

Badanie modelu diagnostyczno – niezawodnościowo – bezpieczeństwa systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych

Przedstawiono możliwości zastosowań modelu systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych. W modelu istnieje możliwość uwzględnienia wybranych aspektów diagnostycznych, niezawodnościowych i bezpieczeństwa w procesach eksploatacji lokomotyw. Opisano pakiet programów do badań modelu. Sformułowano przykładowy problem badawczy. Zdefiniowano kryteria oceny systemu eksploatacji lokomotyw odwzorowanego modelem. Zamieszczono wybrane wyniki badania sformułowanego wcześniej problemu badawczego.

1. Wprowadzenie

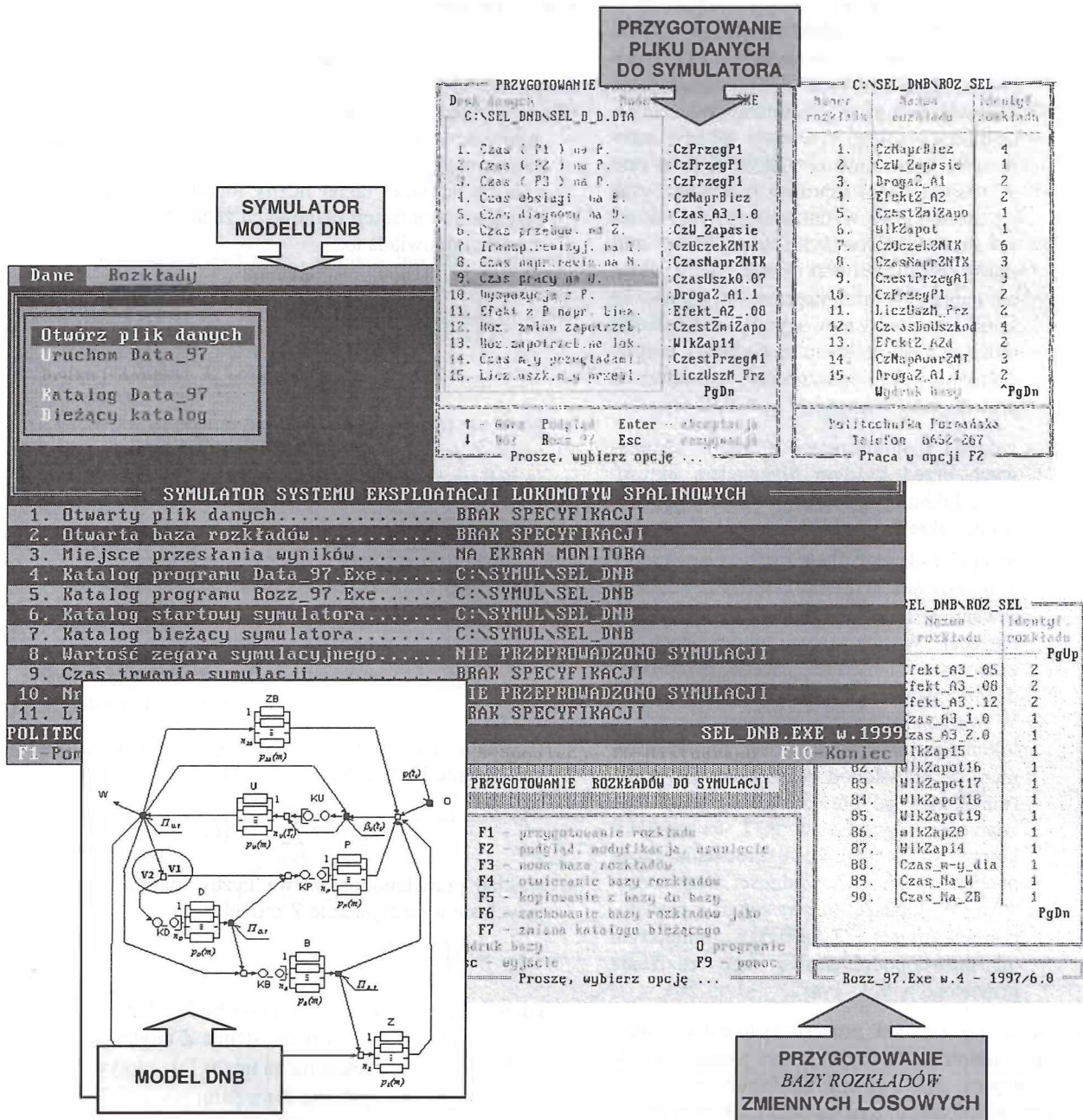
Symulacja komputerowa urosła w ostatnich dekadach do rangi trzeciego metodycznego filaru nauki – obok teorii i eksperymentu trudno dzisiaj nie wymienić jej jako trzeciego zasadniczego sposobu prowadzenia badań naukowych [4]. Problematyce symulacji komputerowej poświęcona jest niniejsza praca. Jest ona kontynuacją tematyki modelowania i symulacji systemów eksploatacji lokomotyw zainicjowanej w artykule [3]. Przedstawiono tam model DNB systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych, którym odwzorowano wybrane aspekty diagnostyczne, niezawodnościowe i bezpieczeństwa w procesach eksploatacji lokomotyw. Zamieszczono opis formalny modelu matematycznego. Zdefiniowano m.in. model sumarycznego zadania nakładanego na system i na tej podstawie zaproponowano miarę gotowości systemu eksploatacji lokomotyw. Model matematyczny odwzorowano w postaci komputerowego modelu symulacyjnego SEL_DNB.EXE.

