów, diagnozowanie układów hydraulicznych, metody diagnozowania układów, parametry diagnostyczne układów

### WPROWADZENIE

Przeznaczenie współczesnych maszyn roboczych i pojazdów powoduje, że ich konstrukcje zbudowane z wielu układów, stanowiących oddzielne, ale współdziałające podsystemy działaniowe są znacznie skomplikowane. Stąd też, w aspekcie bezpieczeństwa i ekonomicznym eksploatacja tych obiektów musi być rozważna, wspierana umiejętnością przetwarzania i interpretacji sygnałów opisujących ich stan techniczny.

Układy hydrauliczne w tych obiektach często są tymi, od których zdatności w sposób istotny uzależnione jest funkcjonowanie całego obiektu. Przeznaczenie układów hydraulicznych związane jest z napędzaniem i sterowaniem zespołów maszyn, a także wspomaganie układów napędzanych np. siłą mięśni operatora. W układach tych obok hydrauliczny obok przenoszenia energii, spełnia szereg innych funkcji, które z kolei zależą od konstrukcji układów i właściwości fizyko-chemicznych samego oleju, np. smarowania, chłodzenia, ochrony przed korozją.

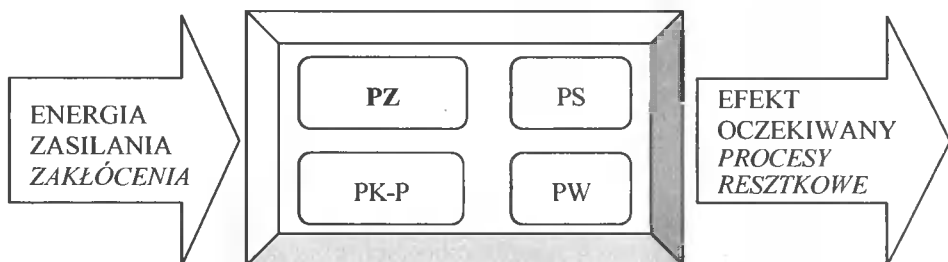
### 1. CHARAKTERYSTYKA UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

Konstrukcja układu hydraulicznego wynika z jego przeznaczenia, kalkulacji kosztów wytworzenia i eksploatacji, a także z założeń dotyczących charakteru pracy urządzenia. W systemie, którym jest każdy układ hydrauliczny wyróżnia się podsystemy (rys. 1):

- a) sterowania;
- b) zasilania;
- c) wykonawczy;
- d) kontrolno-pomiarowy.

Każdy blok układu hydraulicznego stanowiący oddzielny podsystem działaniowy, zbudowany jest z zespołów, których współdziałanie zapewnia spełnianie przypisanych mu funkcji. W poszczególnych blokach wyróżnia się:

- a) blok zasilania:
  - zbiorniki oleju,
  - filtry,
  - pompy,
  - regulatory ciśnienia,
  - zawory bezpieczeństwa;
- b) blok sterowania:
  - zawory (rozdzielacze),
  - regulatory,
  - dzwignie, ciągła itp. (zespoły połączeń mechanicznych);
- c) blok wykonawczy:
  - siłowniki,
  - wzmacniacze,
  - silniki.



Rys. 1. Układ hydrauliczny: PZ – podsystem zasilania, PS – podsystem sterowania, W – podsystem wykonawczy, PK-P – podsystem kontrolno-pomiarowy

Zadaniem stosowanych urządzeń kontrolno-pomiarowych jest dostarczanie użytkownikowi podstawowych informacji o stanie układu, tj. ilości oleju, ciśnien roboczych i temperatury w bloku zasilania. Funkcje te realizują manometry, termometry oraz mierniki określające ilość oleju w zbiorniku układu.

Funkcjonowanie układów hydraulicznych polega na współdziałaniu jego bloków, w wyniku którego zachodzi w nich ciągła zamiana pobieranej energii (z zakłóceniami) na założony efekt końcowy i towarzyszące mu procesy resztkowe. Efektem końcowym, zwanym też produktem wyjściowym jest ruch elementu wykonawczego maszyny. Procesy resztkowe stanowią zbiór generowanych w czasie eksploatacji produktów, które zasadniczo nie są planowym celem działania układu.

W czasie eksploatacji układów hydraulicznych zachodzi w nich szereg zjawisk fizycznych, które powodują:

- a) zmiany wartości ciśnienia i przepływu oleju;
- b) straty mocy i straty ciepłe, związane ze zjawiskiem tarcia występującego między elementami konstrukcji układu oraz tarcia wewnątrz oleju hydraulicznego;



- c) zmiany wartości temperatury elementów konstrukcji układu i oleju hydraulicznego;
- d) zmiany własności fizycznych elementów układu;
- e) zmiany efektywności realizowanych funkcji elementów konstrukcji.

Zachodzące zjawiska fizyczne w eksploatowanych układach hydraulicznych wyrażają się zmianami wartości parametrów diagnostycznych tych układów.

„Odporność” układu - w tym szczególnie jego elementów, na skutki zachodzących zjawisk fizycznych określana jest jego trwałością identyfikowaną jako czas jego prawidłowej pracy w określonych warunkach. Jest to właściwość charakteryzująca proces zużywania się elementów układu hydraulicznego podczas jego eksploatacji. Zależy ona od jakości konstrukcji, technologii wykonania elementów i montażu układu, a także od warunków jego eksploatacji i jakości jego obsługi.

Układy hydrauliczne w czasie eksploatacji ulegają uszkodzeniom. Są to zdarzenia polegające na ich przejściu od stanu, gdy są one w stanie realizować określone zadania (w stanie zdatności) do stanu, gdy tych zadań realizować już nie mogą lub ich spełnianie jest utrudnione (stan niezdatności) [5]. Tak rozumiana zdatność układu hydraulicznego obejmuje zdatność wszystkich jego elementów. Dotyczy to również oleju hydraulicznego.

Ze względów eksploatacyjnych w procesie projektowania układów hydraulicznych należy uwzględnić ich diagnostyczną podatność. Dotyczy to wzajemnego przystosowania układu i znanych metod diagnostycznych w celu prowadzenia badań oceny stanu technicznego układów. Na podatność diagnostyczną układów hydraulicznych wpływ ma diagnozowalność układu i technologiczność diagnostyczna [6].

Diagnozowalność układu wyraża się przez:

- a) metody i środki diagnozowania;
- b) skuteczność i wiarygodność metody diagnozowania;
- c) stopień automatyzacji działań diagnostycznych;
- d) współdziałanie diagnozowania ze sterowaniem.

Technologiczność diagnostyczną wyraża się przez:

- a) dostępność do miejsc diagnozowania;
- b) minimalizację pracochłonności i kosztów diagnozowania;
- c) łatwość podłączenia środków diagnozy;
- d) oczyunikowanie obiektu podczas wytwarzania;
- e) unifikacja punktów pomiarowych;
- f) dogodność pracy podczas diagnozowania;
- g) możliwość diagnozowania bez demontażu układu.

Zdarza się, że przedstawione powyżej pojęcia nabierają szczególnego znaczenia dopiero w okresie eksploatacji układów hydraulicznych zwłaszcza w przypadku, gdy bezpieczeństwo i względy ekonomiczne dyktują konieczność podejmowania optymalnych decyzji eksploatacyjnych w możliwie krótkim czasie. Dotyczy to awaryjnego zużycia sprzętu i konieczności nie zawsze przewidywalnej potrzeby posiadania danych do prognozowania stanu maszyny.

W maszynach roboczych i pojazdach zastosowane w nich układy hydrauliczne mają najczęściej za zadanie:

- a) sterowanie hamulcami;
- b) napęd i sterowanie układu roboczego;
- c) napęd i sterowanie układu jezdneho;
- d) napęd i sterowanie osprzętu pomocniczego;
- e) smarowanie i chłodzenie pracujących elementów układów.

Zatem należy uznać, że układy hydrauliczne w maszynach roboczych i pojazdach spełniają odpowiedzialne funkcje, często determinujące potencjalne możliwości ich wykorzystania. Nie mniej ważnym problemem, wcześniej już podkreślanym, są względy ekonomiczne i bezpieczeństwo pracy użytkownika.

Z sondaży prowadzonych w zakładach naprawczych hydrauliki maszynowej wynika, że najczęściej uszkodzeniom w układach hydraulicznych ulegają:

- a) siłowniki ~ 40 %;
- b) pompy ~ 20 %;
- c) przewody elastyczne ~ 15 %;
- d) rozdzielacze ~ 15 %;
- e) pozostałe elementy ~ 10 %.

Reasumując zagadnienia obejmujące budowę i funkcjonowanie układów hydraulicznych oraz warunki ich eksploatacji należy zauważyć:

- a) układy hydrauliczne współczesnych maszyn roboczych i pojazdów są konstrukcjami o znacznej złożoności;
- b) realizowane funkcje, bezpieczeństwo oraz względy ekonomiczne wskazują na potrzebę monitorowania stanu układów hydraulicznych w okresie eksploatacji;
- c) w układach hydraulicznych w małym stopniu stosuje się systemy monitorowania stanu (stan procesu roboczego i stanu technicznego układu);
- d) należy przyjąć, że zmiana stanu układu hydraulicznego ma wpływ na przebieg zachodzących w nim procesów fizycznych, kształtujących oczekiwany efekt (produkt wyjściowy) i procesy reszkowe.

