ROZPRAWA DOKTORSKA

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO – PRZYRODNICZY
im J. i J. ŚNIADECKICH
w BYDGOSZCZY

ROZPRAWA DOKTORSKA

TEMAT: ***OCENA BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO NA PODSTAWIE ANALIZY USZKODZEŃ AUTOBUSÓW***

Doktorant: mgr inż. Piotr BOJAR

Promotor: prof. dr hab. inż. Maciej WOROPAY

BYDGOSZCZ 2009

Biblioteka Główna UTP w Bydgoszczy
000000138336

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Bydgoszcz
D 355

09D47/1

SPIS TREŚCI

1 **WPROWADZENIE**..... 2

2 **ANALIZA PROBLEMU BEZPIECZEŃSTWA.** 5

2.1 Pojęcie i definicje bezpieczeństwa. 5

2.2 Metody oceny bezpieczeństwa systemów. 7

2.3 Analiza przyczyn powstawania zdarzeń niepożądanych w systemach transportu drogowego. 13

2.3.1 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z funkcjonowania pojazdu w stanie ograniczonej zdatności. 15

2.3.2 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z oddziaływania czynników zewnętrznych. 22

2.3.3 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych oddziaływań czynników antropotechnicznych. ... 22

2.3.3.1 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych działań operatorów środków transportu. 23

2.3.3.2 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych oddziaływań pasażerów. 25

2.3.3.3 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych oddziaływań ludzi usytuowanych w otoczeniu systemu. 26

3 **SYSTEMOWE UJĘCIE OPISU BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO.** 27

3.1 Algorytm oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego..... 27

4 **OBIEKT I PRZEDMIOT BADAŃ.** 33

4.1 Rola i znaczenie transportu miejskiego. 33

4.1.1 Istota, funkcje i potrzeby transportowe. 35

4.1.2 Usytuowanie autobusowego transportu miejskiego w strukturze systemu transportowego. 37

4.2 Obiekt i przedmiot badań. 41

5 MODEL WSTĘPNY OCENY BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA SYSTEMU MIEJSKIEJ KOMUNIKACJI AUTOBUSOWEJ. 43

5.1 Kryteria bezpiecznego działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej. 43

5.1.1 Dobór miar do oceny bezpieczeństwa działania środków transportu. 47

5.1.2 Dobór miar do oceny oddziaływania otoczenia na ludzi oraz środki transportu. 49

5.1.3 Dobór miar do oceny działań operatorów środków transportu. 54

6 GENEZA, TEZA I CEL PRACY. 56

6.1 Geneza pracy. 56

6.2 Teza pracy. 59

6.3 Cel pracy. 59

7 BUDOWA MODELU WYNIKOWEGO OCENY BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA ŚRODKÓW TRANSPORTU MIEJSKIEGO NA PODSTAWIE ANALIZY ICH USZKODZEŃ. 60

8 BADANIA EKSPLOATACYJNE. 68

8.1 Identyfikacja obiektu badań. 68

8.2 Program badań eksploatacyjnych. 83

8.3 Zasady pozyskiwania danych eksploatacyjnych. 84

8.3.1 Pozyskiwanie danych dotyczących bezpieczeństwa działania środków transportu. 87

8.4 Wybrane wyniki badań eksploatacyjnych. 91

8.5 Badanie modelu. 98

8.6 Analiza wyników badań. 108

8.7 Weryfikacja modelu oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej. 117

9 WNIOSKI. 121

10 LITERATURA. 123

1. WPROWADZENIE

Transport jako ogół środków i działań związanych z przemieszczaniem osób i ładunków rzeczowych odgrywa ważną rolę w gospodarce każdego kraju, spełnia w państwie funkcję ekonomiczną oraz integracyjną pomiędzy obszarami zurbanizowanymi jak również na terenach aglomeracji miejskich.

Zaspokajanie potrzeb przewozowych na terenach zurbanizowanych odbywa się przy wykorzystaniu indywidualnych środków transportu, a także transportu zbiorowego. Drogowy transport zbiorowy w porównaniu z transportem indywidualnym cechuje wiele zalet, z których najważniejsze to: możliwość jednorazowego transportowania większej liczby osób, zmniejszenie natężenia ruchu pojazdów, zmniejszenie natężenia hałasu i emisji spalin do środowiska. *Szczególnym rodzajem drogowego transportu zbiorowego jest transport miejski,* obejmujący również tereny podmiejskie, znajdujące się poza granicami administracyjnymi miasta, lecz spełniające analogiczne funkcje jak dzielnice miasta.

O dużej roli i znaczeniu transportu miejskiego świadczą [118, 131]:

- realizacja zadań transportowych na terenie miasta oraz w strefie podmiejskiej,
- zapewnienie dostępności do sieci transportowej,
- zapewnienie odpowiedniej częstotliwości, punktualności i szybkości przewozów,
- zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa przewożonych pasażerów.

Najpopularniejszą komunikacją w transporcie miejskim jest komunikacja autobusowa, w której do przewozów pasażerów wykorzystuje się istniejącą infrastrukturę drogową, bez konieczności budowania dodatkowych trakcji.

Pomimo zalet charakteryzujących komunikację autobusową jest ona źródłem różnego rodzaju zagrożeń. Według autorów prac [85, 102, 125, 127, 148] zagrożenie

to możliwość powstawania strat w wyniku zajścia pojedynczego zdarzenia niepożądanego.

W pracy jako ***zdarzenie niepożądane przyjęto zdarzenie w wyniku zajścia którego powstają straty materialne, bądź dochodzi do utraty zdrowia lub życia ludzi usytuowanych w systemie lub w jego otoczeniu.***

W związku z powyższym za zdarzenie niepożądane należy uważać kolizje oraz wypadki drogowe. W pracy [93] ***kolizje zdefiniowano jako zdarzenia których skutkiem są wyłącznie straty materialne, natomiast wypadek drogowy to zdarzenie zaistniałe w obrębie przestrzeni drogowej, w wyniku którego została zabita lub ranna co najmniej jedna osoba.***

Powstawanie zdarzeń niepożądanych może być wynikiem zmian stanu zdatności środków transportu [146, 151], poziomów oddziaływań czynników wymuszających otoczenia [158] oraz niewłaściwych działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu [154].

Każde zajście zdarzenia niepożądanego w systemie powoduje obniżenie bezpieczeństwa jego działania.

W pracach dotyczących bezpieczeństwa systemów transportowych i bezpieczeństwa ruchu drogowego [32, 95, 142, 162] ocenie poddano wpływ czynnika ludzkiego, który inicjuje zdarzenia niepożądane. Wynika to w głównej mierze z tego, że autorzy tych prac dokonują oceny bezpieczeństwa na podstawie analizy policyjnych baz danych, zawierających liczby i rodzaje zdarzeń niepożądanych oraz liczby osób zabitych i rannych w wyniku zaistniałych zdarzeń.

Podstawowym dokumentem źródłowym systemu ewidencji wypadków jest karta zdarzeń drogowych, którą funkcjonariusze Policji wypełniają na miejscu zdarzenia, według własnej subiektywnej oceny jego przebiegu i okoliczności towarzyszących. Należy zwrócić uwagę, że po zdarzeniu drogowym z reguły nie oceniania się stanu technicznego pojazdu z powodu wysokich kosztów ekspertyz oraz ich czasochłonności.

Z tego powodu jako najczęstszą przyczynę zajścia zdarzenia drogowego przyjmuje się niewłaściwe działania czynnika ludzkiego, np.: (niedostosowanie prędkości

pojazdu do panujących warunków drogowych, niewłaściwe przechodzenie przez jezdnię, itd.).

W prezentowanej literaturze z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego i bezpieczeństwa systemów transportowych brak jest opisu modeli i wiarygodnych metod, za pomocą których można by dokonywać oceny bezpieczeństwa działania systemów transportu drogowego na podstawie analizy uszkodzeń środków transportu.

2. ANALIZA PROBLEMU BEZPIECZEŃSTWA

2.1 Pojęcia i definicje bezpieczeństwa

W teorii bezpieczeństwa wykorzystuje się wiele różnych pojęć z wielu dyscyplin naukowych, takich jak: teoria systemów, automatyka, teoria niezawodności, diagnostyka, ergonomia, socjologia itd. Zawiera ona opis zdarzeń zagrażających zdrowiu ludzi, istnieniu obiektów technicznych i środowisku naturalnemu, oraz opisuje zasady analizy systemów z punktu widzenia bezpieczeństwa [40].

W pracy [23] autorzy stwierdzają, że nauka o bezpieczeństwie, nazywana również inżynierią bezpieczeństwa, jest nauką o metodach zapobiegania stratom, w których, na podstawie wyników badań modeli systemów socjotechnicznych, człowiek – obiekt techniczny – otoczenie ⟨C – OT – O⟩, można weryfikować decyzje dotyczące sterowania poziomem bezpieczeństwa systemu.

Ponadto stratę definiuje się jako negatywny skutek zdarzenia niepożądanego [26], tzn. takiego zdarzenia, którego zajście w rozpatrywanym fragmencie systemu ⟨C – OT – O⟩ wywołuje stany zagrożeń [124].

Problem zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa działania systemów występuje w wielu gałęziach gospodarki narodowej. Przykładem takiego systemu jest system transportowy będący systemem socjotechnicznym, w którym zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa jest szczególnie istotne ze względu na człowieka, który w systemie występuje jako operator środków transportu, pasażer oraz występuje w otoczeniu systemu (rowerzysta, pieszy, inny uczestnik ruchu drogowego).

Pomimo istnienia dużej liczby prac dotyczących bezpieczeństwa nie opracowano dotychczas jednolitej metody oceny bezpieczeństwa działania systemów transportowych. Wynika to przede wszystkim z różnorodności systemów występujących w analizie literatury przedmiotu oraz istnieniu wielu różnych definicji opisujących bezpieczeństwo systemu [10, 13, 40, 41, 59, 117, 119, 129, 130].

Autorzy prac [21, 58, 109, 128] określają bezpieczeństwo jako pewną zdolność systemu do:

- *funkcjonowania nie powodującego wysokich strat [128];*
- *pozostawania w stanie ryzyka nie większego od wartości krytycznej [58];*
- *przeciwdziałania zagrożeniom [109];*
- *ochrony wewnętrznych wartości przed zewnętrznymi zagrożeniami [21].*

W pracach [12, 23, 33, 131,139], zdefiniowano bezpieczeństwo systemu jako jego właściwość:

1 *polegającą na zdolności do realizacji zadania w określonych warunkach i określonym czasie, bez zaistnienia skutków społecznie nieakceptowanych [23];*
2 *charakteryzującą się odpornością na powstawanie sytuacji niebezpiecznych [139];*
3 *taką, że poziom ryzyka, jaki system stwarza w swoim cyklu życia we właściwym mu systemie człowiek – obiekt techniczny – otoczenie, nie przewyższa wartości akceptowalnych [12];*
4 *wyrażającą zdolność systemu do zapobiegania przekraczaniu dopuszczalnego poziomu ryzyka, a ponadto powstawania uszkodzeń powodujących niezdatności krytyczne (stwarzające zagrożenia dla ludzi i pociągające za sobą znaczne straty materialne lub inne niedopuszczalne skutki) [131];*
5 *która odzwierciedla stan akceptowalnego ryzyka z uwagi na obiekt techniczny, człowieka i otoczenie [23].*

Właściwość definiuje się jako cechę, która pozwala odróżnić pewne systemy (obiekty), od systemów (obiektów), które tych cech nie posiadają [159].