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja możliwości aplikacyjnych modelowania i symulacji komputerowej na przykładzie badania wybranych aspektów diagnozowania,

niezawodności bezpieczeństwa w systemach eksploatacji lokomotyw.

2. Pakiet programów symulacyjnych

Model DNB odwzorowany w symulatorze cyfrowym SEL_DNB.EXE, dla wygody zastosowań, powinien być uruchamiany w pakiecie z dwoma programami pomocniczymi: ROZZ_97.EXE i DATA_97.EXE. Ogólny ideowy schemat takiego pakietu programów przedstawiono na rys. 1. Do badań modelu DNB, głównym programem pakietu jest SEL_DNB.EXE. Programy pomocnicze pakietu programów służą przygotowywaniu danych do eksperymentów symulacyjnych. Program Rozz_97.Exe przewidziany jest do tworzenia bazy danych w postaci rozkładów zmiennych losowych. Program Data_97.Exe służy przygotowywaniu plików z danymi do symulatora cyfrowego według odpowiednio przygotowanej listy danych. Dokumentację użytkową opisanych tu programów pakietu zawiera praca [5].



Rys. 1. Ogólny ideowy schemat pakietu programów do badań MODELU DNB

3. Badanie modelu systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych

3.1. Przykładowy problem badawczy

Poszukuje się odpowiedzi na pytanie: *jaki jest wpływ wprowadzenia diagnostyki drganiowej spalinowych silników trakcyjnych na wybrane systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych.*

Za uzasadnienie podjętego problemu badawczego mogą służyć następujące stwierdzenia. Zastosowanie diagnostyki wymaga dodatkowych operacji (pomiarów) na specjalnym stanowisku diagnostycznym i wyduża procesy obsługiwania.

Efektom wprowadzenia diagnostyki niektórych zespołów lokomotyw spalinowych (np. silników spalinowych) jest wcześniejsze zauważenie symptomów uszkodzeń. Prowadzi to wtedy do uniknięcia lub zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia stanów zawodności bezpieczeństwa [1,2] i stanów zawodności sprawności [1,2] lokomotyw lub ich obiektów technicznych.