## 2. DIAGNOZOWANIE UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

Możliwość wykorzystania maszyny, a tym samym układu hydraulicznego determinowana jest jego stanem technicznym. Pojęciem tym określa się zbiór wartości jego cech w danej chwili. Od wartości parametrów opisujących cechy stanu układu hydraulicznego oraz ich relacji w odniesieniu do przyjętych norm i ustaleń zależy zdatność układu, a tym samym całego obiektu, w którym jest on zastosowany. Do cech stanu układów hydraulicznych zalicza się min.:

- a) szczelność;
- b) odkształcenia elementów układu;
- c) zużycie powierzchni roboczych i uszczelnaczy;
- d) zanieczyszczenie filtrów i magistrali;
- e) zanieczyszczenie oleju;
- f) zużycie połączeń mechanicznych;
- g) lepkość i gęstość oleju.

Parametry diagnostyczne są wielkościami fizycznymi zorientowanymi uszkodzeniowo, które charakteryzują stan techniczny obiektu. Do parametrów diagnostycznych układów hydraulicznych zalicza się:

- a) parametry ruchu elementów wykonawczych;
- b) różnicę ciśnień między różnymi punktami pomiarowymi układu;
- c) przecieki zewnętrzne i wewnętrzne układu;
- d) natężenie przepływu oleju hydraulicznego;
- e) parametry elektryczne;
- f) miary sygnału wibroakustycznego.

Ocenie stanu technicznego służy wiele uporządkowanych sposobów postępowania zwanych metodami diagnozowania. Uogólniając, można je podzielić na dwie podgrupy:

- a) metody organoleptyczne;
- b) metody przyrządowe.

Pierwsze obejmują kontrolę wzrokową, kontrolę słuchową i kontrolę dotykową. Każdy z tych sposobów kontroli uzależniony jest w znacznej mierze od indywidualnych cech zmysłów, wiedzy i doświadczenia diagnosty. Ze względów oczywistych metody te należą do najmniej kosztownych.

Do parametrów, które można rozpoznawać metodami organoleptycznymi zaliczyć [2]:

- a) kontrola wzrokowa:
  - wskazania pokładowych przyrządów kontrolno – pomiarowych,
  - przecieki zewnętrzne,
  - wstrząsy i wibracje,
  - zmiany wyglądu oleju, np. pienienie się;
- b) kontrola słuchowa:
  - hałasy mechaniczne (zewnętrzne i wewnętrzne),
  - hałas, którego źródłem jest przepływający olej hydrauliczny;
- c) kontrola dotykowa:
  - wibracje elementów konstrukcji układu hydraulicznego,
  - przecieki,
  - temperatura.

Przyrządowe metody diagnozowania układów hydraulicznych obejmują wykorzystywanie przyrządów pomiarowych typu uniwersalnego i przyrządów specjalizowanych.

Metody te dzieli się na:

- a) bezpośrednie (dotyczą określania współosiowości elementów wirujących, połączenia osi elementów wykonawczych);
- b) pośrednie, gdzie wykorzystuje się parametry:
  - procesów roboczych (ciśnienie, natężenie przepływu oleju, czas trwania ruchów roboczych, inne);
  - procesów towarzyszących (temperatura, różnica ciśnień, produkty zużycia konstrukcji, produkty starzenia oleju, koncentracja zanieczyszczeń, drgania pomp i siłowników);
  - pozostałe parametry (np. emisja akustyczna, czas pracy akumulatorów hydraulicznych przy nie pracujących pompach zasilających).

W praktyce do najczęściej w układach hydraulicznych mają zastosowanie[1]:

- a) pomiar ciśnienia wykonuje się przy użyciu manometrów, przede wszystkim analogowych, jednozakresowych, mechanicznych, sprzężonych z tłumieniem cieczowym lub bez tłumienia o klasie dokładności 2,5; 1,5; 1,0; 0,6 (do 40 MPa). Dość istotnym udogodnieniem jest stosowanie przełączników umożliwiających wykonywanie pomiaru w kilku punktach jednym manometrem. Stosowane są również czujniki piezoelektryczne o zakresie pomiarowym do 100 MPa, które mogą pracować w całym zakresie temperatur maszyny roboczej. Czujniki te współpracują z przetwornikami ciśnienia i wskaźnikami cyfrowymi.
- b) pomiar temperatury wykonuje się przy użyciu termometrów: cieczowych (0-80 °C), bimetalowych (-50 - +450 °C), oporowych (-50 - +200 °C). Termometry cieczowe i bimetalowe posiadają skale analogowe. Termometry oporowe współpracują ze wskaźnikami cyfrowymi;

- c) pomiar przepływu wykonuje się przy pomocy przepływomierzy: turbinowych (1,0-600,0 l/min) – są wrażliwe na wstrząsy, zębatych (0,005-75 l/min) – indukcyjne lub optoelektryczne, kryzowych (10-600 l/min) oraz tłoczkowych;
- d) pomiar poziomu (ilości) cieczy roboczej wykonywany jest przy użyciu wskaźników pływakowych lub listwowych. Wskaźniki pływakowe mogą być zintegrowane z innymi urządzeniami, np.: termometry, wyłączniki, zawory dopływu itp.;
- e) pomiar prędkości obrotowej wykonuje się przy pomocy czujników optoelektrycznych lub indukcyjnych; w sytuacjach kiedy stosowane są metody ręczne – przy użyciu lamp stroboskopowych z stosownym oprzyrządowaniem;
- f) pomiar klasy czystości oleju za pomocą klasyfikacji ISO 4406, która polega na określaniu ilości cząstek większych od 5  $\mu\text{m}$  oraz cząstek większych od 15  $\mu\text{m}$  w 100 ml oleju. Klasę czystości według normy ISO 4406 określa się kodem składającym z dwóch cyfr, które oznaczają ilość cząstek o wymiarach 5  $\mu\text{m}$  i 15  $\mu\text{m}$ . Zliczanie cząstek prowadzi się za pomocą automatycznych liczników lub metodą mikroskopową. Określanie klasy czystości prowadzi się dla olejów świeżych oraz eksploatowanych. Ciągła kontrola czystości oleju ma znaczący wpływ na podejmowanie decyzji eksploatacyjnych.

Pomiar klasy czystości oleju wykonuje się wieloma metodami. Do najbardziej przydatnych użytkownikowi należą:

- a) metoda porównawcza z wykorzystaniem walizki laboratoryjnej firmy HYDAC;
- b) metoda kolmatometryczna;
- c) przy pomocy urządzeń elektronicznych, np. FCU 2010 FIRMY HYDAC.

W praktyce eksploatacyjnej do najczęściej stosowanych zalicza się metody: optyczną, elektryczną, fotoelektryczną i kolmatacyjną.

Określenie zawartości wody w oleju – wykonuje się przy użyciu specjalistycznych zestawów kontrolnych, np. Test Kit WTK firmy HYDAC. Zestaw ten umożliwia określenie zawartości wody w oleju bezpośrednio przy kontrolowanym układzie hydraulicznym.

Wyboru metody należy dokonać opierając się na analizie wielu kryteriów, z których najistotniejszymi są:

- a) podatność diagnostyczna;
- b) złożoność obiektu;
- c) wyposażenie i możliwości intelektualne diagnosty;
- d) koszty metody, itp.

Wybór metody diagnozowania jest jednym z etapów tworzenia technologii kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń obiektu technicznego, w tym przypadku układu hydraulicznego. Technologia kontroli stanu technicznego uwzględniać powinna następujące kryteria tworzenia testów diagnostycznych:

- a) minimum kosztów;
- b) minimum sprawdzeń;
- c) minimalizacja czasu trwania badania diagnostycznego;
- d) maksymalna ilość uzyskiwanych informacji;
- e) maksymalne prawdopodobieństwo wykrycia uszkodzenia przy ograniczonym (ustalonym) koszcie badania.