Natomiast bezpieczeństwo, jako *cechę systemu umożliwiającą spełnianie kryteriów z punktu widzenia bezpieczeństwa,* opisują autorzy prac [5, 101, 118, 119, 124], przy czym cecha ta nazywana jest *bezpiecznością.*

W pracy [119, 120] autor wyraźnie rozróżnia pojęcia bezpieczności i bezpieczeństwa, definiując bezpieczeństwo jako stan systemu *w którym nie występują zagrożenia,* przyjmując, że *zagrożenie to zdarzenie powodujące obniżenie poziomu bezpieczeństwa systemu.* Podobny pogląd prezentują autorzy prac [5, 6, 25, 51].

Większość prezentowanych w literaturze przedmiotu definicji dotyczy bezpieczeństwa systemów transportowych, natomiast niewiele z nich dotyczy bezpieczeństwa realizacji przewozów. Próbę zdefiniowania bezpieczeństwa realizacji przewozów przedstawiono w pracy [10], definiując *bezpieczeństwo realizacji zadania transportowego* jako *właściwość systemu transportowego charakteryzującą jego zdolność do przeciwstawiania się wypadkom.*

Z analizy omawianej literatury wynika, że autorzy tych prac wyróżniają trzy podstawowe pojęcia dotyczące bezpieczeństwa systemów transportowych: ***bezpieczeństwo systemu*** (jako *jego stan*), **bezpieczność systemu** (jako *jego cechę*) oraz ***bezpieczeństwo realizacji przewozów***.

Na tej podstawie opracowano definicję pojęcia ***bezpieczeństwa działania systemu transportowego***, o następującym brzmieniu:

bezpieczeństwo działania systemu transportowego jest to, jego stan w którym wartości wyróżnionych cech opisujących ten system w ustalonym przedziale czasu t, $t \subset [t_0, t_k]$ ***mieszczą się w ustalonych granicach przy określonych poziomach oddziaływań czynników wymuszających.***

2.2 Metody oceny bezpieczeństwa systemów

Ze względu na różnorodność systemów poddawanych ocenie, wypracowano zróżnicowane metody, służące do oceny poziomu bezpieczeństwa ich działania.

Systemy, w których szczególnie ważna jest ocena bezpieczeństwa działania to systemy transportowe, a wśród tych systemów - systemy transportu drogowego, ponieważ najwyższe wartości wskaźników dotyczące liczby osób zabitych i rannych przypadających na sto wypadków, charakteryzują właśnie te systemy.

Przyczynami powstawania tych wypadków są niepożądane oddziaływania czynników wymuszających, które klasyfikujemy na: antropotechniczne, zewnętrzne i robocze. Oddziaływanie tych czynników jest szczególnie istotne na terenach

zurbanizowanych w których występuje nagromadzenie różnorodnych środków transportu.

Nadmierna liczba pojazdów, zróżnicowany ich stan techniczny oraz niedostosowana do ich liczby infrastruktura stanowią częstą przyczynę wypadków i kolizji. Ze względu na ludzi usytuowanych w tych systemach oraz ich otoczeniu istotne jest wypracowanie metody służącej do oceny i racjonalnego sterowania poziomem bezpieczeństwa działania tego typu systemów. W szczególności dotyczy to systemów zbiorowego transportu drogowego, spośród których najpopularniejszym jest komunikacja autobusowa.

Z uwagi na powyższe w niniejszym rozdziale podjęto próbę klasyfikacji i weryfikacji metod służących do oceny bezpieczeństwa działania systemów transportowych.

Bez względu na rodzaj systemu transportowego ocena bezpieczeństwa [7, 9, 10, 14, 16,39, 40, 47, 69, 60, 81, 82, 84, 86, 91, 112, 113, 114, 159] odbywa się poprzez ocenę poziomu ryzyka, czyli ocenę liczby zajść zdarzeń niepożądanych oraz ich skutków. Do identyfikacji tych zdarzeń wykorzystuje się metody, które najogólniej można podzielić na cztery zasadnicze grupy:

A. **METODY PORÓWNAWCZE**, w których wykorzystywana jest wiedza z analiz bezpieczeństwa podobnych systemów. Jedną z najczęściej wykorzystywanych w praktyce jest metoda *list kontrolnych* (***Check List - CHL***) [19] - która wykorzystywana jest przede wszystkim do oceny różnego rodzaju procesów (np. procesu realizacji zadania transportowego). Istotą tej metody jest sprawdzenie poszczególnych etapów procesu przy wykorzystaniu gotowych zestawów pytań dotyczących przede wszystkim: użytkowania obiektu technicznego (środka transportu) zgodnie ze specyfiką projektową, prawidłowością procedur obsługi, kwalifikacji personelu, itd. Wadą tej metody jest bardzo ogólne ujęcie problemu oceny bezpieczeństwa działania, z tego powodu metoda przydatna jest do przeprowadzania analiz bezpieczeństwa prostych systemów socjotechnicznych.

B. **METODY ANALITYCZNO - GRAFICZNE**, za pomocą których istnieje możliwość wykrycia przyczyn powstawania zagrożeń, jak i ocena zajścia możliwych sekwencji zdarzeń niepożądanych i ich skutków. Do metod tych zalicza się np. *analizę drzewa niezdatności* (***Fault Tree Analysis - FTA***) [16, 107, 108], przy wykorzystaniu tej metody możliwe jest logiczne przedstawienie niezdatności środka transportu mających wpływ na zajście określonego zdarzenia niepożądanego, nazywanego zdarzeniem wierzchołkowym. Kolejną metodą z tej grupy jest *analiza drzewa zdarzeń* (***Event Tree Analysis - ETA***), która stosowana jest w celu zidentyfikowania możliwych sekwencji zdarzeń niepożądanych będących skutkiem zdarzenia inicjującego, jak również oszacowanie wartości prawdopodobieństw zajść poszczególnych sekwencji zdarzeń. Kombinację metod analizy drzewa niezdatności i analizy drzewa zdarzeń, stanowi a*naliza przyczyn i skutków* (***Cause and Consequence Analysis – CCA***) - w metodzie tej opisuje się przyczynę, możliwy skutek oraz prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia niepożądanego. Wadą przedstawionych metod analitycznych jest sposób postępowania w którym z góry zakłada się zdarzenie wierzchołkowe oraz sekwencje zdarzeń niepożądanych. Jedyną wielkością odzwierciedlającą rzeczywisty proces eksploatacji środków transportu są prawdopodobieństwa uszkodzeń ich podsystemów. Ponadto metody te dotyczą oceny bezpieczeństwa działania pojedynczego pojazdu eksploatowanego w danym systemie transportowym, a nie całego systemu.

C. **METODY ANALITYCZNE**, ułatwiające systematyczne analizowanie możliwych potencjalnych źródeł zagrożeń i ich skutków. Wśród tych metod najczęściej stosowane metody to: analiza rodzajów i skutków niezdatności (***Failure Mode and Effects Analysis - FMEA***) oraz jej odmiana - *analiza rodzajów i krytycznych niezdatności* (***Fault Mode, Effect and Criticality Analysis - FMECA***) [16, 47, 46]. W metodach tych ocenia się ryzyko związane z wystąpieniem ściśle określonej niezdatności (uszkodzenia jednego z podsystemów), prawdopodobieństwa wystąpienia tej niezdatności, skutków które może wywołać oraz stopnia wykrywalności (który im większy tym

mniejszy poziom ryzyka wystąpienia zdarzeń zagrażających zdrowiu i życiu ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu). Zaletą tych metod jest możliwość oceny kilku środków transportu, wadą natomiast ograniczenia zakresu oceny, która dotyczy jednej, ściśle określonej niezdatności (np. uszkodzenia tego samego podsystemu n – środków transportu).

Kolejną metodą z tej grupy jest *metoda oceny zagrożeń i gotowości operacyjnej* (***HAZard and OPerability study - HAZOP***) [86], jest metodą „intuicyjną" w której powołany zespół ekspertów ocenia ryzyko i zmiany poziomu bezpieczeństwa na podstawie pytań w których wykorzystywane są słowa klucze (takie jak: *brak* – nie spełnia funkcji, *więcej* – zbyt duże parametry, *mniej* – zbyt małe parametry, *inaczej niż* – nie osiągnięto przewidzianego skutku).

Odpowiedzi zapisywane są w tzw. formularzach pracy, w których określa się:

- cel działania systemu,
- błędy działania które mogą zaistnieć lub zaistniały podczas realizacji zadania,
- przyczyny powstania błędów działania,
- ich skutki,
- słowa kluczowe.

Zaletą tej metody jest możliwość jej stosowania we wszystkich fazach istnienia środka transportu (projektowanie, wytwarzanie, eksploatacja, likwidacja). Wadą metody oceny zagrożeń i gotowości operacyjnej jest konieczność powoływania zespołu ekspertów przy każdorazowo prowadzonej analizie. Ponadto nie uwzględnia ona budowy środków transportu, a odnosi się przede wszystkim do realizacji procesu (zadania przewozowego).

Kolejną metodą w której wykorzystywana jest wiedza ekspertów do oceny poziomu bezpieczeństwa jest metoda - *co jeśli* (***What if analysis***) [16]. Zespół ekspertów z zakresu budowy i eksploatacji danego obiektu technicznego

(środka transportu) analizuje różne możliwe sekwencje zdarzeń niepożądanych i ich skutków, zadając pytanie *Co się stanie jeżeli....* Jest ona metodą opisową w której nie uwzględnia się danych eksploatacyjnych, a rozpatruje ewentualne zdarzenia niepożądane.

Jedną z metod analitycznych za pomocą której możliwe jest oszacowanie ryzyka w procesie użytkowania obiektu technicznego w stanie ograniczonej zdatności lub niezdatności jest *wstępna analiza zagrożeń* (***Preliminary Hazard Analysis – PHA***).Głównymi etapami tej metody są [137]:

1 sporządzenie list spodziewanych zdarzeń niepożądanych,
2 dokonanie oceny skutku zdarzenia niepożądanego według określonej skali,
3 dokonanie oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego według przyjętej skali,
4 ocena ryzyka jako iloczynu wskaźników prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego i jego skutku

Przedstawione metody, wykorzystujące wiedzę zespołu ekspertów, w których w sposób teoretyczny zakłada się wystąpienie możliwych zdarzeń niepożądanych i ich skutków, przydatne są na etapie projektowania środków transportu. Ponieważ na tym etapie można eliminować lub przeciwdziałać pewnym zdarzeniom poprzez zmianę konstrukcji pojazdu lub zastosowaniu w nim systemów bezpieczeństwa biernego i czynnego.

D. **METODY OCENY BŁĘDÓW LUDZKICH**, popełnianych w trakcie procesu sterowania obiektem technicznym (środkiem transportu), dotyczą wpływu operatorów i personelu obsługującego obiekty techniczne (środki transportu) na bezpieczne działanie systemu [1, 17, 38, 70, 122]. Do metod tych zalicza się metodę *oceny niezawodności ludzkiej* (***Human Relialibility Analysis - HRA***) oraz metodę *analizy błędów ludzkich* (***Human Error Analysis - HEA***). Celem metody analizy błędów ludzkich (HEA) jest identyfikacja i opisanie błędnych działań operatora środka transportu podczas realizacji zadania przewozowego,

w metodzie analizy niezawodności człowieka (HRA) ponadto dokonuje się oceny ilościowej błędnych działań kierowcy. Ocena niezawodności człowieka (HRA) obejmuje realizację następujących etapów:

a. Analizę zadania – (***Task Analysis - TA***) – przeprowadzaną w celu scharakteryzowania zadania, które ma być poddane analizie oraz w celu wyznaczenie wzajemnych zależności między kierowcą a pojazdem.
b. Identyfikację błędu ludzkiego – (***Human Error Identification - HEI***) - opisuje możliwe błędne działania w trakcie wykonywania zadania. Tak zidentyfikowane działania mogą stanowić dane wejściowe do zarządzania ryzykiem, nawet gdy nie jest przeprowadzana ocena ilościowa.
c. Ocenę ilościową niezawodności człowieka - (***Human Error Quantification - HRQ***) – której celem jest oszacowanie prawdopodobieństwa błędnych działań operatora. Jak wynika z powyższego metody oceny błędów ludzkich dotyczą wyłącznie operatorów środków transportu, nie uwzględniają oddziaływań ludzi usytuowanych w systemie jako pasażerowie oraz w jego otoczeniu jako piesi, rowerzyści i inni użytkownicy dróg.