Odpowiedzi na postawione pytanie poszukuje się rozpatrując dwa warianty działania systemu (znaczenie użytych dalej zmiennych wyjaśniono w [3]):

- *wariant V.1* – zakłada eksploatację bez prowadzenia okresowego diagnozowania silników spalinowych lokomotyw. W tym wariacie, rze-

czywisty stan techniczny silników spaliny-
wych, identyfikowany jest w trakcie prze-
prowadzania napraw bieżących lokomotyw,
wynikających z uszkodzeń silników spali-
nowych. Przyjęto, że z prawdopodobień-
stwem $\Pi_{BZ}=0,08$ (rys. 2), przeprowadzenie
naprawy silników przekracza możliwości
techniczne lokomotywowni. Wtedy loko-
motywa kierowana jest do ZNTK w celu
przeprowadzenia naprawy awaryjnej i czas
jej niezdatności wydłuża się o: czas ocze-
kiwania na przesłanie do ZNTK, czas
transportu, czas oczekiwania na rozpoczę-
cie naprawy i czas naprawy awaryjnej. Ta
sama lokomotywa w wyniku uszkodzenia
może przejść do stanu zawodności bezpie-
czeństwa (**W** - opuszczenie systemu) z
prawdopodobieństwem $\Pi_{BW}=0,01$ (rys. 2);

- *wariant V.2* – zakłada diagnozowanie silników spalino-
wych przed każdym przeglądem okreso-
wym lokomotyw. Czas trwania diagnozo-
wania określa rozkład $p_D(m)$. W wyniku
przeprowadzonej diagnostyki, z prawdopo-
dobieństwem $\Pi_{DB}=0,08$ lokomotywa kie-
rowana jest do przeprowadzenia naprawy
bieżącej. W pozostałych przypadkach lo-
komotywa kierowana jest do przeprowa-
dzenia planowego przeglądu okresowego.
W wariantcie drugim, naprawa bieżąca w
lokomotywni kończy się niepowodze-
niem z prawdopodobieństwem $\Pi_{BZ}=0,01$
(mniejszym od prawdopodobieństwa tego
zdarzenia przyjętego w V.1). Ta sama lo-
komotywa w wyniku uszkodzenia może
przejść do stanu zawodności bezpieczeń-
stwa (**W** - opuszczenie systemu) z prawdo-
podobieństwem $\Pi_{BW}=0,005$ (mniejszym
od prawdopodobieństwa tego zdarzenia
przyjętego w V.1 - rys. 2);

Pozostałe charakterystyki procesu eksploatacji loko-
motyw – w obu wariantach – przyjmowano jednakowe. W
obu wariantach przyjęto m.in., że Zakład Taboru, w ramach
badanego systemu eksploatacji, dysponuje 25 lokomotywami
przeznaczonymi do obsługi ruchu pasażerskiego. W kolej-
nych doświadczeniach przyjmowano, że do realizacji plano-
wych zadań przewozowych Zakład Taboru powinien zapew-
nić odpowiednio:

- 14(doświadczenie D.1),
- 15(doświadczenie D.2),
- 16(doświadczenie D.3),
- 17(doświadczenie D.4),
- 18(doświadczenie D.5),
- 19(doświadczenie D.6)

lokomotyw do obsługi ruchu kolejowego.

3.2. Eksperyment symulacyjny i wyniki eksperymentu

• Kryteria oceny

Ocenę efektywności systemu w obu wariantach eksplo-
atacji lokomotyw spalinyowych, przeprowadzono na podsta-
wie następujących charakterystyk efektywnościowych:

- gotowość systemu rozumianą jako prawdopodobieństwo
możliwości dostarczenia przez Zakład Taboru każdego
dnia co najmniej takiej liczby lokomotyw jaka jest wy-
magana do realizacji planowych zadań przewozowych; w
modelu odpowiada to:

$$\Gamma(T) = \frac{Z_U(T)}{v_U(T)} = \frac{\sum_{i=1}^M \min\{n_U(T_i), v_U(T_i)\}}{\sum_{i=1}^M v_U(T_i)} \quad (1)$$

- gdzie poszczególne zmienne rozumiane są jak w pracy[3].
- rozkład prawdopodobieństwa liczby lokomotyw znajdu-
jących się na stanowisku podsystemu **U** modelu:

$$p_U = P\{L_U = k\}, \quad \text{gdzie } k = 0, 1, 2, \dots, n_{U_{\max}}, \quad (2)$$