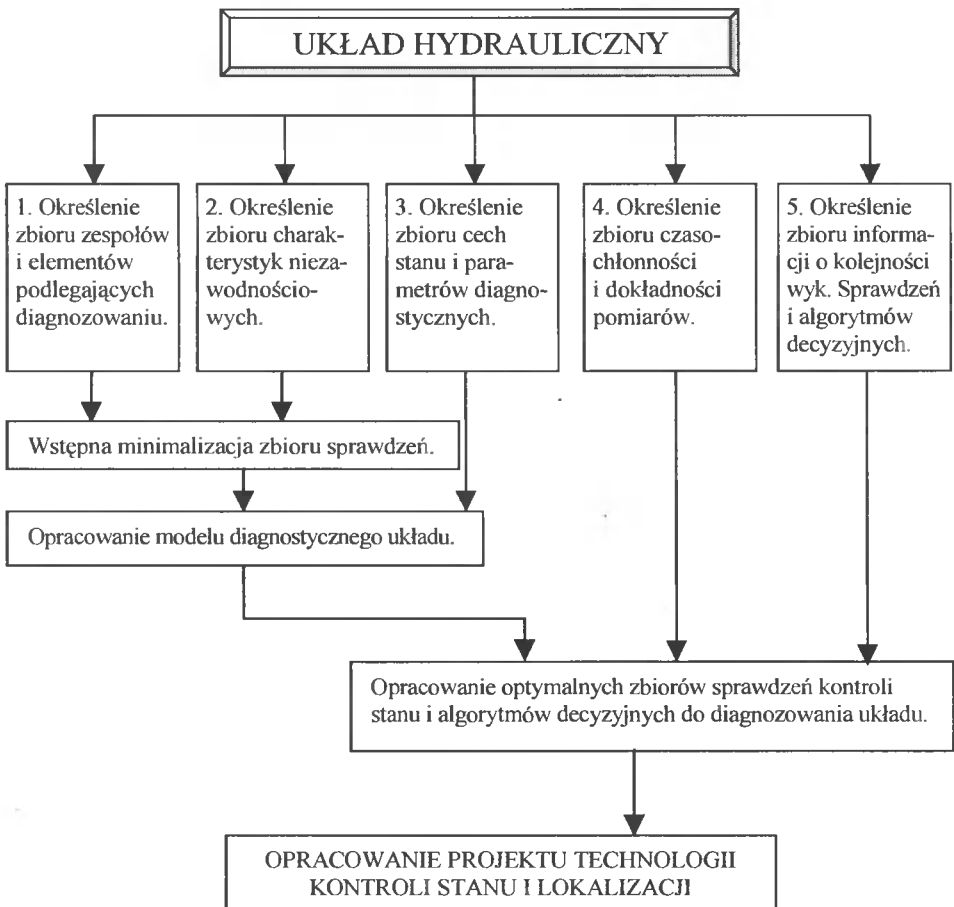
Opracowanie technologii diagnozowania układu hydraulicznego powinno obejmować następujące etapy [3]:

- a) określenie zbioru zespołów i elementów konstrukcji układu podlegających diagnozowaniu;

- b) określenie zbioru charakterystyk niezawodnościowych;
- c) określenie zbioru cech stanu i parametrów diagnostycznych układu;
- d) określenie zbioru czasochłonności i dokładności pomiarów;
- e) określenie zbioru informacji i ich jednoznaczności o możliwej kolejności wykonywania sprawdzeń oraz opracowanie algorytmu decyzyjnego systemu diagnostycznego.

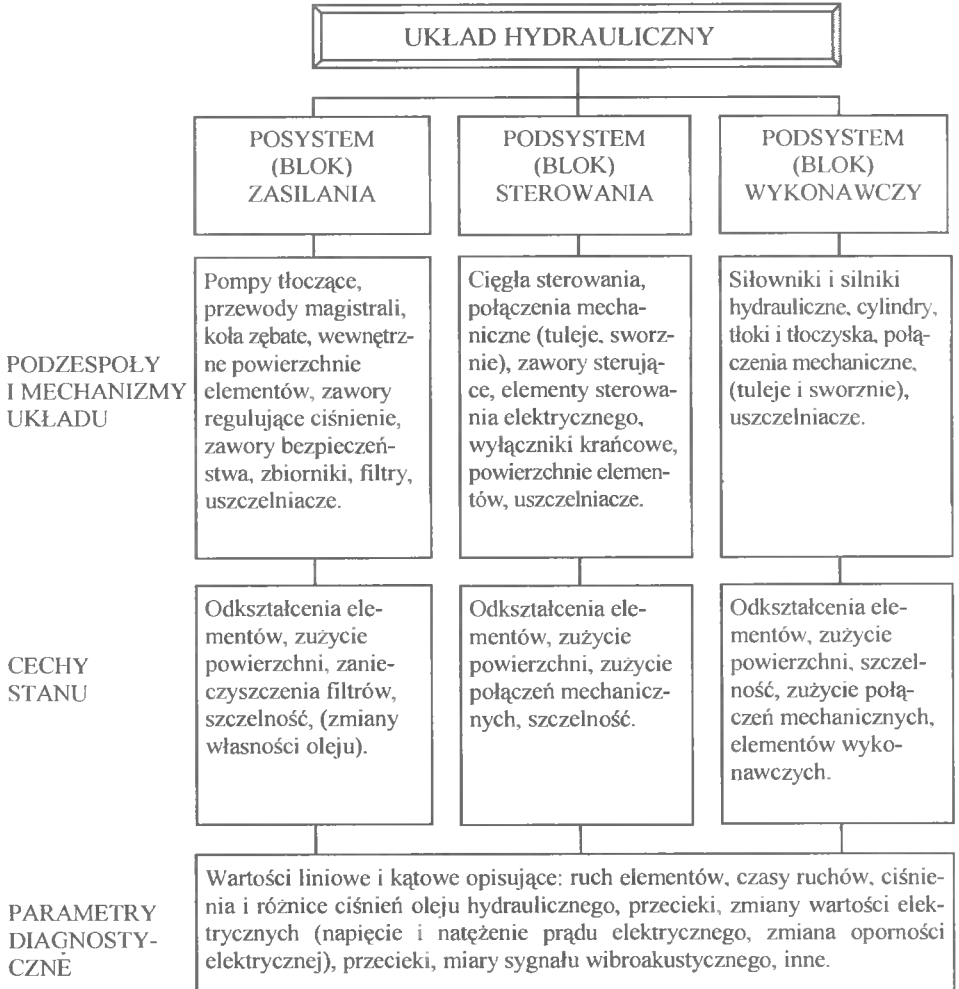
Wymienione etapy opracowywania technologii diagnozowania układu hydraulicznego stanowią bazę do dalszej analizy problemu. Schemat dalszego postępowania przedstawia rys. 2.

Określenie zbioru zespołów i elementów oraz zbioru charakterystyk niezawodnościowych układu hydraulicznego należy wykorzystać na etapie wstępnej minimalizacji zbioru sprawdzeń przez wyeliminowanie sprawdzeń zespołów i elementów charakteryzujących się dużą niezawodnością funkcjonowania (pracy). Określona już, minimalna ilość sprawdzeń wraz z zbiorem wyodrębnionych cech stanu układu i jego parametrów diagnostycznych umożliwi opracowanie modelu diagnostycznego układu.



Rys. 2. Zasady tworzenia technologii kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń układu hydraulicznego

Analiza czasochłonności i dokładności planowanych badań diagnostycznych wraz z zbiorem informacji o kolejności sprawdzeń i algorytmach decyzyjnych pozwala na tworzenie optymalnych zbiorów sprawdzeń kontroli stanu oraz decyzyjnych algorytmów diagnozowania. Pozwala to na opracowanie projektu technologii kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń układu hydraulicznego. Przy takim ujęciu optymalizacji procesu diagnozowania korzystne jest rozpatrywanie układu hydraulicznego dzieląc go na określone podsystemy i w nich funkcjonujące elementy. Pozwala to na dogodniejsze wyróżnianie zjawisk fizycznych zachodzących w układzie, a także na wybór cech stanu technicznego i opisujących parametrów diagnostycznych. Przykład niniejszego przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat doboru parametrów diagnostycznych układu hydraulicznego (przykład)

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Projektowanie procesu diagnozowania układów hydraulicznych wymaga kompleksowego wsparcia dziedzin wiedzy obejmujących diagnostykę techniczną, budowę i funkcjonowanie maszyn oraz towarzyszących temu zjawisk fizycznych. Istotne znaczenie mają tu również doświadczenia użytkowników oraz względy ekonomiczne. Dobrze opracowany i funkcjonujący proces diagnostyczny układu hydraulicznego jest jednym z czynników gwarantujących zdatność maszyny w optymalnie długim okresie użytkowania.

Przedstawione treści i doświadczenia wielu eksploatorów układów hydraulicznych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Różnorodność stanów i duża liczebność parametrów diagnostycznych układów hydraulicznych daje podstawę do określenia relacji: parametr diagnostyczny – stan, co stwarza możliwość budowy macierzy diagnostycznej, umożliwiającej tworzenie dynamicznych programów diagnostycznych.
2. Różnorodność i liczebność zbioru parametrów diagnostycznych powoduje konieczność ich redukcji, co determinuje zastosowanie odpowiednich narzędzi w celu określenia optymalizacji metod diagnozowania.
3. Ze względu na złożone rozwiązania konstrukcyjne, wysoki stopień automatyzacji procesów roboczych i miejsce układów hydraulicznych w maszynach roboczych i pojazdach istnieje potrzeba budowy systemu diagnostycznego umożliwiającego:
  - kontrolę stanu,
  - lokalizację uszkodzenia,
  - prognozowanie stanu.
4. Przy wykorzystaniu teorii diagnostyki technicznej i optymalizacji istnieje możliwość opracowania systemu diagnostycznego [4] układów hydraulicznych maszyn roboczych i pojazdów, realizujących przedstawione funkcje.