Przedstawione metody dotyczą oceny bezpieczeństwa systemów transportowych tylko w pewnych wybranych aspektach. Na przykład: dotyczą obiektu technicznego a nie uwzględniają człowieka, poddają ocenie błędy kierowców, a nie uwzględniają oddziaływań pozostałych ludzi usytuowanych w systemie. Ponadto żadna z metod nie uwzględnia wpływu oddziaływań otoczenia na poziom bezpieczeństwa działania systemu.

Z tego względu podjęto próbę budowy metody oceny bezpieczeństwa działania systemu transportu drogowego, na przykładzie systemu miejskiej komunikacji autobusowej, która w ujęciu systemowym będzie uwzględniać oddziaływanie wszystkich istotnych czynników wymuszających.

2.3 Analiza przyczyn powstawania zdarzeń niepożądanych w systemach transportu drogowego.

Poziom *bezpieczeństwa działania systemu transportowego* zależy od liczby zdarzeń niepożądanych (*kolizji* i *wypadków drogowych*) i ich skutków.

Zdarzenia te są zjawiskami złożonymi i mogą być skutkiem niewłaściwych oddziaływań czynników wymuszających [15, 20, 24, 67, 97, 99, 110, 130, 136, 142, 143]: ***roboczych*** *(uwarunkowanych funkcjonowaniem pojazdu),* ***zewnętrznych*** *(wynikających z niewłaściwego oddziaływania otoczenia) i* ***antropotechnicznych*** *(będących wynikiem błędów kierowcy i ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu).*

Analizując przyczyny powstawania wypadków drogowych należy je traktować jako zdarzenia niezależne, mogące występować pojedynczo lub łącznie, co przedstawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1. Możliwe sekwencje zdarzeń powodujące wypadki drogowe [149, 152, 155].

LP.	Oddziaływanie czynników roboczych	Oddziaływanie czynników zewnętrznych	Oddziaływanie czynników antropotechnicznych
1	1	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0
4	1	0	0
5	0	1	1
6	0	1	0
7	0	0	1
8	0	0	0

W tabeli 1 odwzorowano sekwencje zdarzeń prowadzących do stanów zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, przy czym:

1 – zdarzenie polegające na tym, że oddziaływanie wybranych czynników wymuszających miało wpływ na zajście zdarzenia drogowego,

0 – zdarzenie polegające na tym, że oddziaływanie wybranych czynników wymuszających nie miało wpływu na zajście zdarzenia drogowego.

Stan zagrożenia bezpieczeństwa systemu (tab. 1 – pozycja 8) jest stanem abstrakcyjnym na powstanie którego nie miało wpływu żadne z oddziaływań czynników wymuszających.

W trakcie analizy zajścia zdarzenia niepożądanego należy ustalić które czynniki wymuszające miały wpływ na zajście zdarzenia niepożądanego oraz wyznaczyć poziomy ich oddziaływań.

Na podstawie analizy literatury i badań własnych ustalono zakresy procentowych udziałów oddziaływań poszczególnych czynników wymuszających tabela 2.

Tabela 2. Procentowy udział oddziaływań czynników wymuszających na zajście zdarzeń niepożądanych [64, 93].

	W obszarze zabudowanym	**Poza obszarem zabudowanym**
Niepożądane oddziaływanie czynników roboczych	**16 - 27 %**	**14 - 26 %**
Niepożądane oddziaływanie czynników zewnętrznych	**31 - 34 %**	**38 - 45 %**
Niewłaściwe oddziaływanie czynników antropotechnicznych	**39 - 53 %**	**36 - 41 %**

Dane przedstawione w powyższej tabeli obarczone są błędami wynikającymi z subiektywnej oceny funkcjonariuszy Policji, którzy na miejscu zdarzenia ustalają przyczynę jego zajścia. Z przeprowadzonych badań wynika, że funkcjonariusze Policji na miejscu zdarzenia zakładają, że główną przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe oddziaływania czynników antropotechnicznych, w tym przede wszystkim niewłaściwe działania kierowcy.

Z tego powodu w pracy podjęto próbę opisu istotnych przyczyn wywołujących wypadki drogowe.

2.3.1 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z funkcjonowania pojazdu w stanie ograniczonej zdatności.

Podstawową przyczyną powodującą zagrożenia zdrowia i życia człowieka w systemach transportu drogowego jest stan ograniczonej zdatności pojazdu.

W literaturze, z zakresu niezawodności maszyn wyróżnia się z reguły dwa stany; *stan zdatności* ⟨1⟩, oraz *stan niezdatności* ⟨0⟩. Natomiast z badań eksploatacyjnych wynika, że między tymi stanami można wyróżnić nieskończony zbiór stanów ograniczonej zdatności.

Przez stan ograniczonej zdatności systemu należy rozumieć taki stan w którym wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej wartości przez dowolną cechę elementu systemu, występującą w opisie stanu tego elementu, nie powodując niemożliwości realizacji zadania przez system.

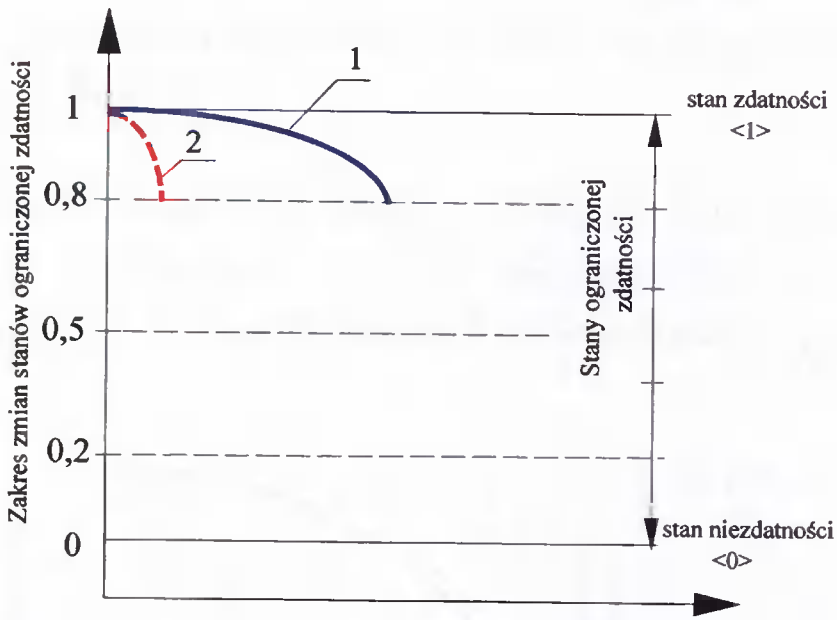
Na rysunkach 2.1 ÷ 2.4 przedstawiono graficzną interpretację wpływu stanów ograniczonych zdatności wynikających z uszkodzeń podsystemów, o zróżnicowanej istotności na obniżenie poziomu zdatności. Jak widać na rysunkach, między stanem zdatności ⟨1⟩, a stanem niezdatności ⟨0⟩, istnieje nieskończony zbiór stanów ograniczonej zdatności.

Podczas analizy zmian tych stanów oraz zakresów poziomów ich zmian należy wziąć pod uwagę zarówno ***istotność podsystemów oraz jak daleko wartości cech tych podsystemów przekroczyły dopuszczalny przedział tolerancji.*** Należy przy tym mieć na uwadze, że uszkodzenie podsystemu nieistotnego nie powoduje dużej różnicy zmiany stanu systemu od stanu zdatności, natomiast uszkodzenie podsystemu krytycznego, powoduje, z reguły, zmianę stanu zdatności systemu ⟨1⟩ na stan niezdatności ⟨0⟩ [9, 83, 87, 148, 150, 152, 153].

W zależności od rodzaju uszkodzenia podsystemu kształt krzywej odzwierciedlającej przebieg zmian stanów może być łagodny (krzywa 1) lub bardziej ostry (krzywa 2).

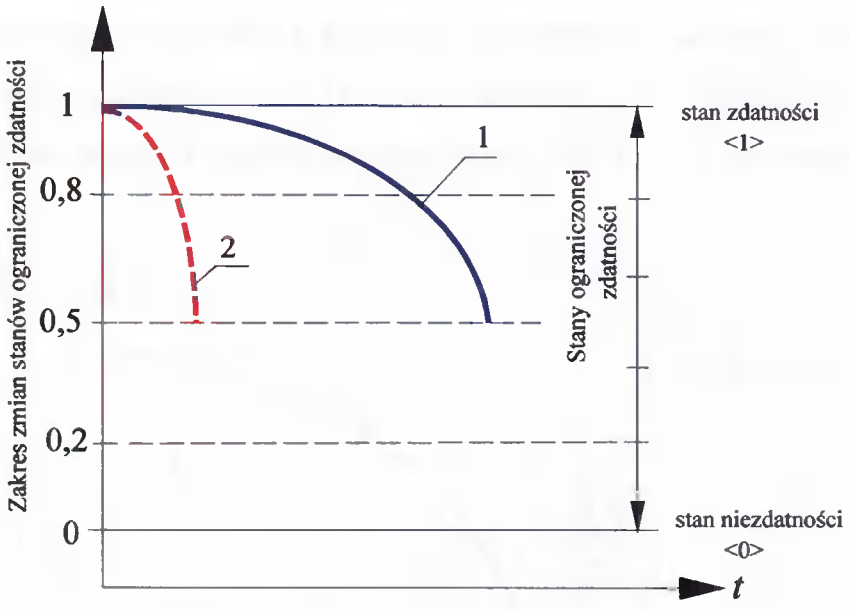
Powyższe rozważania przedstawiono w czterech przypadkach:

P1 – uszkodzenie podsystemu nieistotnego powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie bezpiecznym ⟨1 ÷ 0,8⟩ charakteryzującym się brakiem wpływu na powstawanie zdarzeń drogowych – rysunek 2.1.



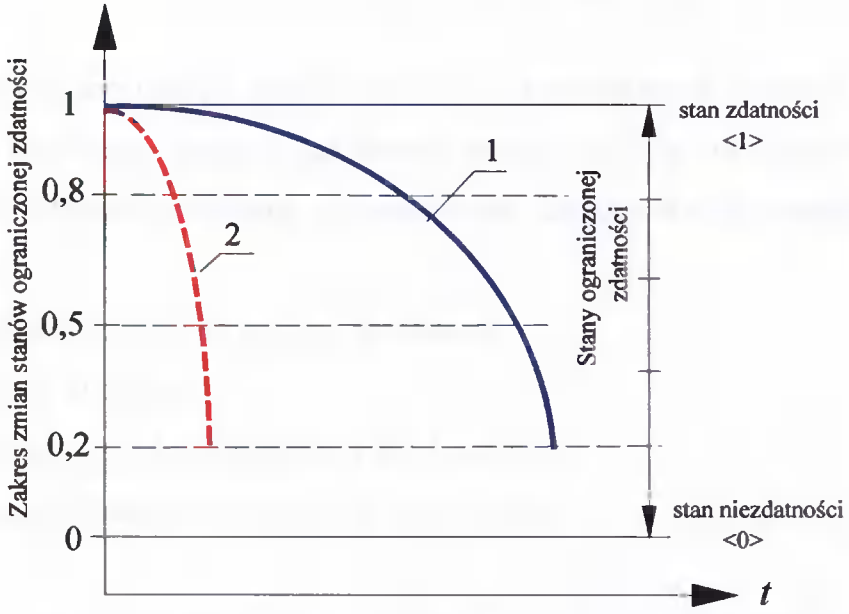
Rys. nr 2.1 Wpływ uszkodzeń podsystemów nieistotnych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

P2 – uszkodzenie podsystemu mało ważnego, powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie dopuszczalnym ⟨1 ÷ 0,5⟩ charakteryzującym się możliwością wywołania kolizji drogowych – rysunek 2.2.