- gdzie: L_U – zmienna losowa będąca liczbą loko-
motyw na stanowisku w podsystemie **U**
modelu,
- $n_{U_{\max}}$ – maksymalna liczba lokomotyw na sta-
nowisku w podsystemie **U** modelu;

- średnia liczba lokomotyw znajdujących się na stanowisku
podsystemu **U** modelu:

$$\bar{L}_U = \sum_{k=0}^{n_{U_{\max}}} k \cdot P\{L_U = k\}; \quad (3)$$

- rozkład prawdopodobieństwa liczby lokomotyw znajdu-
jących się w podsystemie **Z** modelu:

$$p_Z = P\{L_Z = k\}, \quad \text{gdzie } k = 0, 1, 2, \dots, n_{Z_{\max}}, \quad (4)$$

- gdzie: L_Z – zmienna losowa będąca liczbą loko-
motyw w podsystemie **Z** modelu,
- $n_{Z_{\max}}$ – maksymalna liczba lokomotyw w pod-
systemie **Z** modelu;

- średnia liczba lokomotyw znajdujących się w podsys-
temie **Z** modelu:

$$\bar{L}_Z = \sum_{k=0}^{n_{Z_{\max}}} k \cdot P\{L_Z = k\}; \quad (5)$$

- rozkład prawdopodobieństwa liczby lokomotyw, które
opuszczają system w wyniku zawodności bezpieczeństwa
w okresie 1095 dni kalendarzowych; w modelu odpowia-
da to rozkładowi liczby lokomotyw, które przeszły w
okresie 1095 dni (3 lata) do podsystemu **W**:

$$p_W = P\{L_W = k\}, \quad \text{gdzie } k = 0, 1, 2, \dots, n_{W_{\max}}, \quad (6)$$

- gdzie: L_W – zmienna losowa będąca liczbą loko-
motyw w podsystemie **W** modelu,
- $n_{W_{\max}}$ – maksymalna liczba lokomotyw w pod-
systemie **W** modelu;

- średnia liczba lokomotyw, które opuszczają system w wyniku zawodności bezpieczeństwa w okresie 1095 dni kalendarzowych; w modelu odpowiada to średniej liczbie lokomotyw, które przeszły w okresie 1095 dni (3 lata) do podsystemu **W** wyznaczonej z zależności:

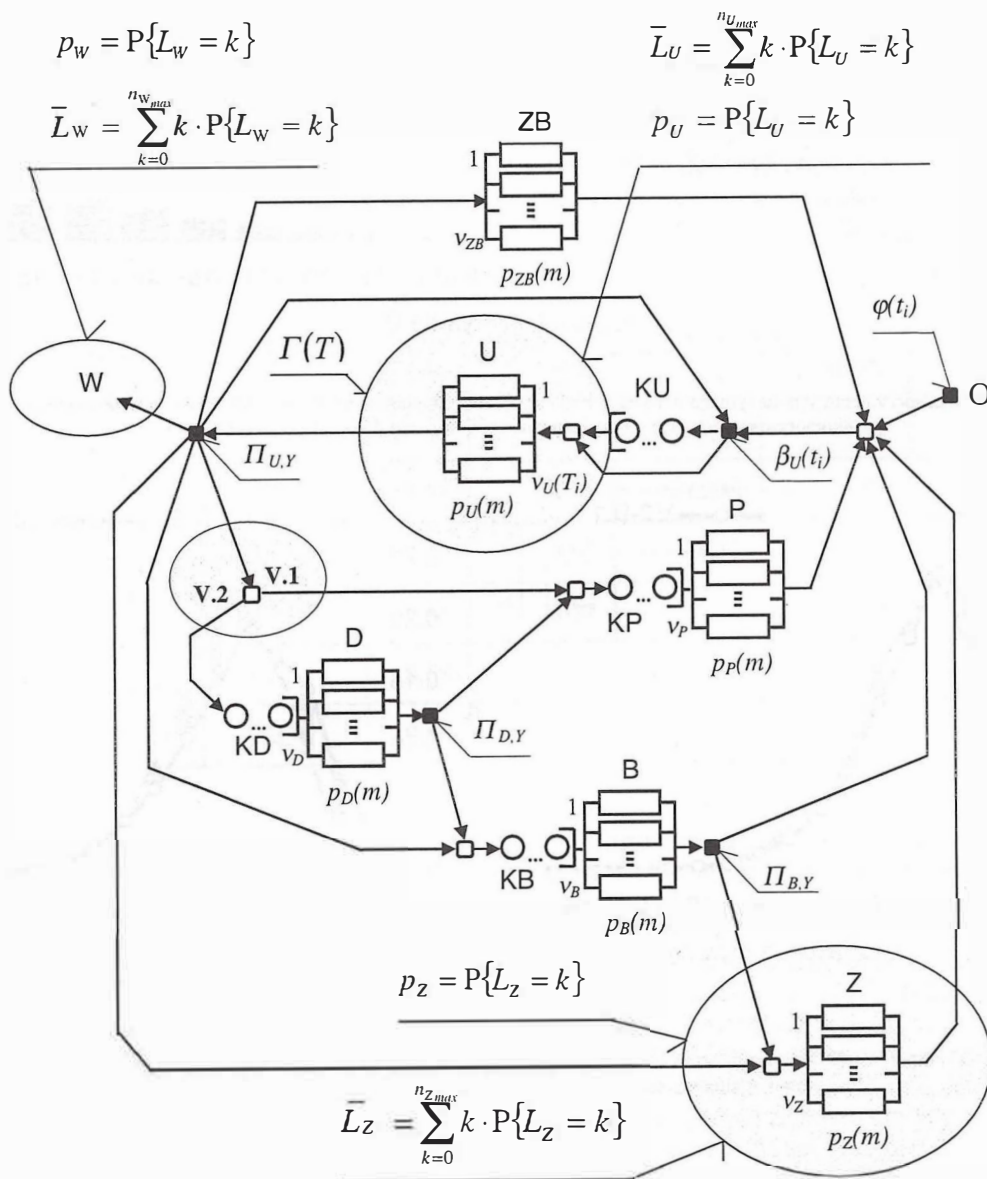
$$\bar{L}_W = \sum_{k=0}^{n_{Wmax}} k \cdot P\{L_W = k\}. \quad (7)$$