## LITERATURA

- [1] Chalamoński M.: Diagnostowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1999.
- [2] Chalamoński M.: Metodyka diagnozowania układów hydrauliki maszynowej. X Konferencja Naukowo-Techniczna, Bydgoszcz - Borówno 1999.
- [3] Niziński S. i inni: Diagnostyka samochodów ciężarowych i osobowych. Wydawnictwo Bellona, Warszawa 1999.
- [4] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [5] Żółtowski B., Ćwik Z.: Leksykon diagnostyki technicznej. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1996.
- [6] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1996.

## PROBLEMS IN DIAGNOSIS OF WORKING MACHINES AND VEHICLE HYDRAULIC SYSTEMS

### Summary

The paper presents an analysis of working machine and vehicle hydraulic systems and defines the guidelines for diagnostic parameter selection. It also provides some condition characteristics as well as hydraulic system evaluation methods.

*Key words:* working machine and vehicle hydraulic systems, hydraulic system diagnosis, system diagnosis methods, diagnostic system parameters



## BUDOWA KRYTERIALNEGO MODELU OCENY JAKOŚCI ZŁOŻONEGO SYSTEMU EKSPLOATACJI

Maciej Woropay, Łukasz Muślewski

Katedra Eksploatacji Maszyn  
Wydział Mechaniczny ATR  
ul. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

W pracy przedstawiono syntezę wiadomości literaturowych dotyczących pojęcia jakości. Zestawiono także najistotniejsze zdaniem autorów, grupy kryteriów wyznaczające jakość systemów eksploatacji. Zdefiniowano pojęcie jakości systemu oraz zbudowano model ocenowy, złożonego systemu eksploatacji, z punktu widzenia jakości jego działania.

*Słowa kluczowe:* jakość, kryteria jakości, system eksploatacji, model ocenowy systemu eksploatacji.

### 1. WPROWADZENIE

Konkurencja wolnorynkowa oraz wymagania odbiorców wymuszają na przedsiębiorcach podejmowanie działań projakościowych, począwszy od wartościowania, konstruowania, wytwarzania i eksploatacji, a skończywszy na badaniach rynku. Takie działania przynoszą oszczędności finansowe, zwiększają zadowolenie klientów i powodują napływ dodatkowych zamówień, zachęcają do wytwarzania nowych produktów oraz rozszerzania zakresu świadczonych usług. Wyznaczają jakość optymalną, która systematycznie kontrolowana i utrzymywana, kreuje wizerunek firmy i zapewnia jej zdolność egzystencjonalną.

Wdrażanie działań projakościowych ma szczególne znaczenie w złożonych systemach eksploatacji. Dotyczy ono tzw. *jakości wewnętrzzakładowej, jakości dostawczej oraz jakości usług i doznań związanych z użytkowaniem.*

### 2. CEL PRACY

Celem pracy jest analiza pojęcia jakości i kryteriów jej oceny oraz budowa modelu ocenowego, złożonego systemu eksploatacji, z punktu widzenia jakości jego działania.

### 3. OBIEKT BADAŃ

Proponowany model ocenowy zbudowano na podstawie identyfikacji rzeczywistego systemu miejskiego transportu autobusowego [51].

Badany obiekt jest systemem socjotechnicznym typu <C – M – O> (C – człowiek, M – maszyna, O – otoczenie), w którym oceniając funkcjonowanie maszyny należy uwzględnić nie tylko ją samą, ale także człowieka jako operatora i decydenta oraz otoczenie, w którym realizuje się wyznaczone cele.

#### 4. ANALIZA LITERATURY

Pojęcie jakości (poiotos) na przełomie V i IV w p.n.e. zdefiniował Platon [17], a następnie rozwinął je Rzymianin Cyceron nadając łacińską nazwę *qualitas* [13]. Na przestrzeni wieków pojęcie jakości rozwijano, a w obecnych czasach stanowi ono podstawowy wyznacznik dla wyrobów i usług.

W pracy [16] autor przedstawia pogląd, że *jakość jest pojęciem pierwotnym* przy czym uznaje również za celowe definiowanie jakości dla celów naukowych i praktycznych.

Najczęściej spotykane definicje jakości [1, 9, 13, 41, 53] opisują ją jako *ogół cech i właściwości wyrobu lub usługi do zaspokajania stwierdzonych lub przewidywanych potrzeb*.

W normach ISO [36] pojęcie jakości zdefiniowano jako *zespół właściwości i charakterystyk liczbowych wyrobu lub usługi, które wpływają na ich zdolność do zaspokajania potrzeb*.

*Stopień spełnienia stawianych wymagań*, to pojęcie jakości zdefiniowane w pozycjach literatury: [17, 20, 21, 22, 48].

Uszczegółowione powyższe definicje podano w pracach [20, 24] jako *stopień spełnienia zbioru wymagań, których spełnienie całkowite oznacza osiągnięcie stanu doskonałości względnej*.

W pracach [20, 48] wyszczególniono także pojęcie jakości w znaczeniu filozoficznym, traktując jakość jako *zbiór właściwości różniących między sobą rozpatrywane przedmioty*.

W pracy [29], jakość zdefiniowano *jest jako zespół cech stanowiący o tym, że dany wyrób jest tym, a nie innym przedmiotem*. Podobną definicję podano w pracy [27].

Zdaniem autorów pracy [15], *jakość to przydatność użytkowa, będąca składową jakości projektu, wykonania, dyspozycyjności i stopnia obsługi technicznej*.

Na uwagę zasługuje także definicja, w której jakość określa się jako *stopień uwolnienia wyrobu od wad* [13].

Powyższe definicje z punktu widzenia celu pracy są bardzo przydatne, natomiast nie wynika z nich w jaki sposób wyznaczyć licznosc zbiorów kryteriów, które z właściwości wyrobu lub usługi zaliczyć do zespołu rozpatrywanych cech, jak ustalić przedziały ich dopuszczalnych wartości, ich wagi, oraz sposoby ich kwantyfikacji.

Na podstawie analizy przedstawionych definicji jakości oraz cech systemowych obiektu badań przyjęto, że:

**„Jakość systemu - to zbiór cech systemu wyrażonych za pomocą ich wartości liczbowych, wyznaczających stopień spełnienia stawianych wymagań”.**

Zdefiniowane powyżej pojęcie jakości, stanowi podstawę do budowy modelu ocenowego, przyjętego obiektu badań, za pomocą zbiorów skwantyfikowanych kryteriów jakości. Należy jednak 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 bądź na skutek trudności natury technicznej, bądź na skutek niewiedzy badacza [19].

Natomiast dla każdej cechy mierzalnej opisującej konkretny obiekt systemu  $C_{M_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), należy podać dopuszczalne granice  $C_{M_i}^{\min}$  oraz  $C_{M_i}^{\max}$ , takie, że każda wartość  $i$ -tej cechy zawarta w przedziale ( $C_{M_i}^{\min}, C_{M_i}^{\max}$ ) odpowiada poprawnemu funkcjonowaniu obiektu. Podobnie dla każdej cechy umownie niemierzalnej, opisanej  $C_{N_j}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), należy ustalić kryteria, pozwalające na jednoznaczne stwierdzenie, że dana cecha odpowiada warunkom poprawnego funkcjonowania obiektu. Stan taki zapisujemy  $C_{N_j} = 1$ , natomiast przypadek przeciwny zapisujemy jako  $C_{N_j} = 0$ , wówczas warunek stanu zdadności obiektu w danej chwili  $t$ ,  $t \in [t_o, t_k]$ , można zapisać:

$$S_{TZ} = (C_{M,1}^{\min} < C_{M,1,t} < C_{M,1,\dots}^{\max}, C_{M,n}^{\min} < C_{M,n,t} < C_{M,n,\dots}^{\max}, C_{N,1,t} = 1, \dots, C_{N,m,t} = 1)$$

Powyższy zapis oznacza, że w danej chwili  $t$  obiekt jest w stanie zdadności tylko wówczas, gdy wartości jej cech mierzalnych zawierają się w ustalonych granicach oraz gdy cechy niemierzalne spełniają ustalone kryteria poprawnego działania [42].

Metody, techniki i narzędzia wykorzystywane do wyznaczania oraz wartościowania cech opisujących dany obiekt, przedstawiono w pozycjach literatury: [5, 17, 20-25, 43, 48, 53].

Na podstawie analizy literatury, w niniejszej pracy do budowy zbioru kryteriów oceny jakości zastosowano następujące prakryteria [6, 20, 22, 48]:

- jednoznaczność,
- swoistość znaczeniowa,
- niezależność,
- realność,
- rzeczowość,
- dopełnialność,
- zwartość nazwy,
- zmienność,
- mierzalność,
- stopniowalność,
- przedmiotowość,
- powtarzalność,
- poprawność językowa.

Natomiast uwzględniając [20, 22, 48] jako istotne znamiona jakości zidentyfikowano:

- przydatność,
- poprawność,
- użyteczność,
- doznaniowość,
- opłacalność,
- naturalność.

Wyszczególniono także aspekty analizy jakości:

- przedmiotowe,
- wytwórcze,
- użytkowe,
- doznaniowe,

- ekonomiczne,
- środowiskowe,  
  oraz utworzono grupę czynników jakościowych:
- przeznaczenie,
- wykonawstwo,
- użytkowanie,
- doznania,
- ekonomika,
- szkodliwość.