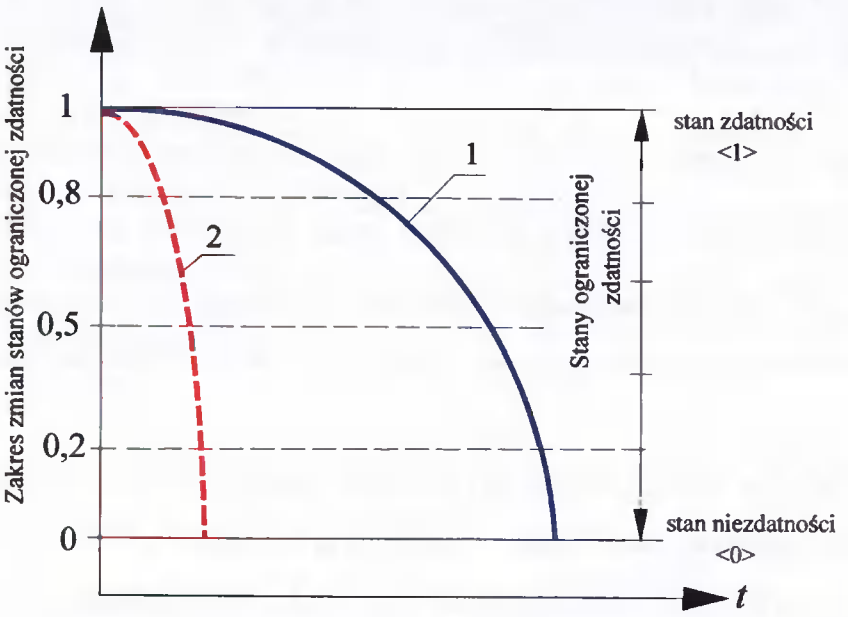
Rys. nr 2.2 Wpływ uszkodzeń podsystemów mało ważnych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

P3 – uszkodzenie podsystemu ważnego, powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie niebezpiecznym ⟨1 ÷ 0,2⟩ charakteryzującym się możliwością wywołania kolizji i wypadków drogowych oraz ofiar ludzkich – rysunek 2.3.



Rys. nr 2.3 Wpływ uszkodzeń podsystemów ważnych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

P4 – uszkodzenie podsystemu krytycznego powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie niedopuszczalnym (katastroficznym) ⟨1 ÷ 0⟩ charakteryzującym się wywołaniem kolizji i wypadków drogowych oraz ofiar śmiertelnych – rysunek 2.4.



Rys. nr 2.4 Wpływ uszkodzeń podsystemów krytycznych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

W wyniku zrealizowanych badań własnych, w rzeczywistym systemie komunikacji autobusowej, wykonano badania ankietowe, mające na celu wyznaczenie istotności podsystemów autobusów, badania te zrealizowane zostały wśród następujących grup ekspertów:

a. decydenci sterowania ruchem autobusów,
b. kierowcy autobusów,
c. diagności zakładu komunikacji autobusowej,
d. mechanicy zakładu komunikacji autobusowej.

Badane autobusy zdekomponowano na osiem podsystemów, które poddano ocenie wpływ ich uszkodzeń na zagrożenie bezpieczeństwa działania analizowanego systemu. Istotność elementów oceniano w dziesięcino punktowej skali. Skalę ocen oraz opis oceny przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3 Opis oceny wpływu uszkodzenia podsystemu środka transportu na zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu komunikacji autobusowej [152].

Skala ocen	Opis wpływu uszkodzenia danego podsystemu na zagrożenie bezpieczeństwa działania analizowanego systemu
1-2	uszkodzenie podsystemu nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu transportowego
3-5	uszkodzenie podsystemu raczej nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu transportowego
6-8	uszkodzenie podsystemu raczej powoduje zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu transportowego
9-10	uszkodzenie podsystemu powoduje zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu transportowego

Wyniki przeprowadzonych badań ankietowych przedstawiono w tabeli 4, w której uszeregowano zdekomponowane podsystemy autobusów według oceny stopnia zagrożenia jakie stwarzają ich uszkodzenia. W ten sposób wyznaczono najistotniejsze podsystemy ze względu na zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego. Są to podsystemy, których średnia wartość oceny jest równa lub większa od sześciu.

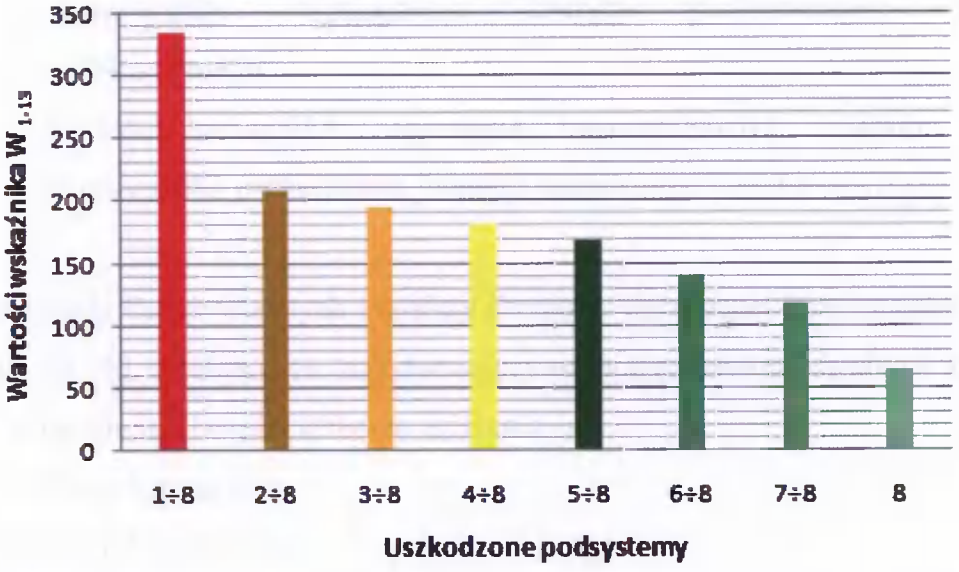
Tabela 4 Średnie wartości ocen zagrożenia jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu.

Lp.	Nazwa uszkodzonego podsystemu	Średnia ocena zagrożeń
1	**Podsystem hamulcowy**	**9,38**
2	**Podsystem kierowniczy**	**8,74**
3	**Podsystem jezdny**	**7,63**
4	**Podsystem zawieszenia**	**6,31**
5	Podsystem przeniesienia napędu	5,45
6	Silnik z osprzętem	4,67
7	Elementy nadwozia	3,78
8	Podsystem elektryczny	2,27

Na podstawie powyższych danych wyznaczono wartości wskaźnika oceny poziomu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi usytuowanych w systemie transportowym.

$$W_{1-13} = \frac{LU_Z}{LZ} \cdot O$$

Wartości tego wskaźnika przedstawiono na rysunku 2.6.



Rysunek 2.6 Zmiana wartości wskaźnika $W_{1\text{-}13}$ w zależności od liczby uszkodzonych podsystemów (badania własne).

1 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia wszystkich podsystemów,

2 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia siedmiu podsystemów (bez podsystemu hamulcowego),

3 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia sześciu podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego i kierowniczego),

4 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia pięciu podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego, kierowniczego i jezdnego),

5 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia czterech podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego i zawieszenia),

6 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu przy uszkodzeniu trzech podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego, zawieszenia i przeniesienia napędu,),

7 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia dwóch podsystemów: nadwozia i elektrycznego,

8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia jednego podsystemu – elektrycznego.

Na podstawie badań własnych i analizy literatury dotyczącej bezpieczeństwa ruchu drogowego [3, 6] ustalono, że najistotniejszymi podsystemami środków transportu z punktu widzenia ich bezpieczeństwa działania są:

- podsystem hamulcowy,
- podsystem kierowniczy,
- podsystem jezdny,
- podsystem zawieszenia.

2.3.2 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z oddziaływania czynników zewnętrznych

Czynniki zewnętrzne stanowiące przyczynę powstawania zagrożeń w systemach transportu drogowego to: [2, 27, 79, 149, 156]

1. Czynniki atmosferyczne (opady, oślepiające słońce itd.)
2. Niewłaściwy stan nawierzchni jezdni (ubytki w jezdni, koleiny, itd.)
3. Nieprawidłowo zaprojektowana infrastruktura drogi:
   - niewłaściwie usytuowane przejścia dla pieszych,
   - niewłaściwie usytuowane przystanki komunikacji miejskiej
   - niewłaściwie zaprojektowane skrzyżowania,
   - nieprawidłowo działającą sygnalizację świetlną
   - brak zatoczek, itd.

2.3.3 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych oddziaływań czynników antropotechnicznych

Człowiek jako element systemu odgrywa istotną rolę w systemach transportowych. Spełnia on różnorodne funkcje: operatora obiektu technicznego, pasażera pojazdu, oraz występuje w otoczeniu systemu. Z tego względu przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych należy analizować w zależności od usytuowania człowieka w systemie <C – OT – O> .

2.3.3.1 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych działań operatorów środków transportu.

Operator podczas realizacji zadania jest zobowiązany do stałego obserwowania otoczenia, sytuacji wewnątrz pojazdu, oceny stanu technicznego pojazdu oraz przetwarzania tych informacji celem wyboru wariantu sterowania, najlepszego z możliwych, a przy tym bezpiecznego dla człowieka, pojazdu i otoczenia. Negatywną stroną działalności operatorów jest możliwość niewłaściwych działań w trakcie realizacji procesu sterowania [4, 17, 18, 34, 36, 44, 61].

Niewłaściwe działanie operatorów polega na popełnianiu *błędów* w ich działaniu lub *naruszeń* przez nich obowiązujących przepisów [103].

Błąd jest nieodłącznym atrybutem działalności człowieka. W zależności od sytuacji, błąd operatora środka transportu może doprowadzić do odchyleń od nakazów warunków realizacji zadani przewozowego, może zagrażać jego bezpieczeństwu i być przyczyną zajścia zdarzenia niepożądanego. Błędy można podzielić na następujące grupy [48]: błędy wyszkolenia, błędy decyzji, błędy odbioru informacji.

1. *Błędy wyszkolenia* są to błędy związane z techniką prowadzenia pojazdu. Błędy tego rodzaju wynikają między innymi z opóźnionych działań kierowcy, niewłaściwej obserwacji środowiska drogi i sytuacji wewnątrz pojazdu, zbyt późnym rozpoznawaniu zagrożeń itp.
2. *Błędy decyzji* które w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa systemu, zależą w znacznym stopniu od oceny sytuacji, podjęcia decyzji racjonalnego sterowania pojazdem i jej realizacji. Do błędów decyzji możemy zaliczyć następujące rodzaje błędów: niewłaściwe wykonanie procedur, złą interpretację otrzymanej informacji, wyboru złego sposobu działania, złą oceną sytuacji.
3. *Błędy odbioru* informacji wynikające z niedostrzegania lub zbyt późnym dostrzeganiem istotnych sygnałów informujących o pracy poszczególnych podsystemów pojazdu lub zmianie sytuacji na drodze.