• Wyniki eksperymentu

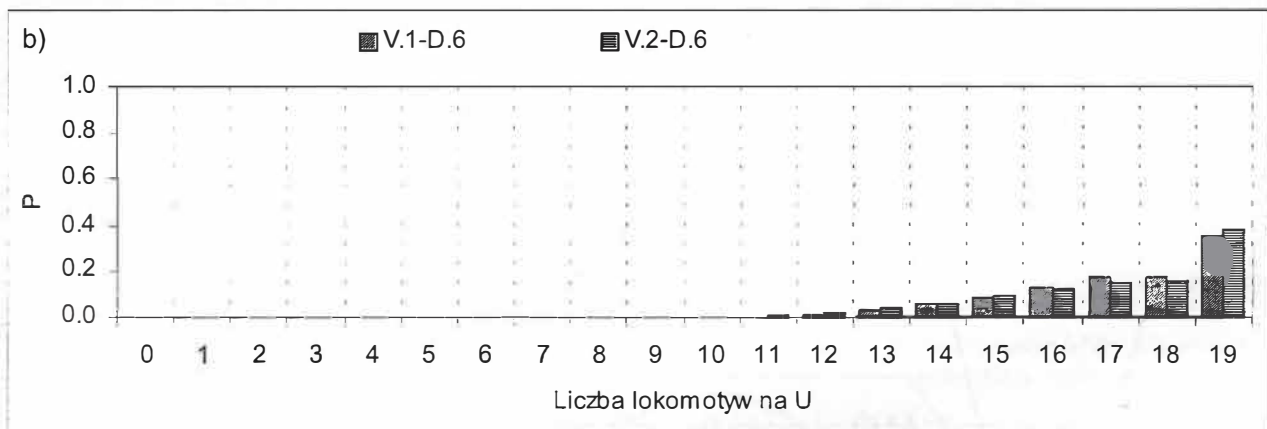
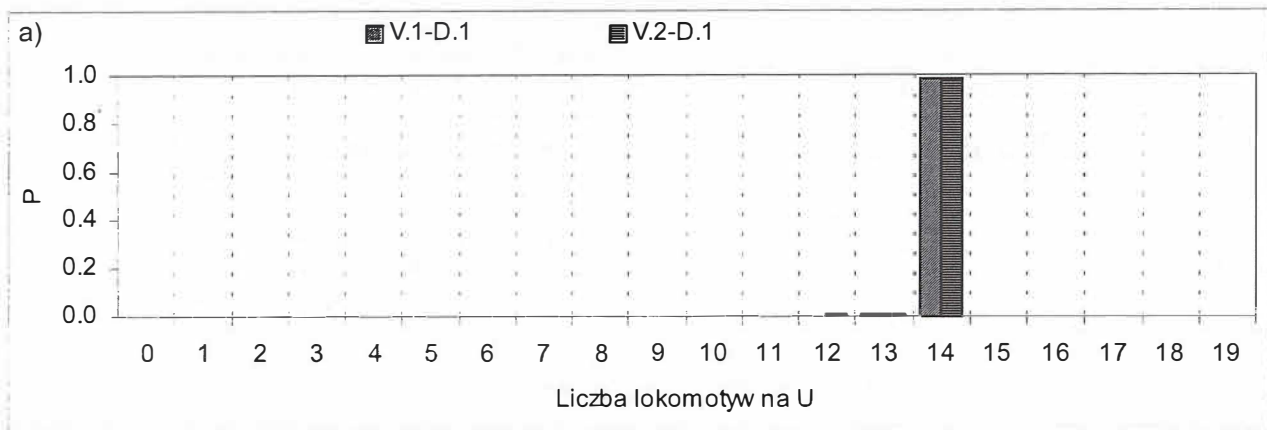
Na rys. 2 przedstawiono miejsca modelu, w których zbierano wyniki symulacji dla opracowania charakterystyk efektywnościowych systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych.

Punktowe charakterystyki efektywnościowe systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych (gotowość systemu eksploatacji, średnia liczba lokomotyw na stanowisku **U**, średnia liczba lokomotyw na stanowisku **Z**, średnia liczba lokomotyw w podsystemie **W**) dla obu wariantów procesu eksploatacji zawarto w tabelcy 1.