Ze względu na złożoność systemu eksploatacyjnego, stanowiącego obiekt badań, jako czynniki kształtujące jakość przyjęto [20, 22]:

- techniczne:
  - rodzaj i jakość materiałów (zasadniczych, pomocniczych),
  - rodzaj i stan techniczny (maszyn, narzędzi),
- ekonomiczne:
  - system płac,
  - system kar i sankcji,
  - stosowanie rachunku kosztów jakości,
  - wielkość posiadanego kapitału,
  - popyt i podaż na rynku,
- technologiczne:
  - badanie nad postępem technologicznym,
  - opracowanie i stosowanie kart i przepisów technologicznych,
  - wiedza technologiczna kadry inżyniersko-technicznej,
  - przestrzeganie wymagań technologicznych przez bezpośrednich wykonawców,
- psychologiczne i socjologiczne:
  - cechy charakterologiczne i predyspozycje psychiczne,
  - kwalifikacje,
  - motywacje,
  - warunki socjalne i rodzinne pracowników,
  - stosunki międzyludzkie,
- organizacyjne:
  - organizacja systemu zapewnienia jakości (kontroli, przepływu informacji, przepływu decyzji),
  - stosowanie nowoczesnych metod organizacji i zarządzania,
  - stosowanie dokumentacji organizacyjnej.

W pracy, do budowy zbioru kryteriów oceny jakości, pogrupowanych w zależności od poszczególnych faz istnienia wyrobu wykorzystano następujące kryteria [23]:

- koncepcja – interes społeczny, wymagania odbiorców, osiągnięcia techniki, panująca moda,
- projektowanie – nowoczesność, wymagania normatywne, bezpieczeństwo, funkcjonalność, technologiczność, oszczędność, komfort, estetyka, kolorystyka,
- opracowanie technologiczne – wyposażenie narzędziowe, stan oprzyrządowania, stan parku maszynowego, kwalifikacje wykonawców, koszty,
- wytwarzanie – poziom organizacji, warunki pracy, rytmiczność dostaw, jakość materiałów, dyscyplina technologiczna, jakość pracy, staranność wykończenia, skuteczność kontroli, wydajność, terminowość, sprawność kooperacji,

- eksploatacja – przystosowanie do warunków klimatycznych, awaryjność, liczebność reklamacji, ekonomiczność, niezawodność, czasookres użytkowania,
- unicestwienie – opłacalność, potrzeba modernizacji, efektywność szkoleń wykonawców i użytkujących, trafność instruktażu odbiorców.

Głównym przeznaczeniem obiektu badań jest świadczenie usług transportowych. Oceny jakości tych usług stanowią podstawę do analiz na temat poprawności funkcjonowania przedsiębiorstwa. Czynniki jakościotwórcze dla wykonywanych usług to [21]:

- interes społeczny,
- wymogi usługobiorców,
- wzorce,
- normy i przepisy,
- bezpieczeństwo,
- funkcjonalność,
- komfort,
- estetyka,
- moda,
- koszt,
- instrukcja obsługi,
- otoczenie.

Na podstawie analizy literatury [14, 21, 26, 28, 49, 53, 54] ustalono zbiór istotnych kryteriów jakości, wyznaczających poziom świadczonych usług:

- znajomość potrzeb odbiorców,
- spełnienie oczekiwań odbiorców,
- niezawodność usługi,
- pewność świadczenia usługi:
  - zaufanie,
  - uprzejmość,
  - kompetencje,
  - rzetelność,
  - odpowiedzialność,
- infrastruktura materialna usługi:
  - materiały,
  - narzędzia,
  - urządzenia,
- wymagania społeczne:
  - ochrona środowiska,
  - ochrona zdrowia,
  - bezpieczeństwo odbiorców,
  - oszczędność,
- ekonomiczność:
  - konkurencyjność,
  - koszty,
  - zysk,
- percepcja usługi,
- terminowość,
- przystępność usługi:
  - dostępność dla klienta,

- komunikatywność,
- zrozumienie klienta,
- informacja o usłudze.

Do realizacji celu pracy, wykorzystano wyniki przedstawione w pozycji literatury [31], w której autor dokonał kwantyfikacji satysfakcji konsumenta w sektorze usług turystycznych na podstawie następujących kryteriów:

- stan nawierzchni dróg,
- oznakowanie dróg,
- zimowe utrzymanie dróg,
- dostępność miejsc parkingowych,
- serwis samochodowy.

Analiza literatury [2, 4, 7, 8, 13, 15, 18, 24, 26, 32, 33, 35, 39, 40, 42, 43, 45, 52, 55] oraz badania własne, umożliwiły stworzenie zbioru uniwersalnych kryteriów jakości, które wykorzystano do budowy modelu ocenowego, złożonego systemu eksploatacji:

- bezpieczeństwo,
- cechy techniczne,
- celowość,
- czystość procesu,
- chłonność,
- diagnozowalność,
- dokładność,
- efektywność,
- ekonomiczność:
  - koszty,
  - korzyść,
  - straty,
- ergonomiczność,
- estetyka:
  - wygląd zewnętrzny,
  - moda,
  - wymogi i tendencje,
- funkcjonalność,
- gotowość,
- jednorodność,
- kontrolowalność,
- naprawialność,
- niezawodność,
- normalizacja,
- nowość,
- podatność naprawcza,
- podatność obsługowa,
- przechowywalność,
- przepustowość,
- przydatność,
- skuteczność,
- sprawność,

- trafność,
- trwałość,
- uszkodzalność:
  - eksploatacyjna,
  - klimatyczna,
  - starzeniowa,
  - biologiczna,
- użyteczność,
- wadliwość,
- wydajność.

Efektywne funkcjonowanie złożonych systemów eksploatacji uzależnione jest zarówno od niezawodności maszyny, jak i od działań ludzkich. Człowiek występuje w systemie w podwójnej roli – decydenta, umiejscowionego na różnych poziomach decyzyjnych oraz operatora – decydenta najniższego stopnia decyzyjnego. Stanowi on jeden z głównych czynników wpływających na bezpieczeństwo systemu. Błędy popełnione przez człowieka prowadzą do zdarzeń niebezpiecznych (zdrowie i życie człowieka) oraz stwarzają zagrożenie bezpieczeństwa maszyn i otoczenia. W pracach [4, 17, 44, 46] podzielono błędy na:

- zamierzone,
- niezamierzone – przypadkowe, systematyczne, oraz
- manipulacyjno-percepcyjne:
  - nawyk,
  - wprawa,
- podejmowania decyzji:
  - reguła,
- rozumowania:
  - wiedza.

Podano także podział błędów ze względu na rodzaje:

- niezręczności,
- zaniedbania,
- pomyłki,
- naruszenia.

Zgodnie ze specyfiką badanego systemu, na podstawie prac [11, 17, 42, 44, 46, 48], wyszczególniono grupę czynników warunkujących działanie człowieka:

- uwarunkowania organizacyjne,
- uwarunkowania techniczne,
- motywacje,
- pracowitość i wytrzymałość,
- dokładność i wytrzymałość,
- szybkość,
- odporność na działanie otoczenia,
- reakcja na nieprzewidziane bodźce,
- wytrzymałość na stres,
- cechy indywidualne:
  - cechy fizyczne i zmęczenie,
  - cechy psychologiczne i charakterologiczne,

- stopień wykształcenia,
- dyspozycyjność.

Na podstawie analizy literatury [5, 10, 11, 37, 47] stwierdzono, że przyczyny powstawania zagrożenia bezpieczeństwa systemów eksploatacji są następujące:

- ludzkie - człowiek jako:
  - poszkodowany,
  - bezpośredni lub pośredni sprawca,
  - decydent,
- techniczne,
- organizacyjne,
- ekonomiczne,
- środowiskowe.

Integralną część systemu socjotechnicznego typu <C – M – O> stanowi otoczenie. Do budowy zbioru kryteriów oceny jakości badanego systemu eksploatacji, wyszczególniono grupę kryteriów charakteryzujących otoczenie [4, 5, 8, 43]:

- skład chemiczny powietrza atmosferycznego,
- ciśnienie powietrza,
- warunki termiczne,
- zanieczyszczenie powietrza,
- własności elektryczne powietrza,
- radioaktywność powietrza,
- czynniki akustyczne,
- czynniki grawitacyjne,
- czynniki biologiczne:
  - pleśń,
  - zwierzęta.

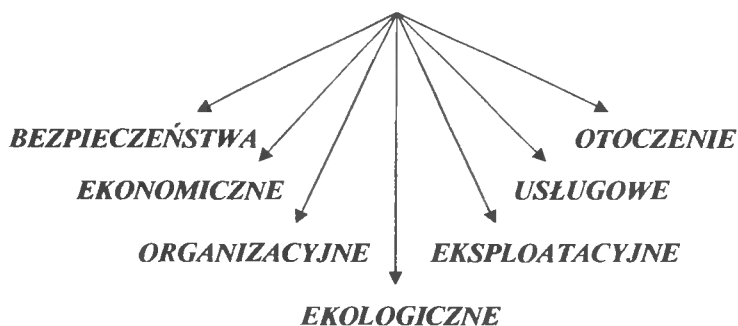
Na podstawie analizy literatury [12, 30], zidentyfikowano grupę czynników wpływających na degradację środowiska naturalnego:

- hałas,
- wibracje,
- emisje zanieczyszczeń,
- odpady,
- ryzyko wystąpienia wypadków,
- duże zapotrzebowanie na powierzchnię użytkową.