Błędy popełniane przez kierowców mogą być również wynikiem złego ich stanu psychofizycznego [9, 150].

Stany kierowcy:

a. psychofizjologiczne:
   - wady wzroku,
   - wady słuchu,
   - stan chorobowy
   - opóźniony refleks (brak reakcji na potencjalne zagrożenie).

b. psychologiczne:
   - poziom inteligencji,
   - przyzwyczajenia,

Naruszenia są działaniem świadomym polegającym na lekceważeniu lub przekroczeniu ustalonych przepisów, procedur, zasad itp. Niekiedy naruszenia mogą wynikać z braku wiedzy. Naruszenia mogą być rutynowe i sporadyczne.

1. *Naruszenia rutynowe* związane są z systematycznym naruszaniem obowiązujących przepisów przez danego kierowcę. Akceptacja naruszeń przez kierownictwo organizacji prowadzi do tego, że stają się „niepisanym prawem". Do naruszeń rutynowych popełnianych przez kierowców należy zaliczyć:
   - kierowanie pojazdem po spożyciu alkoholu,
   - kierowanie pojazdem po spożyciu narkotyków,
   - kierowanie pojazdem po spożyciu leków obniżających zdolności motoryczne kierowcy,
   - kierowanie pojazdem w złym stanie zdrowia,
   - kierowanie pojazdem w złym stanie psychicznym,
   - niedostosowanie prędkości pojazdu do warunków ruchu,
   - nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu,
   - nieprawidłowe wyprzedzanie,
   - nieprawidłowe omijanie,
   - nieprawidłowe wymijanie,
   - nieprawidłowe przejeżdżanie przez przejścia dla pieszych,

- nieprawidłowe skręcanie,
- nieprawidłowe zatrzymywanie i postój pojazdu,
- nieprawidłowe cofanie,
- jazda po niewłaściwej stronie drogi,
- wjazd przy czerwonym świetle,
- nieprzestrzeganie znaków i sygnałów,
- niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami,
- gwałtowne hamowanie,
- jazda bez wymaganego oświetlenia,
- inne.

2. *Naruszenia sporadyczne* są nietypowe dla danego kierowcy, są trudne do wykrycia gdyż występują rzadko, jedynie w warunkach sprzyjających do ich zajścia. Jedną z przyczyn naruszeń przepisów i w efekcie wystąpienie zdarzenia niepożądanego jest fakt, że operator nie jest w stanie precyzyjnie ocenić stopnia zagrożenia.

2.3.3.2 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych oddziaływań pasażerów.

Niewłaściwe zachowania pasażerów środków transportu stanowią niewielki procent przyczyn powstawania zagrożeń stwarzanych przez człowieka w systemach transportu drogowego i dotyczą przede wszystkim transportu zbiorowego.

Powstawanie tych zdarzeń może wynikać przede wszystkim z:

a. rozpraszania uwagi kierowcy,
b. agresji wobec kierowcy,
c. wyskakiwania z pojazdu będącego w ruchu,
d. nieprawidłowego zachowanie się w czasie jazdy.

2.3.3.3 Przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych wynikających z niewłaściwych oddziaływań ludzi usytuowanych w otoczeniu systemu.

Człowiek w otoczeniu systemu może być usytuowany jako operator środków transportu nie należących do analizowanego systemu, jako rowerzysta, pieszy, oczekujący na przystanku i itd.

Najważniejszą grupę spośród ludzi usytuowanych w otoczeniu systemu poza kierowcami stanowią piesi, ponieważ niewłaściwe ich zachowania stanowią drugą co do wielkości grupę przyczyn powstawania wypadków drogowych wynikających z niewłaściwych działań ludzi, a wartość średnia wskaźnika liczby osób zabitych przypadającej na 100 wypadków drogowych spowodowanych przez pieszych wynosi 25 osób zabitych.

Do najczęstszych niewłaściwych zachowań pieszych stanowiących przyczyny powstawania zdarzeń niepożądanych należą:

a. znajdowanie się na jezdni (inne niż przechodzenie przez nią),
b. chodzenie nieprawidłową stroną jezdni,
c. wejście na jezdnię przy czerwonym świetle,
d. nieostrożne wejście na jezdnię:
e. nieprawidłowe przekroczenie jezdni:
f. przekroczenie jezdni w niedozwolonym miejscu,
g. wskakiwanie do pojazdu w ruchu,
h. pozostawienie dzieci bez właściwej opieki.

Na podstawie analizy literatury wykazano, że nie wypracowano dotychczas metody która by w sposób systemowy ujmowała wpływ wszystkich czynników wymuszających na bezpieczeństwo działania systemu transportowego

3. SYSTEMOWE UJĘCIE OPISU BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO.

Aby dokonać oceny bezpieczeństwa działania systemów miejskiej komunikacji autobusowej w ujęciu systemowym należy [145, 147, 156, 157]:

- zbudować algorytm oceny bezpieczeństwa działania analizowanego systemu,
- ustalić kryteria bezpiecznego działania systemu,
- dokonać wyboru miar (wskaźników) do oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego

3.1 Algorytm oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego.

W pracach [3, 57, 141] przedstawiono dwa typy algorytmów

- matematyczny – stanowiący dokładną receptę określającą proces obliczeniowy, który prowadzi od pewnych danych początkowych do żądanego rezultatu [57].
- niematematyczny – będący ciągiem prostych zdań czy pytań uporządkowanych w logicznej hierarchii od najbardziej ogólnych do najbardziej szczegółowych w taki sposób, aby trzeba było czytać tylko te zdania, które odnoszą się do danego przypadku [3].

Algorytm przedstawiony na rysunku 3.1 odzwierciedla sposób postępowania w procesie oceny bezpieczeństwa działania systemu transportu drogowego, z uwzględnieniem oddziaływania głównych czynników wymuszających opisanych w pracy (rozdział 2.3).

W algorytmie tym wyróżnić można trzy zasadnicze człony będące algorytmami składowymi: A, B i C dotyczącymi kolejno:

algorytm A – dotyczący oceny bezpieczeństwa działania środków transportu,

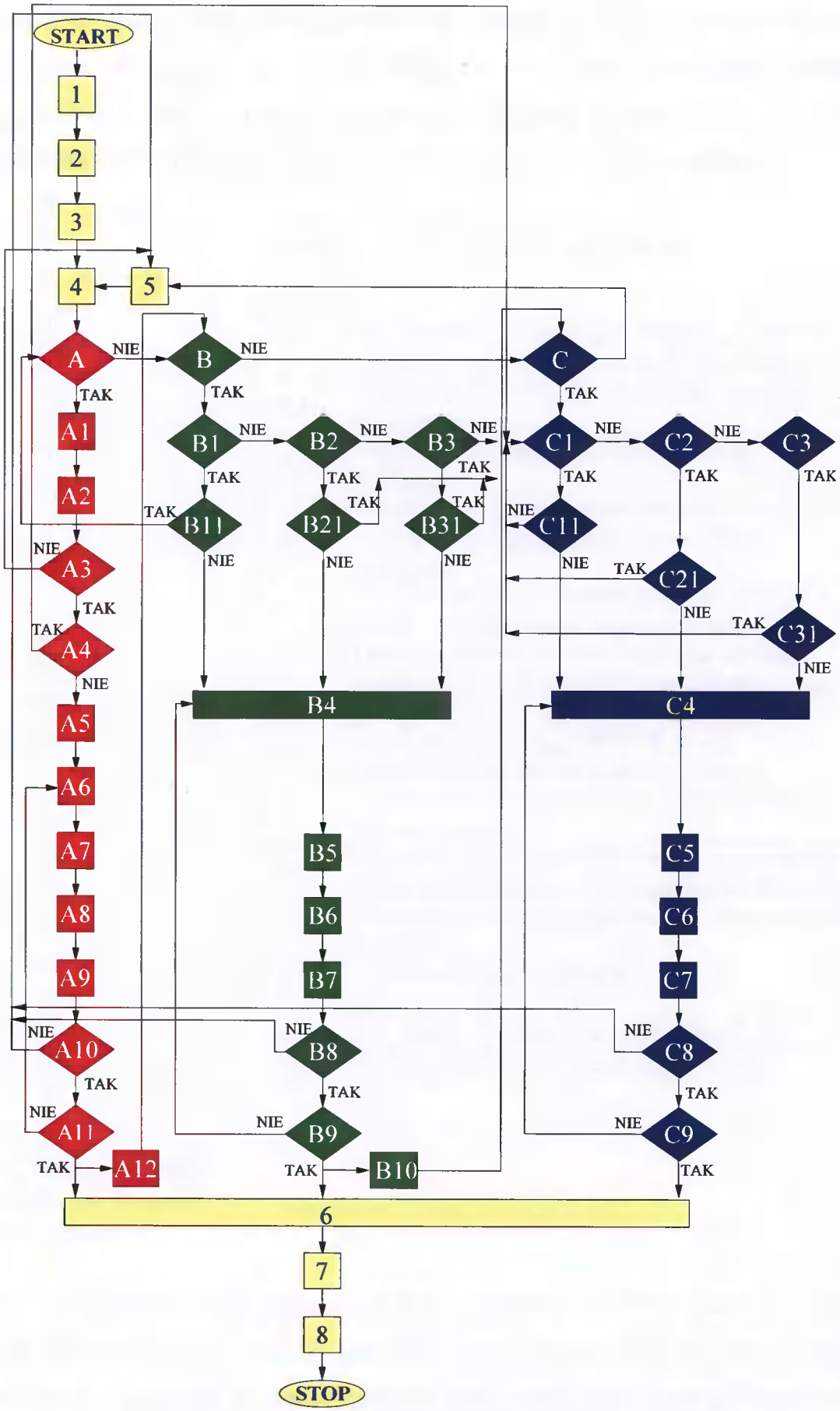
algorytm B – dotyczący oceny oddziaływania otoczenia systemu na bezpieczeństwo działania tego systemu,

algorytm C – dotyczący oceny oddziaływania ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu na bezpieczeństwo działania tego systemu.

Poszczególne algorytmy składowe A, B i C wyznaczają sposób kompleksowej oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego. W tabeli 5 przedstawiono opis poszczególnych bloków algorytmu odnoszących się w sposób ogólny do analizowanych zdarzeń nie uwzględniając przy tym konkretnej przyczyny zajścia zdarzenia.

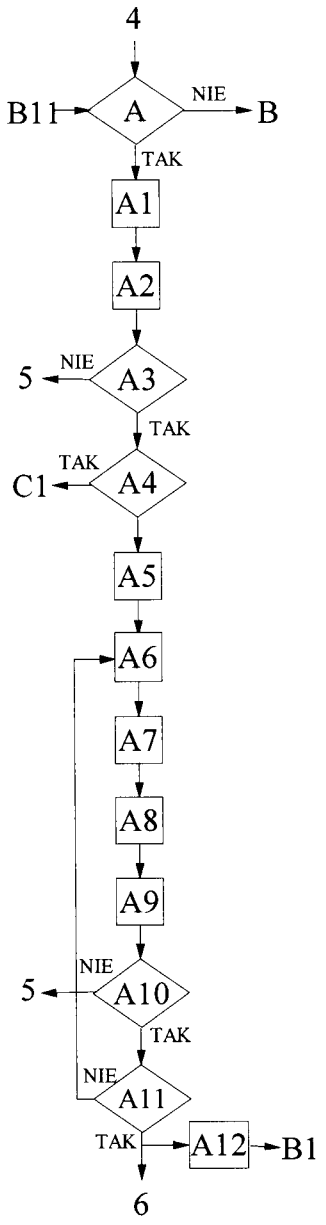
Tabela 5 Opis bloków ogólnych algorytmu oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego.