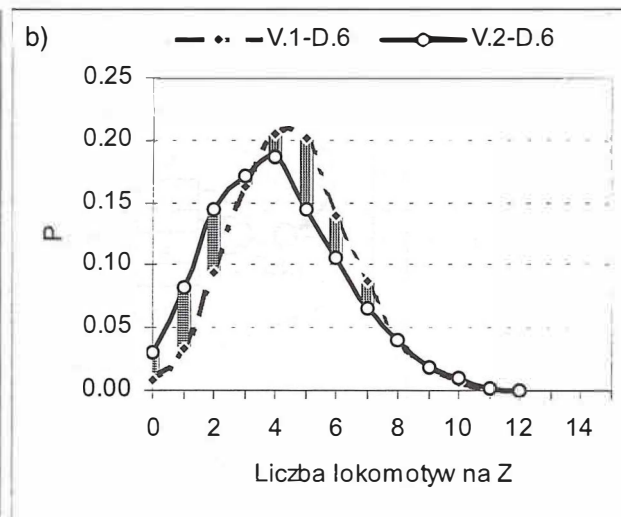
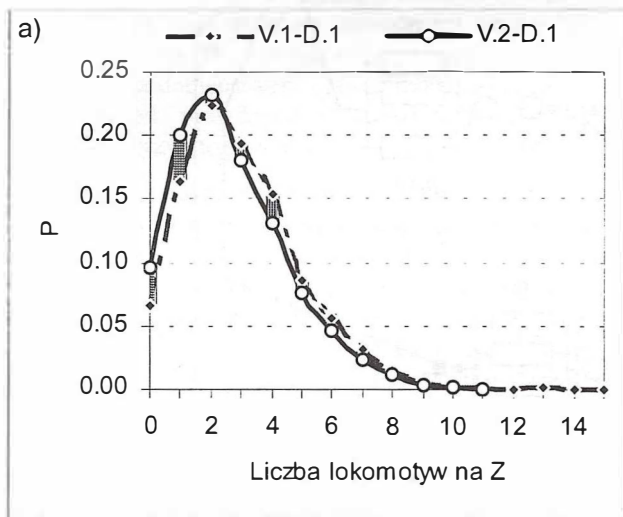
Charakterystyki funkcyjne oceny efektywności badanego systemu (rozkłady liczb lokomotyw na stanowisku **U**, rozkłady prawdopodobieństwa liczby lokomotyw, które opuszczają system w wyniku zawodności bezpieczeństwa i rozkłady liczb lokomotyw na stanowisku **Z**), dla warunków funkcjonowania systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych odpowiadających przyjętym podczas eksperymentu symulacyjnego w doświadczeniach D.1 i D.6, pokazano na rys. 3, 4 i 5.



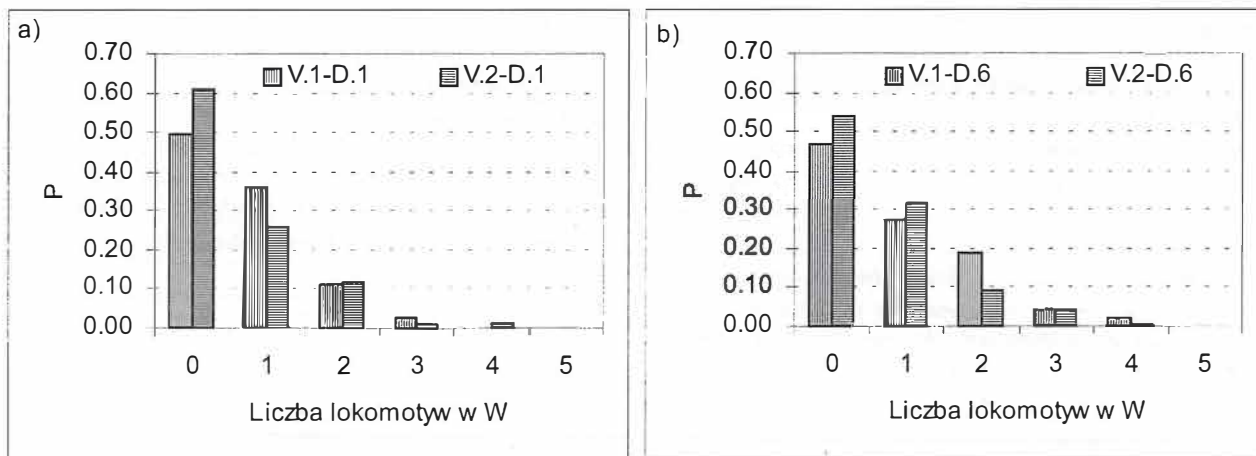
Rys. 2. Schemat ideowy miejsc zbierania wyników eksperymentu symulacyjnego na tle modelu DNB systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych (wyjaśnienie oznaczeń w tekście i w pracy [3])



Rys. 3. Wyniki eksperymentu symulacyjnego w postaci rozkładu liczby lokomotyw na stanowisku U, dla warunków eksploatacji lokomotyw spalinowych jak w doświadczeniu D.1 (a) i doświadczeniu D.6 (b)



Rys. 4. Wyniki eksperymentu symulacyjnego w postaci rozkładu liczby lokomotyw na stanowisku Z, dla warunków eksploatacji lokomotyw spalinowych jak w doświadczeniu D.1 (a) i doświadczeniu D.6 (b)