## 5. BUDOWA MODELU OCENOWEGO

Analiza literatury oraz identyfikacja stanu istniejącego obiektu badań, przyczyniły się do stworzenia przez autorów, kryterialnego modelu ocenowego, złożonego systemu eksploatacji, na przykładzie rzeczywistego systemu miejskiego transportu autobusowego.

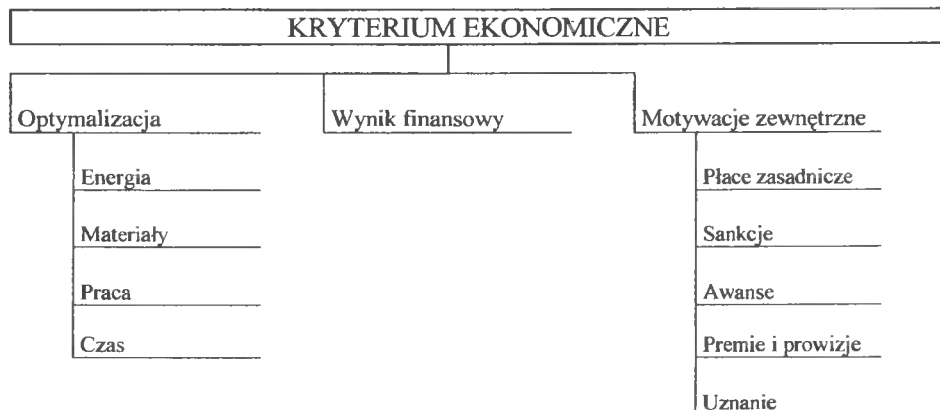


**KRYTERIA OCENY JAKOŚCI SYSTEMÓW****EKSPLOATACJI**

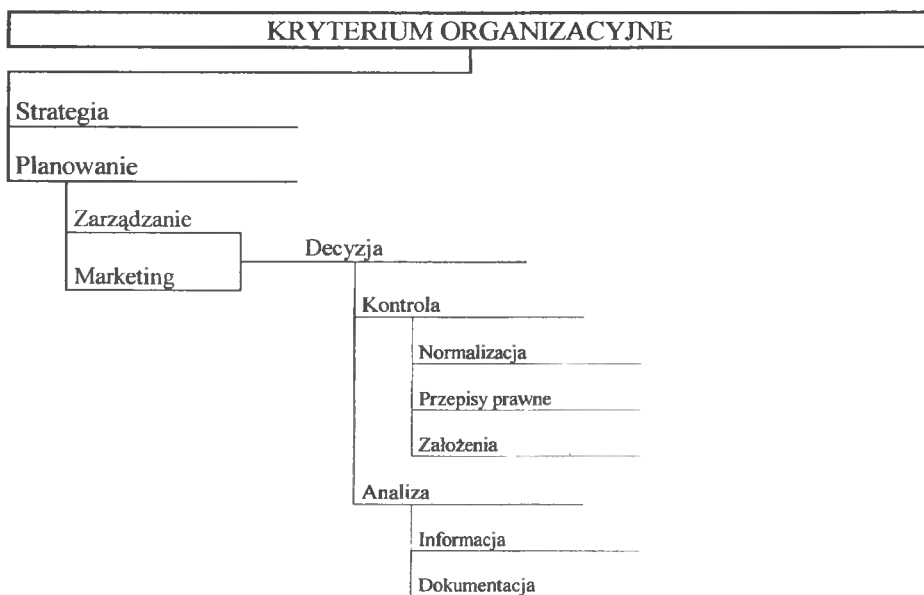
Graf 1. Kryteria oceny jakości systemu eksploatacji



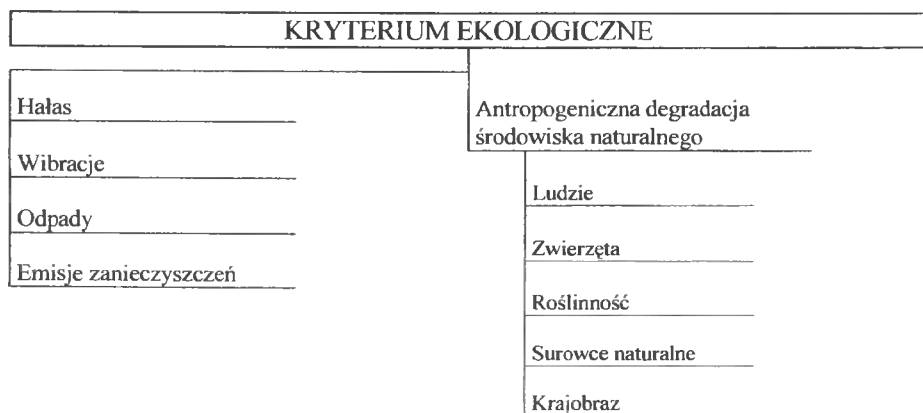
Graf 2. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium bezpieczeństwa badanego systemu eksploatacji



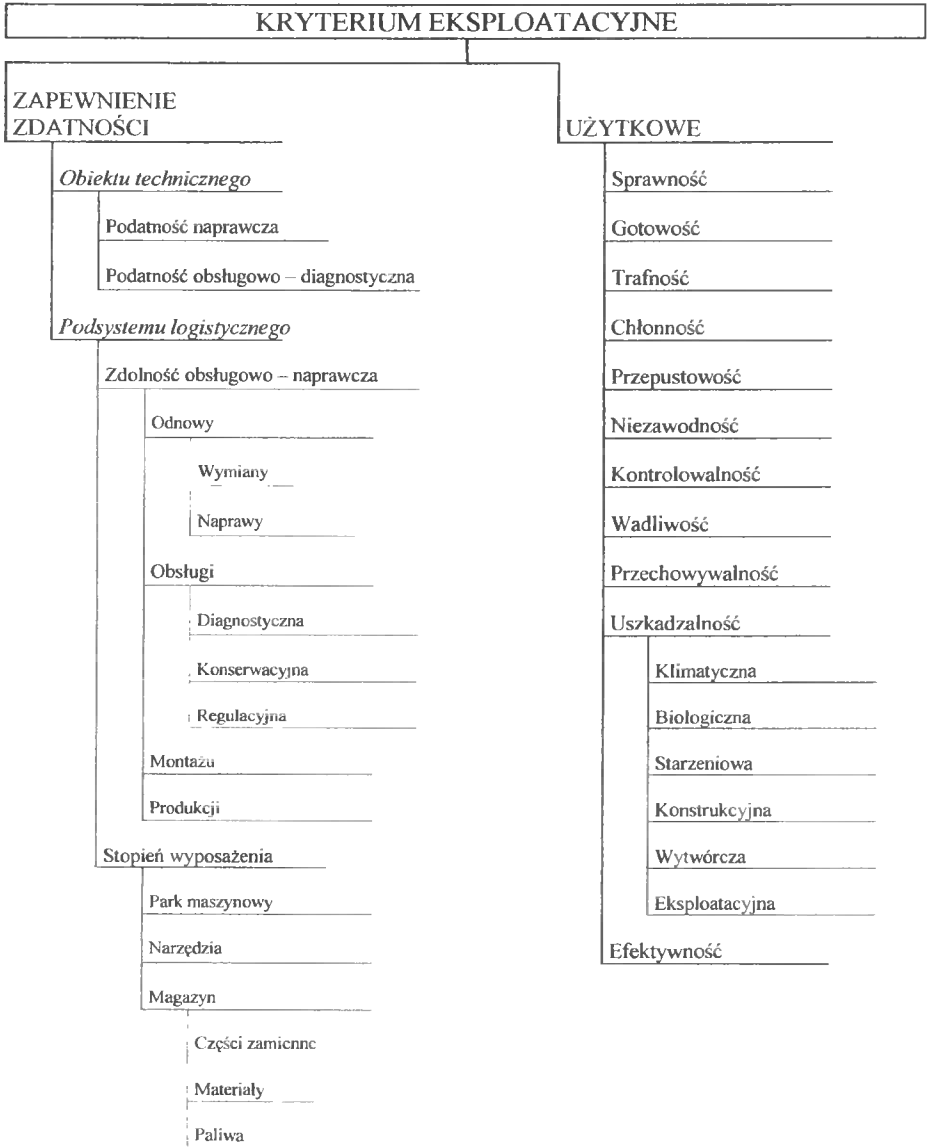
Graf 3. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium ekonomiczne badanego systemu eksploatacji