Kod bloku	**Opis kodu**
1	Wyznacz zbiór zdarzeń drogowych zaistniałych w analizowanym przedziale czasu Zi; i = {1, 2, 3, …, k}.
2	Wybierz zdarzenia istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa działania analizowanego systemu.
3	Uszereguj zdarzenia według daty zajścia Z_1, Z_2, Z_3, …, Z_k.
4	Wybierz do oceny pierwsze zdarzenie Z_i, i = 1.
5	Wybierz do oceny kolejne zdarzenie drogowe $Z_i + 1$.
6	Dokonaj zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego
7	Pokaż wynik



Rys. 3.1 Algorytm oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego.

Pierwszym etapem oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego jest sprawdzenie, czy wpływ na zajście zdarzenia miał stan ograniczonej zdatności pojazdu? Jeżeli tak to należy postępować zgodnie z algorytmem A, który, przedstawiono na rysunku 3.2, opis bloków tego algorytmu zawiera tabela 6.



Rys. 3.2 Algorytm oceny bezpieczeństwa działania środków transportu.

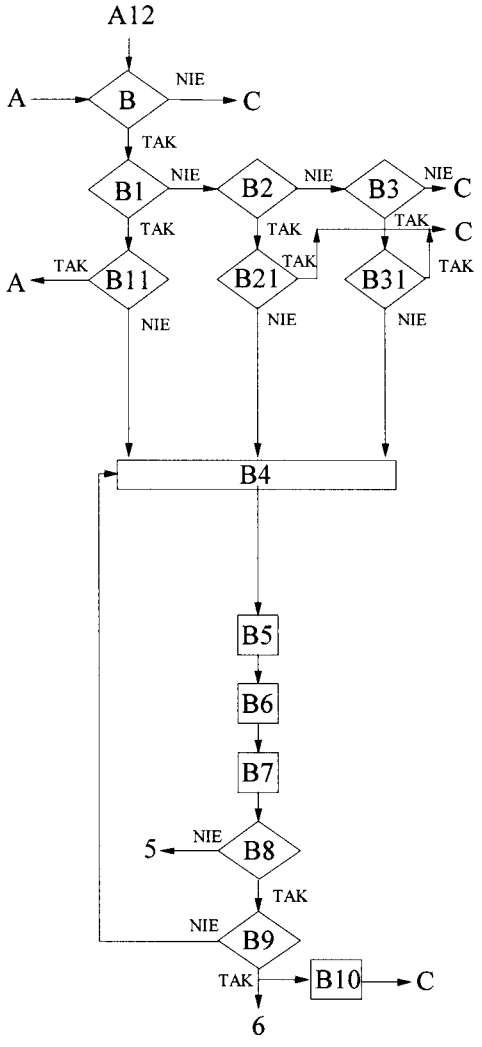
Tabela 6 Opis bloków algorytmu A.

A	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia było uszkodzenie podsystemu środka transportu?
A1	Ustal kryteria oceny istotności uszkodzonego podsystemu.
A2	Dokonaj oceny istotności uszkodzonego podsystemu.
A3	Czy uszkodzony podsystem jest istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa działania środka transportu?
A4	Czy uszkodzenie podsystemu istotnego miało wpływ na niewłaściwe działania operatora?
A5	Oceń poziom zmian stanu zdatności środka transportu jako skutku uszkodzenia analizowanego podsystemu.
A6	Wyznacz zbiór wskaźników do oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A7	Ustal kryteria oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A8	Wyznacz zbiór wskaźników reprezentatywnych do oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A9	Dokonaj oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A10	Czy analizowane zdarzenie $Z_i = Z_k$? gdzie i = {1, 2, 3, ..., k}
A11	Czy model wynikowy jest adekwatny?
A12	Sprawdź czy również zaszło zdarzenie B.

Jeżeli stan ograniczonej zdatności środka transportu nie miał wpływu na zajście zdarzenia niepożądanego to należy przejść do oceny wpływu oddziaływań czynników zewnętrznych - algorytm B. Jeżeli natomiast stan ograniczonej zdatności miał wpływ

na zajście zdarzenia niepożądanego i dokonaliśmy oceny tego wpływu zgodnie z algorytmem A, to należy postawić pytanie: Czy na zajście tego zdarzenia miało również wpływ oddziaływanie otoczenia?

Jeżeli odpowiedź jest twierdząca, to należy dokonać oceny oddziaływania otoczenia zgodnie z algorytmem B (przedstawionym na rysunku 3.3 i opisanym w tabeli 7).

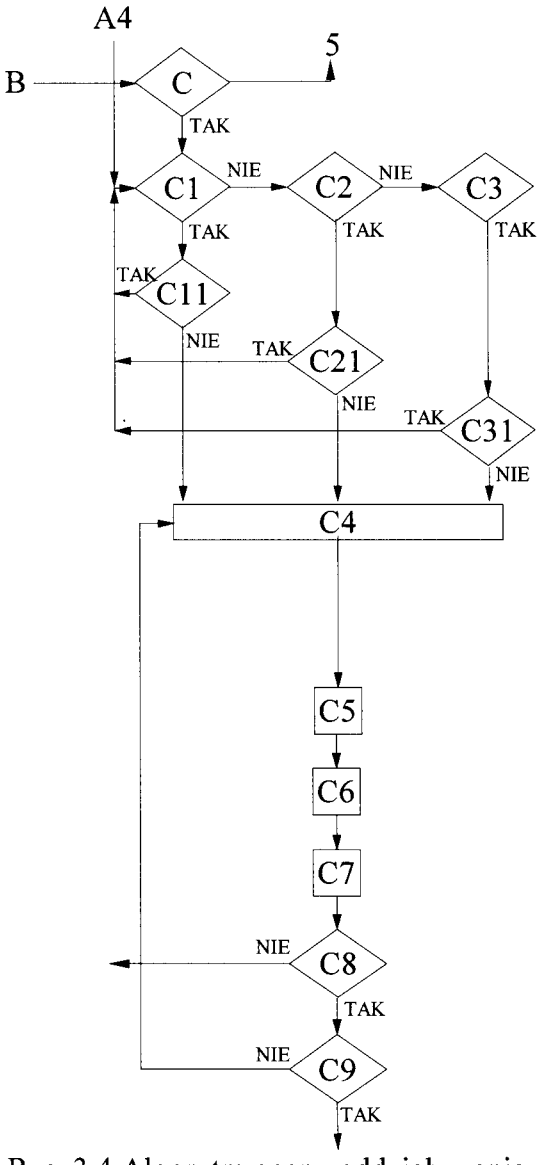


Rys. 3.3 Algorytm oceny oddziaływania otoczenia systemu na bezpieczeństwo działania tego systemu,

Tabela 7 Opis bloków algorytmu B.

Kod bloku	Opis kodu
B	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia było oddziaływanie otoczenia?
B1	Czy przyczyna zajścia analizowanego zdarzenia był niewłaściwy stan nawierzchni jezdni?
B11	Czy niewłaściwy stan nawierzchni jezdni był przyczyną uszkodzenia środka transportu?
B2	Czy przyczyną zajścia zdarzenia była niewłaściwa infrastruktura drogi?
B21	Czy niewłaściwa infrastruktura drogi była przyczyną niewłaściwych działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu?
B3	Czy przyczyną zajścia zdarzenia było oddziaływanie czynników atmosferycznych?
B31	Czy oddziaływanie czynników atmosferycznych było przyczyną niewłaściwych działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu?
B4	Wyznacz zbiór wskaźników do oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B5	Ustal kryteria oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B6	Wyznacz zbiór wskaźników reprezentatywnych do oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B7	Dokonaj oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B8	Czy analizowane zdarzenie $Z_i = Z_k$? gdzie i = {1, 2, 3, ..., k}
B9	Czy model wynikowy jest adekwatny?
B10	Sprawdź czy również zaszło zdarzenie C.

Jeżeli oddziaływanie otoczenia nie było przyczyną zajścia zdarzenia niepożądanego to należy postawić pytanie czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia niepożądanego były niewłaściwe oddziaływanie czynników antropotechnicznych – algorytm C, który przedstawiono na rysunku 3.4 (opisanym w tabeli 8).



Rys. 3.4 Algorytm oceny oddziaływania ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu na bezpieczeństwo działania tego systemu.

Tabela 8 Opis bloków algorytmu C.

Kod bloku	Opis kodu
C	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia było oddziaływanie ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu ?
C1	Czy przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe działania kierowcy ?
C11	Czy niewłaściwe działania kierowcy były przyczyną uszkodzenia podsystemu środka transportu ?
C2	Czy przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe działania pasażerów środka transportu ?
C21	Czy niewłaściwe działania pasażerów miały wpływ na błędne działania kierowcy ?
C3	Czy przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe działania ludzi usytuowanych w otoczeniu środka transportu ?
C31	Czy niewłaściwe działania ludzi usytuowanych w otoczeniu środka transportu miały wpływ na błędne działania kierowcy?
C4	Wyznacz zbiór wskaźników do oceny niepożądanych oddziaływań ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu
C5	Ustal kryteria oceny bezpiecznych oddziaływań ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C6	Wybierz zbiór wskaźników reprezentatywnych do oceny oddziaływań ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C7	Dokonaj oceny bezpiecznego oddziaływania ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C8	Czy analizowane zdarzenie Zi = Zk gdzie, i = {1, 2, ..., k}
C9	Czy model wynikowy jest adekwatny?

4. OBIEKT I PRZEDMIOT BADAŃ

4.1. Rola i znaczenie transportu miejskiego w systemie transportowym

Przemieszczanie się stanowi jedną z głównych potrzeb człowieka. Jej zaspokojenie odbywa się przez komunikację a w tym transport [54].

W literaturze, różni autorzy w różny sposób definiują pojęcia komunikacji i transportu. Wśród tych definicji można jednak wyszczególnić ich wspólną istotę, jaką jest pokonywanie przestrzeni.

Pojęcie komunikacji definiowane jest jako *wszelkiego rodzaju kontakty nawiązywane pomiędzy różnymi podmiotami, których następstwem jest przekazywanie informacji lub przedmiotów niezależnie od tego, czy zjawisko to dokonuje się w sposób świadomy czy niezamierzony.* Proces przekazywania dokonuje się zarówno za pośrednictwem środków przemieszczania, jak i bez ich użycia [54].

Autorzy pracy [116] komunikację definiują *jako ruch polegający na utrzymaniu łączności między odległymi od siebie miejscami.*

Według autorów pracy [50] komunikacja to *organizacja i środki techniczne przewozu ludzi i ładunków oraz przekazywanie informacji.* W tym ujęciu komunikacja jest pojęciem nadrzędnym dwóch określeń: transport i łączność.

Pojęcie transportu jest pojęciem wieloznacznym i w różny sposób definiowanym. W pracy [116, 50, 19] transport zdefiniowano jako *przewóz ludzi i ładunków różnymi środkami lokomocji.*

W pracy [56] przez *pojęcie transportu, w najszerszym ujęciu czynnościowym, rozumieć można organizacyjnie, technicznie i ekonomicznie, wydzielone z innych nietransportowych czynności, celowe przemieszczanie osób i ładunków.*

Autor pracy [68] transport definiuje jako *społeczną działalność ludzką, tworzącą użyteczności czasu i miejsca za pomocą przemieszczania osób oraz ładunków z jednego miejsca na drugie, przy pomocy ogółu środków i czynności pozwalających*

się technologicznie, organizacyjnie i ekonomicznie wydzielać z wszelkich innych środków i czynności.

W systemach transportowych realizowane są procesy przemieszczenia osób i ładunków. W związku z tym w sensie czynnościowym podstawowym przedmiotem badań jest postępowanie prowadzące do *bezpiecznej, efektywnej i terminowej realizacji zadań transportowych* [121].