Rys. 5. Wyniki eksperymentu symulacyjnego w postaci rozkładu liczby lokomotyw w podsystemie W, dla warunków eksploatacji lokomotyw spalinowych jak w doświadczeniu D.1 (a) i doświadczeniu D.6 (b)

Tabela 1

Zestawienie wybranych wyników eksperymentu symulacyjnego w pierwszym i drugim wariancie procesu eksploatacji lokomotyw spalinowych

Lp.	Wyszczególnienie charakterystyk	Wariant eksploatacji	Identyfikatory doświadczeń eksperymentów					
			D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
1.	Gotowość systemu eksploatacji	V.1	0,936	0,828	0,719	0,585	0,461	0,320
		V.2	0,964	0,865	0,757	0,642	0,483	0,358
2.	Średnia liczba lokomotyw na stanowisku U	V.1	13,87	14,60	15,32	15,92	16,41	16,92
		V.2	13,93	14,74	15,39	15,96	16,52	16,87
3.	Średnia liczba lokomotyw na stanowisku Z	V.1	3,09	3,95	4,11	4,28	4,23	4,25
		V.2	2,84	3,37	3,65	3,75	4,00	3,85
4.	Średnia liczba lokomotyw wyłączonych z systemu W	V.1	0,68	0,82	0,95	0,99	1,01	0,88
		V.2	0,56	0,68	0,54	0,46	0,50	0,66

4. Uwagi końcowe

Modelowanie w badaniu systemów technicznych znacznie wzbogaca i przyspiesza prace nad doskonaleniem ich charakterystyk użytkowych, zarówno w trakcie projektowania, jak i eksploatacji.

Efektywność systemów technicznych zależy od wielu parametrów. Oszacowanie wpływu tych parametrów przy określonych strategiach działania systemów technicznych wymaga wykonania wielu obliczeń.

Wobec złożoności warunków działania systemów eksploatacji lokomotyw spalinowych jedną z najefektywniejszych metod badania tych systemów jest metoda symulacji komputerowej.

Możliwości aplikacyjne symulacji komputerowej do badania wybranych aspektów diagnozowania, niezawodności i bezpieczeństwa pokazano prezentując rozwiązanie przykładowego problemu badawczego.

Przeprowadzone analizy potwierdzają oczekiwane reakcje modelu komputerowego SEL_DNB.Exe. Analiza rezultatów eksperymentu symulacyjnego pozwala stwierdzić m.in., że większą efektywność ma system odpowiadający wariantowi V.2. Spowodowane jest to głównie zmniejszającą się liczbą lokomotyw, których naprawę trzeba przeprowadzić w ZNTK oraz zmniejszenie liczby lokomotyw eliminowanych z systemu w wyniku zawodności bezpieczeństwa. Świadczy to o podatności tego modelu do ilościowej analizy innych sytuacji eksploatacyjnych.

Literatura

- [1] Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K., *Bezpieczeństwo systemów*. PWN, Warszawa 1993.
- [2] Kadziński A., Mierzejewski E., *Ilościowa analiza stanów bezpieczeństwa systemu człowiek – technika kolejowa – środowisko*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria MRiP, nr 47, 1997, s. 45÷62.
- [3] Kadziński A., Woźniak A., *Model diagnostyczno – niezawodnościowo – bezpieczeństwa systemu eksploatacji lokomotyw spalinowych*. Pojazdy Szynowe 3/2000, s. 47÷52.
- [4] Kleiber M., *Modelowanie i symulacja komputerowa – moda czy naturalny trend rozwoju nauki*. Nauka, kwartalnik PAN, 4/1999, s. 29÷41.
- [5] *Modernizacja pakietu komputerowych modeli symulacyjnych systemów eksploatacji kolejowych pojazdów szynowych*. Raport z badań prowadzonych w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej, 1997, temat TB-52-671/97, kierownik tematu A. Kadziński, nie publikowane.
-