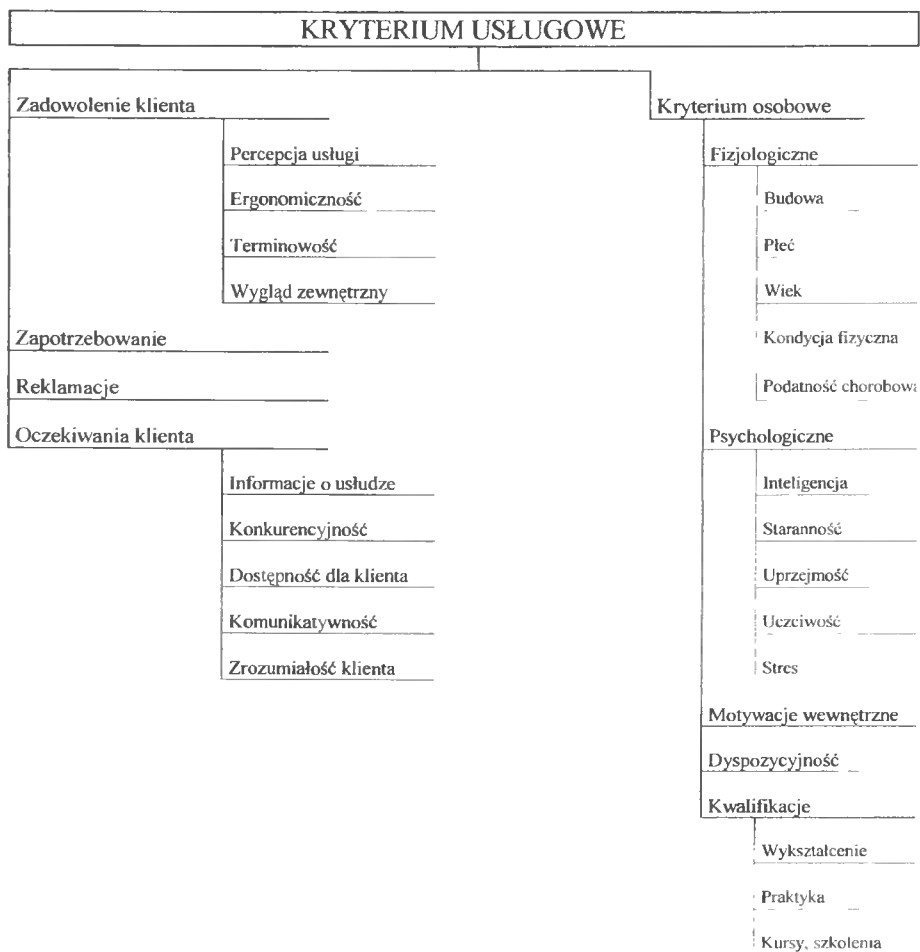
Graf 4. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium organizacyjne badanego systemu eksploatacji



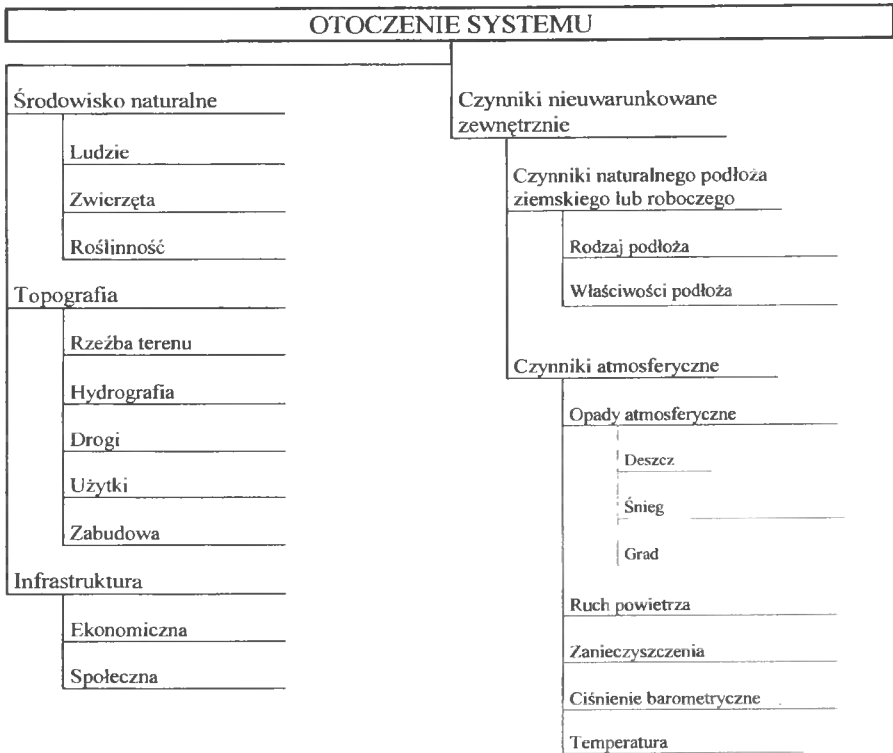
Graf 5. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium ekologiczne badanego systemu eksploatacji



Graf 6. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium eksploatacyjne badanego systemu eksploatacji



Graf 7. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium usługowe badanego systemu eksploatacji



Graf 8. Zdekomponowany zbiór podkryteriów wyznaczający kryterium otoczenia badanego systemu eksploatacji

## 6. ROZWÓJ MODELU

Dalsze prace nad rozwojem modelu będą prowadzone w kierunku doboru, na podstawie analizy, metod, technik i narzędzi zapewnienia i wyznaczeniażądanego poziomu jakości oraz kwantyfikacji zbioru wybranych kryteriów, mających na celu ocenę złożonego systemu eksploatacji z punktu widzenia jakości jego działania.

## LITERATURA

- [1] ANSI / ASQC A3 – 1978: Quality System Terminology.
- [2] Bank J.: Zarządzanie przez jakość. Gebethner i Ska, Warszawa 1996.
- [3] Boniecki R.: Badania wpływu wybranych cech operatora na niezawodność zadaniową systemu antropotechnicznego. Rozprawa doktorska, ATR, Bydgoszcz 1999. Promotor B. Żółtowski.
- [4] Borgoń J., Jaźwiński J., Sikorski M., Ważyńska-Fiok K.: Niezawodność statków powietrznych. ZETOM, Warszawa 1992.
- [5] Borgoń J., Jaźwiński J., Klimaszewski S., Żmudziński Z., Żurek J.: Symulacyjne metody badania bezpieczeństwa lotów. ASKON, Warszawa 1998.

- [6] Bujak L.: Ujednolicone zasady doboru kryteriów jakości. Kwalitologia, biuletyn nr 3, Zespołu Teorii Jakości NOT, Gdańsk 1979.
- [7] Gasiński L., Kłos Z., Żak J.: Problemy kształtowania jakości eksploatacyjnej pojazdów i innych obiektów technicznych. Politechnika Poznańska, Poznań 1994.
- [8] Girtler J., Kitowski Z., Kuriata A.: Bezpieczeństwo okrętu na morzu. WKiŁ, Warszawa 1995.
- [9] Glossary of Terms Used in Quality Control. Rotterdam: EOQC Glossary Comitte Fourth Edition, July 1976.
- [10] Hansen A.: Kompleksowa ocena poziomu bezpieczeństwa i higieny pracy. Instytut Wydawniczy CRZZ, 1977.
- [11] Heinrich H. W.: Industrial Accident Prevention a Scientific Approach. McGraw Hill Book Co, New York 1959.
- [12] Jankowska M.: Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń. WEKA, rozdział 3.6, Warszawa 1999.
- [13] Jazdon A., Guzek K.: Metodyczne podstawy zapewnienia jakości w warunkach gospodarki wolnorynkowej. TNOiK, Bydgoszcz 1994.
- [14] Jądrczak Z.: Bódźce jakości i próba ich klasyfikacji. Problemy jakości nr 1, 1970.
- [15] Juran J.M., Gryna Jr. F.M.: Jakość – projektowanie – analiza. WNT, Warszawa 1974.
- [16] Kiliński A.: Jakość. WNT, Warszawa 1979.
- [17] Kindlarski E.: Jakość wyrobów. PWN, Warszawa 1988.
- [18] Kindlarski E.: Kontrola i sterowanie jakością. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1979.
- [19] Klawitera A., Nowak L.: Odkrycie, abstrakcja, prawda, empiria, historia, idealizacja. PWN, Warszawa – Poznań 1979.
- [20] Kolman R.: Inżynieria jakości. PWE, Warszawa 1992.
- [21] Kolman R., Tkaczyk T.: Jakość usług. TNOiK, Bydgoszcz 1996.
- [22] Kolman R., Krukowski K.: Nowoczesne systemy jakości. TNOiK, Bydgoszcz 1997.
- [23] Kolman R.: Poradnik kontrolera jakości. TNOiK, Bydgoszcz 1998.
- [24] Kolman R.: Sterowanie jakością wytwarzania. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1994.
- [25] Krotkiewska–Skoczylas E.: Metody syntetycznej oceny jakości produktów. Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa 1982.
- [26] Kuzniecov E. S.: Techniceskoe obsluzivanie i nadioznost avtomobilej. Transport, Moskva 1972.
- [27] Locke J.: Rozważania dotyczące rozumu ludzkiego. PWN, Warszawa 1965.
- [28] Łańcucki J.: Jakość usług. Problemy Jakości nr 6, 1997.
- [29] Mały Słownik Języka Polskiego. PWN, Warszawa 1968.
- [30] Merkisz J.: Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1994.
- [31] Mośny P.: Próba pomiaru osobistej satysfakcji konsumenta w sektorze usług turystycznych. Problemy jakości nr 10, 1997.
- [32] Olejnik T., Wieczorek P.: Kontrola i sterowanie jakością. PWN, Warszawa - Poznań 1982.
- [33] Ostrowski Z.: O jakości konstruktywnie. Problemy jakości i miar nr 1, 1968.
- [34] Oziemski S.: Efektywność eksploatacji maszyn. Podstawy techniczno-ekonomiczne. ITE, Radom 1999.