Mając na uwadze analizę powyższych definicji pojęcia transportu oraz na podstawie badań własnych przyjęto, że: ***transport to ogół środków i działań związanych z przemieszczaniem osób i ładunków rzeczowych, w wybranym zakresie ilościowym i terytorialnym z wykorzystaniem technicznych środków transportu.***

Środki transportowe to urządzenia służące do przemieszczania osób i dóbr materialnych w procesie transportu [71].

Działalność transportowa determinuje efektywne funkcjonowanie każdego działu gospodarki i dynamizuje jej rozwój. Transport obsługuje działy produkcji materialnej a także działy nieprodukcyjne, takie jak: ochrona zdrowia, oświata, administracja państwowa oraz wymiar sprawiedliwości [94]. Świadczy także usługi dla ludności, które zaspakajają indywidualne potrzeby transportowe, aktywizując życie społeczno - kulturalne, sprzyjając rozwojowi turystyki itd.

Od przewoźników świadczących usługi transportowe oczekuje się bezpiecznej realizacji zadań przewozowych, zarówno pasażerskich jak i towarowych.

Bezpośredni wpływ na rozwój i ewolucję transportu mają takie czynniki jak: globalizacja ekonomii, wspólny jednolity rynek, zmiany w strategii produkcji przemysłowej a także zmiany prawne liberalizujące transport. Jednocześnie oczekuje się również obniżenia kosztów związanych z realizacją usług transportowych. Jest to możliwe dzięki zwiększeniu: wydajności, terminowości, szybkości i elastyczności dostaw [132].

4.1.1. Istota, funkcje i potrzeby transportowe

Potrzebę transportową definiuje się jako konieczność lub pragnienie pokonywania przestrzeni. Jest ona wynikiem realizacji procesów gospodarczych, społecznych oraz stanem aktualnych warunków egzystencjalnych ludzi [28, 144].

Jednym z najistotniejszych źródeł potrzeb transportowych jest zróżnicowanie położenia przestrzennego składników niezbędnych do działalności człowieka. Potrzeby transportowe kreowane są poprzez zespół różnorodnych, czynników przestrzennych, technologicznych, ekonomicznych, produkcyjnych, kooperacyjnych i społecznych.

W pracy [135] przedstawiono następujące źródła potrzeb transportowych:

- różnice geograficzne,
- specjalizacja produkcji,
- cele polityczne i militarne,
- stosunki społeczne,
- lokalizacja imprez kulturalnych,
- rozmieszczenie ludności,
- korzyści wynikające ze wzrostu skali procesów, np. tworzenie centrów produkcyjnych, handlowych, naukowych i artystycznych.

W innej pozycji [92] autorzy jako kryterium klasyfikacji źródeł potrzeb transportowych przyjmują przestrzenne rozmieszczenie:

- bogactw naturalnych,
- produkcji materialnej,
- działalności naukowej,
- działalności rekreacyjnej,
- działalności w sferze kultury,
- układów osadniczych ludności.

Na uwagę zasługuje również pogląd [104], że źródła potrzeb transportowych postrzegane są na podstawie tzw. źródeł tradycyjnych, do których zalicza się: lokalizację bogactw naturalnych oraz sił wytwórczych a wśród nich potrzeb

transportowych generowanych przez pozagospodarczą sferę życia ludzi, uwarunkowaną od:

- przestrzennego rozmieszczenia dóbr kulturalnych, oświatowych i naukowych,
- lokalizacji rynków zbytu,
- poziomu życia ludności,
- sposobu zagospodarowania czasu wolnego,
- potrzeby utrzymywania więzi rodzinnej i społecznej,
- działalności administracji państwowej,
- działalności związanej z obronnością, bezpieczeństwem publicznym itd.

Najogólniej potrzeby transportowe można podzielić na: potrzeby przewozów pasażerskich oraz potrzeby przewozów ładunków. Rynek przewozów ładunków ma charakter rynku środków produkcji, zaś rynek przewozów pasażerskich stanowi jeden z rynków konsumpcyjnych [30].

Mając na uwadze powyższe źródła potrzeb transportowych [35, 96], wyodrębniono trzy podstawowe grupy funkcji spełnianych przez transport:

- ***funkcja produkcyjna*** – oznacza tworzenie warunków do działalności gospodarczej, stymulowanie tej działalności, wpływa na funkcjonowanie rynku i wymianę dóbr i usług;
- ***funkcja konsumpcyjna*** – oznacza zaspokajanie potrzeb przewozowych w wyniku świadczonych usług transportowych;
- ***funkcja integracyjna*** – pozwala scalić państwo i społeczeństwo poprzez usługi transportowe, integruje życie społeczno – gospodarcze.

Na ich podstawie wyszczególniono różnorodne funkcje transportowe [35]:

- koordynującą,
- stymulującą,
- integrująca,
- aktywizująca,
- twórczą.

Natomiast analizując [30] wyszczególniono następujące funkcje transportu:

- *funkcje podstawowe* – do spełnienia których system jest przeznaczony;

- *funkcje wtórne* – podporządkowane funkcjom podstawowym, które system spełnia ale których likwidacja nie przeszkodzi w wykonywaniu funkcji podstawowych;
- *funkcje zbędne* – które system spełnia, ale które nie mają uzasadnienia społecznego, wartości użytkowej lub są wykonywane nieefektywnie.

Należy mieć na uwadze fakt, że transport stanowi jedną z głównych gałęzi gospodarki, i umniejszenie jego znaczenia oraz funkcji jakie pełni, może doprowadzić do umiejscowienia transportu na zbyt niskim szczeblu hierarchii realizowanych celów gospodarczych. Może to doprowadzić do niedoinwestowania transportu i obniżeniu poziomu świadczenia usług transportowych a w konsekwencji stać się barierą ograniczającą wzrost gospodarczy [29].

4.1.2. Usytuowanie autobusowego transportu miejskiego w strukturze systemu transportowego.

Istotną rolę w zaspokajaniu potrzeb transportowych, na rynku przewozów pasażerskich, odgrywają systemy komunikacji miejskiej – transportu miejskiego. Pojęcie transportu miejskiego wyodrębnione zostało na drodze poziomej klasyfikacji transportu. Kryterium podziału stanowi rozgraniczenie jednostek terytorialnych, w których obrębie dokonywane są poszczególne zadania transportowe [96]. Głównym powodem, dla którego wyodrębniono problematykę transportu miejskiego jest specyfika eksploatacyjno – ekonomiczna uwarunkowana charakterem pasażerskich potrzeb przewozowych oraz sposobem, w jaki są one zaspakajane [123, 144].

W dalszej części pracy za pojęcie ***komunikacja miejska przyjęto regularne przewozy pasażerskie, realizowane po określonych trasach, zbiorowymi środkami transportu***. Zakres terytorialny przewozów obejmuje zwykle teren miasta i strefy podmiejskiej. Potrzebę transportowa zgłaszaną do systemu komunikacji miejskiej można określić jako chęć lub konieczność przemieszczenia się danej osoby lub grupy osób z jednego miejsca na drugie, za pomocą odpowiedniego środka transportu [144]. Charakteryzując takie potrzeby należy uwzględnić:

- średnią odległość podróży (przemieszczania), ze względu na którą, odróżnia się skoncentrowane na ograniczonym przestrzennie obszarze podróże wewnątrz obszarów zurbanizowanych od rozproszonych przestrzennie podróży między oddalonymi od siebie obszarami zurbanizowanymi albo poza takie obszary;
- powszechność (charakterystyczną dla komunikacji miejskiej) lub przeciwnie, sporadyczność potrzeby transportowej, mierzoną takimi wskaźnikami jak przeciętna liczba podróży odbywanych przez statystycznego pasażera w jednostce czasu;
- stopień nierównomierności czasowej wyrażający się dobowymi, tygodniowymi, miesięcznymi oraz rocznymi wahaniami intensywności przewozów (zjawisko szczytów przewozowych);
- stopień niejednorodności przestrzennej przejawiający się wahaniami kierunkowymi na trasach przemieszczeń pasażerów;
- masowość, wyrażająca się rozmiarami strumieni ruch pasażerskiego, mierzoną liczbą podróżnych udających się w jednostce czasu w jednym kierunku i wynikającą z wzajemnych współzależności w występowaniu nierównomierności czasowej i przestrzennej potrzeb transportowych.

Podstawowe kryterium klasyfikacji pasażerskich potrzeb transportowych stanowi cel podróży. Ogólne cele podróży można podzielić na [144]:

- bytowe,
- zawodowe,
- rekreacyjne,
- inne.

Potrzeby transportowe oceniane jako kryterium celu podróży utożsamiają go z generowaniem ruchu. Klasyfikacja pasażerskich potrzeb transportowych, ze względu na kryterium ruchliwości komunikacyjnej ludności według [96], wyraża się następująco:

- systematyczne i obligatoryjne: związane z codziennym dojazdem do szkół, pracy itd.; odbywane w ściśle określonych relacjach i porach dnia lub też zróżnicowane pod względem czasowym;

- niesystematyczne o charakterze incydentalnym: związane z koniecznością ochrony zdrowia, załatwieniem spraw urzędowych i bytowych, konsultacjami problemów badawczych itd.;
- fakultatywne (nieobligatoryjne): związane z udziałem w życiu społecznym, politycznym, rodzinnym, towarzyskim, kulturalnym, sportowym a także turystyką i rekreacją.

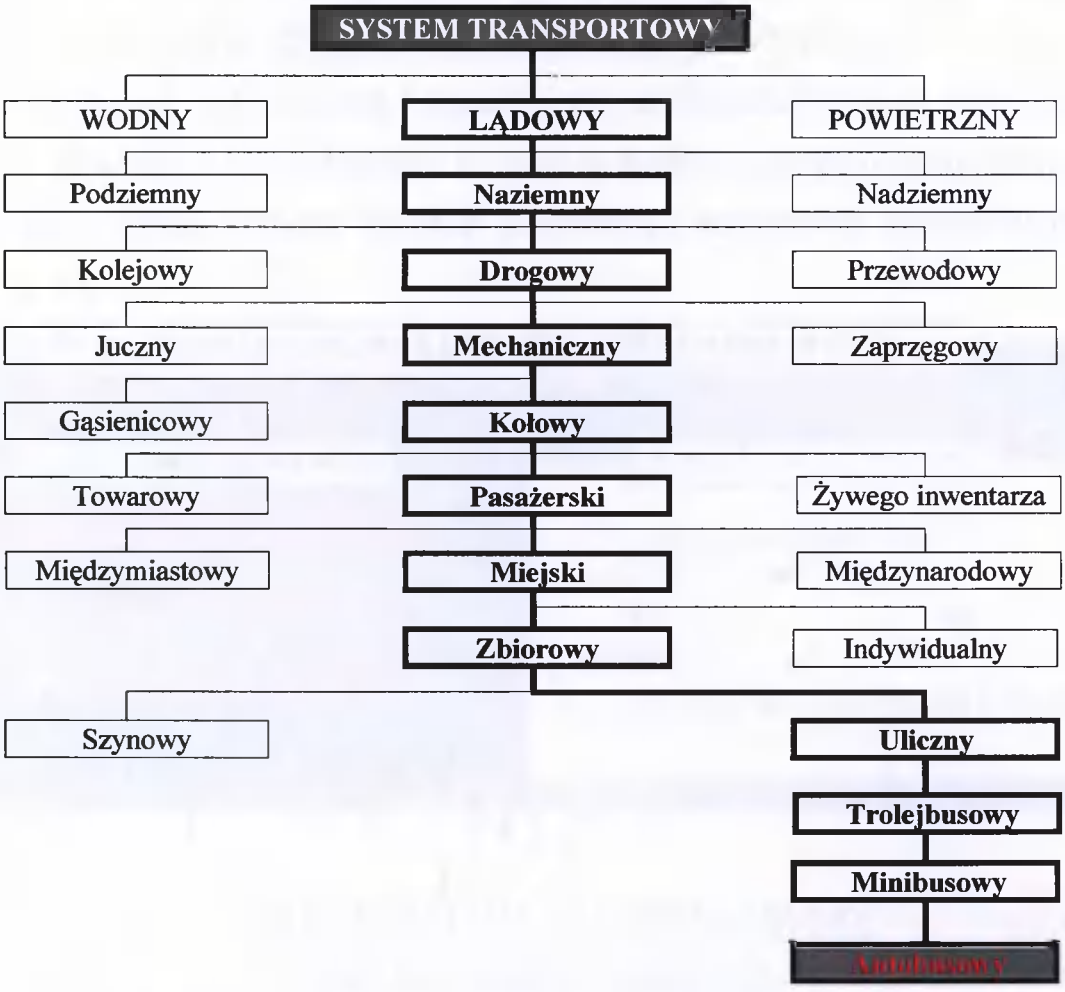
Niezależnie od źródła potrzeb, potrzeby transportowe a w szczególności zapotrzebowanie na świadczenie usług przez komunikacje miejskie wciąż rośnie. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania wzrastają wymagania użytkowników, co do świadczonych usług komunikacyjnych. Dlatego też ciągłe badania dotyczące potrzeb transportowych i ich źródeł, stanowią podstawę wysokiej jakości działania systemów transportowych.