- [35] Oziemski S.: Metodyka badania ewolucyjnej jakości urzędu. Problemy rozwoju maszyn roboczych, Zakopane 2000.
- [36] PN-EN 28402.
- [37] PN-EN-292-1,2.
- [38] PN-EN 29000 (ISO 9000).
- [39] PN-77/N-04005.
- [40] PN-77/N-04010.
- [41] PN-80/N-30000.
- [42] Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn. Praca zbiorowa pod redakcją M. Woropay'a, ITE, Bydgoszcz - Radom 1996.
- [43] Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej. Praca zbiorowa pod redakcją J. Lewitowicza, J. Borgonia, W. Ząbkowicza, ITWL cz.2, Warszawa 1993.
- [44] Rasmussen J.: Information Processing and Human – Machine Interaction, North – Holland, New York 1986.
- [45] Sajecki H.: Jeszcze raz o AW. Problemy Jakości nr 3, 1986.
- [46] Smalko Z., Jaźwiński J.: Wpływ czynnika ludzkiego na poprawne działanie systemów transportowych. Problemy decyzyjne w inżynierii niezawodności, XXVIII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2000.
- [47] Szczurowski A.: Wprowadzenie do teorii powstawania wypadków. PAN, Katowice 1983.
- [48] Sztarski M., Niezawodność eksploatacyjna urządzeń elektronicznych. WKiŁ, Warszawa 1972.
- [49] Trawnicka S.: Badania przestrzennej jakości usług. Problemy Jakości nr 6, 1997.
- [50] Wasilewski L.: Ponadstandardowe oceny jakości systemów firm. Problemy Jakości nr 11, 1998.
- [51] Woropay M.: Metoda oceny realizacji procesu eksploatacji w systemie transportowym. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1998.
- [52] Zalewski R. I.: Wyróżnik jakości oprogramowania komputerowego. Problemy Jakości nr 12, 1997.
- [53] Zarządzanie jakością w przedsiębiorstwie. Praca zbiorowa pod redakcją J. Łańcuckiego, TNOiK, Bydgoszcz 1997.
- [54] Zeithaml V.A., Parasuraman A., Berry L.L.: Delivering Quality Service. New York 1990.
- [55] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 1996.

## CRITERION-BASED QUALITY EVALUATION MODEL FOR A COMPLEX OPERATION SYSTEM

### Summary

The present paper presents a literary coverage on 'quality'. It offers the most crucial, in the opinion of the authors, groups of criteria defining the quality of operation systems, defines the system quality and provides a newly-developed model for evaluating a complex, both in terms of quality and operation, system of operation.

*Key words:* quality, quality criteria, operation system, operation system evaluation model



**Wydawnictwa Uczelniane**  
Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy  
ul. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz  
tel. (052) 379 04 82, 379 04 26, fax 3790427  
e-mail: wydawucz@atr.bydgoszcz.pl

---

### **Monografie, podręczniki i skrypty – 1999**

- J. Flizikowski: **Projektowanie środowiskowe maszyn**, Monografia, 12,00 zł
- J. Flizikowski: **Rozdrabnianie tworzyw sztucznych**, Monografia, 12,00 zł
- W. Jabłoński: **Automatyka i sterowanie**, Podręcznik, 14,50 zł
- M. Jassem: **Genetyka**, Podręcznik, 12,00 zł
- M. Jassem: **Hodowla roślin**, Podręcznik, 12,00 zł
- A. Jazdon, B. Przybyliński: **Technologia napraw maszyn i pojazdów**, Skrypt, 12,50 zł
- J.P. Kluczek: **Biochemiczne metody identyfikacji mikroorganizmów**, Skrypt, 14,00 zł
- S. Łojewski, S. Iwicki: **Kierunki wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich na przykładzie regionu kujawsko-pomorskiego**, Monografia, 30,00 zł
- E. Maćkowska, R. Gogolin: **Nieorganiczna analiza ilościowa**, Podręcznik, 22,50 zł
- Praca zbiorowa pod red. J. Misiewicza: **Przewodnik do zajęć z botaniki**, Skrypt, 16,00 zł
- Praca zbiorowa pod red. Z. Wyszkwoskiej: **Podstawy marketingu**, Skrypt, 9,00 zł
- E. Ranatowski: **Elementy fizyki spajania metali**, Monografia, 27,00 zł
- F. Rudnicki, Z. Skinder: **Zrównoważony rozwój produkcji rolniczej i kształtowanie krajobrazu wiejskiego w regionie kujawsko-pomorskim**, Monografia, 20,00 zł
- K. Sadkiewicz, J. Sadkiewicz: **Urządzenia pomiarowo-badawcze dla przetwórstwa zbożowo-mącznego**, Monografia, 36,00 zł
- T. Topoliński: **Materiałoznawstwo**, Podręcznik, 16,50 zł
- K. Wernerowski: **Kinematyka i dynamika**, Podręcznik, 19,00 zł
- B. Żółtowski, H. Tylicki: **Osprzęt elektryczny pojazdów mechanicznych**, Podręcznik, 20,00 zł

### **Zeszyty Naukowe – 1999**

- Budownictwo 31, 9,50 zł
- Elektrotechnika 12, 7,50 zł
- Mechanika 44, 16,50 zł
- Mechanika 45, 15,50 zł
- Nauki Społeczne 28, 9,00 zł
- Rolnictwo 43, 17,50 zł

Rolnictwo 44, 30,00 zł

Zootechnika 30, 16,00 zł

### Monografie i podręczniki – 2000

M. Chalamoński: **Diagnozowanie układów hydraulicznych**, Podręcznik, 14,50 zł

L. Drelichowski: **Elementy teorii i praktyki zarządzania z technikami informacyjnymi w przedsiębiorstwie**, Monografia, 20,00 zł

L. Drelichowski: **Projektowanie, wdrażanie i eksploatacja systemów zintegrowanych z heterogenicznymi bazami danych**, Monografia, 9,50 zł

E. Dulcet, E. Jarmocik, K. Mójta, W. Ziętara: **Maszyny i urządzenia w technice rolniczej**, Podręcznik, 16,00 zł

J. Flizikowski, K. Bieliński: **Projektowanie środowiskowych procesorów energii**, Monografia, 24,00 zł

A. Gorączko: **Zbiór zadań z chemii ogólnej i nieorganicznej**, Podręcznik, 20,00 zł

S. Ignaczak: **Rośliny zbożowe**, Podręcznik, 9,00 zł

P. Indykiewicz: **Ptaki drapieżne Borów Tucholskich - ochrona i ekologia**, Monografia, 15,00 zł

J. Kaleta, D. Kocańda, M. Skorupa, T. Topoliński: **Metody doświadczalne w zmęczeniu materiałów. Badania podstawowe**, Monografia, 20,00 zł

J.P. Kluczek, A. Kojder: **Mikotoksyny w zarysie**, Podręcznik, 19,00 zł

J.P. Kluczek: **Wybrane zagadnienia z ochrony środowiska**, Podręcznik, 22,00 zł

L. Nowakowska: **Religia a polityka. Uwarunkowania religijne wybranych zachowań politycznych w RFN (1949-1990)**, Monografia, 18,00 zł

Praca zbiorowa: **Zmęczenie i mechanika pękania**, Monografia, 50,00 zł

K. Rosochowicz, J. Sikora, W. Sobczykiewicz: **Metody doświadczalne w zmęczeniu materiałów i konstrukcji. Badania konstrukcji**, Monografia, 16,00 zł

S. Smarzyński: **Badania procesu technologicznego zgrzewania i kształtowania tarcowego rur**, Monografia, 2000, 16,00 zł

S. Zielińska-Kaniasty: **Zbiór zadań z fizyki z rozwiązaniami**, Podręcznik, 18,00 zł

### Zeszyty Naukowe – 2000

Budownictwo 31, 9,50 zł

Mechanika 46, 25,00 zł

Mechanika 47, 24,00 zł

Nauki Społeczne 29, 10,00 zł

Rolnictwo 45, 13,00 zł

Zootechnika 31, 13,50 zł

Zootechnika 32, 11,00 zł

---

Publikacje Wydawnictw Uczelnianych można nabywać  
w punkcie sprzedaży przy ul. Ks. A. Kordeckiego 20, bud. F tel. 052 3790422



ISSN 0208-6395