Jako główne wymagania stawiane nowoczesnym systemom transportu miejskiego wyróżnić możemy [96, 160, 161]:

- zapewnienie bezpieczeństwa przewożonych pasażerów,
- zapewnienie dostępności do sieci transportowej, bezpośredniości realizowanych przewozów,
- przystosowanie pojazdów do przewozu dużej liczby pasażerów,
- przystosowanie pojazdów do warunków ruchu miejskiego,
- zapewnienie odpowiedniej częstotliwości, punktualności i szybkości przewozów,

Zasięg działania transportu miejskiego, często wykracza poza granice administracyjne miasta. Obejmuje tereny podmiejskie, które spełniają analogiczne funkcje jak dzielnice miasta. Zamieszkująca je ludność podejmuje pracę w mieście, zaspokaja potrzeby kulturalne, edukuje się, korzysta z usług specjalistycznych itd. *Taki układ osadniczy, w którym realizowane są pasażerskie zadania transportowe, obsługiwane przez komunikację miejską, nazywamy aglomeracją miejską.*

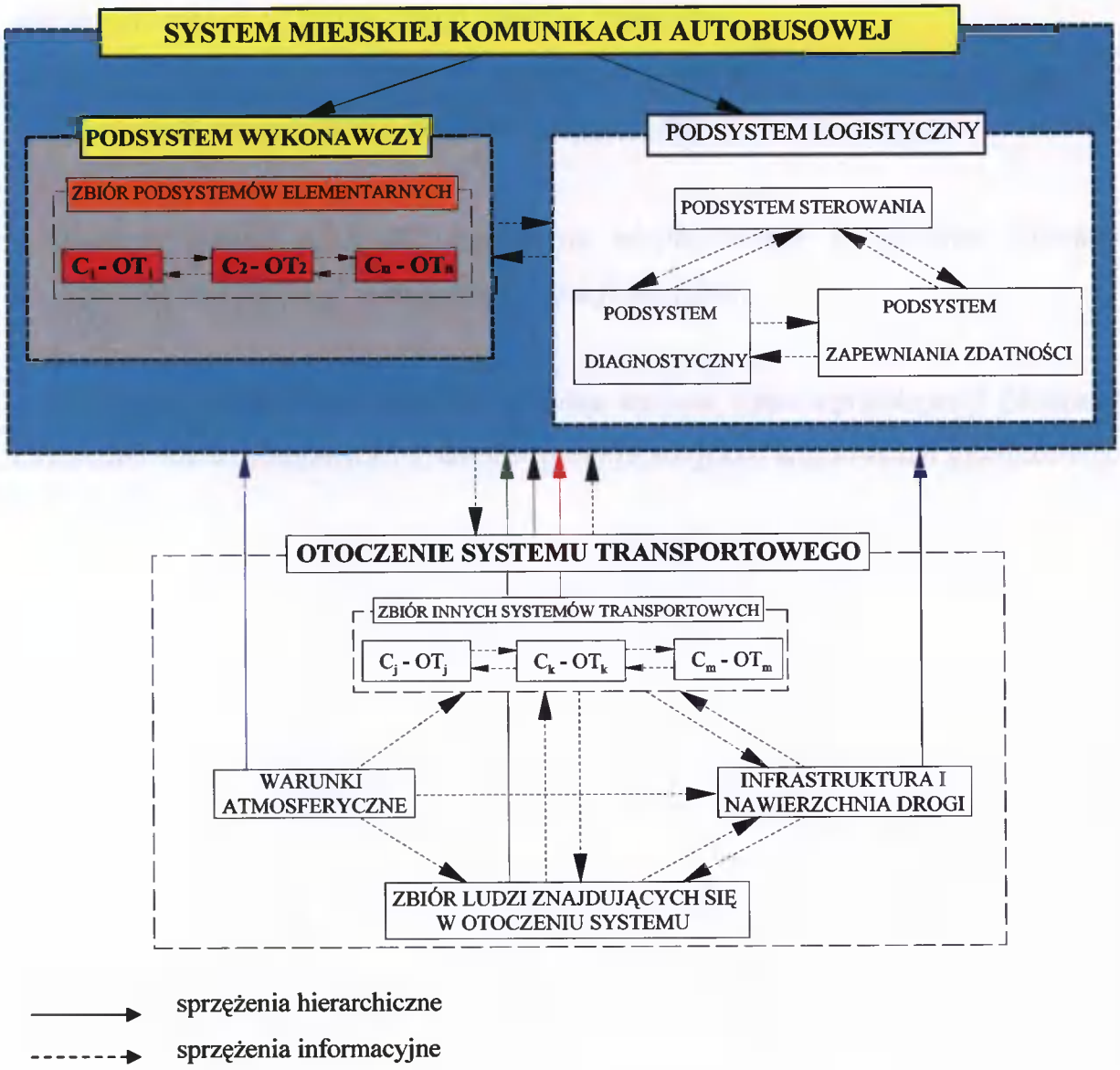
Usytuowanie transportu miejskiego, w tym komunikacji autobusowej i tramwajowej oraz metra w strukturze systemu transportowego, przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys.4.1. Usytuowanie systemów transportu miejskiego w ogólnej strukturze systemu transportowego.

4.2 Obiekt i przedmiot badań

System miejskiej komunikacji autobusowej, należy do klasy systemów socjotechnicznych typu *Człowiek – Obiekt Techniczny – Otoczenie* <*C – OT – O*>, których głównym zadaniem jest bezpieczne przemieszczanie ludzi w wyznaczonym zakresie ilościowym i terytorialnym, za pomocą środków transportu eksploatowanych w systemie. Model systemu miejskiej komunikacji autobusowej przedstawiono na rysunku 4.2.



Rysunek 4.2. Model systemu miejskiej komunikacji autobusowej.

Bezpośrednią realizacją zadań transportowych w systemie miejskiej komunikacji autobusowej zajmuje się podsystem wykonawczy, w skład którego wchodzą n elementarnych podsystemów wykonawczych.

Elementarny podsystem wykonawczy ⟨C-OT⟩ stanowi operator i środek transportu (autobus). W podsystemie tym człowiek sprzężony jest z obiektem technicznym strukturą szeregową tworząc podsystem elementarny działający w określonym otoczeniu.

Bezpieczeństwo realizowanych przewozów uzależnione jest od poziomu oddziaływań czynników wymuszających otoczenia, poziomów niepożądanych działań operatorów oraz stanu technicznego środków transportu.

Ze względu na powyższe rozważania przyjęto, że:

Obiektem badań są środki transportu, eksploatowane w systemie miejskiej komunikacji autobusowej w dużej aglomeracji miejskiej.

Natomiast przedmiotem badań jest ocena wpływu stanu ograniczonej zdatności autobusów na bezpieczeństwo działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej.

5 MODEL WSTĘPNY OCENY BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA SYSTEMU MIEJSKIEJ KOMUNIKACJI AUTOBUSOWEJ

5.1 Kryteria bezpiecznego działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej.

Do wyznaczenia kryterium bezpiecznego działania tego systemu należy wyznaczyć zbiór istotnych cech mierzalnych X_{Mi} (i = 1, 2, ..., n) oraz zbiór istotnych cech niemierzalnych X_{Nj} (j = 1, 2, ..., m), opisujących system z punktu widzenia bezpieczeństwa. Następnie dla każdej z cech mierzalnych należy wyznaczyć dopuszczalne granice $X_{M,i}^{\min}$ oraz $X_{M,i}^{\max}$, odpowiadające bezpiecznemu działaniu systemu (bezpiecznej realizacji zadania transportowego).

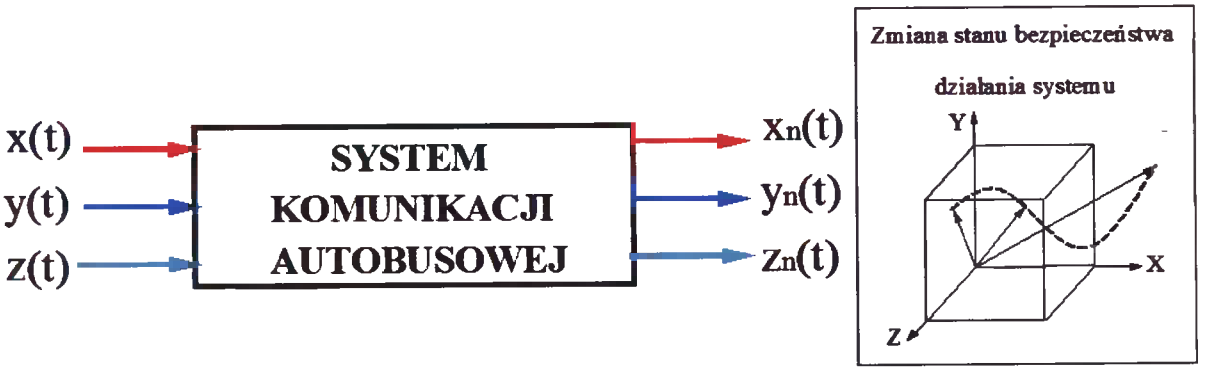
Podobnie dla każdej z cech niemierzalnych, należy ustalić kryteria, umożliwiające jednoznaczne stwierdzenie, czy dana cecha odpowiada warunkom bezpiecznego działania systemu. Stan taki symbolicznie można zapisać $X_{Nj} = 1$, natomiast przypadek przeciwny $X_{Nj} = 0$. Wówczas warunek Bezpiecznego Działania Systemu w danej chwili $t, t \in [t_0, t_k]$ można zapisać następująco:

$$BDS = \begin{cases} X_{M,1}^{\min} < X_{M,1,t} < X_{M,1}^{\max}, \ldots, X_{M,n}^{\min} < X_{M,n,t} < X_{M,n}^{\max} \\ X_{N,1,t} = 1, \ldots, X_{N,m,t} = 1 \end{cases} \tag{5.1}$$

Stan bezpieczeństwa działania systemu w chwili t można przedstawić za pomocą wektora, którego koniec opisuje punkt M ($x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, ..., $x_k(t)$) w przestrzeni n – wymiarowej.

W rozdziale 2.3 pracy zidentyfikowano czynniki wpływające na zmiany poziomu bezpieczeństwa działania systemu transportowego: robocze, zewnętrzne

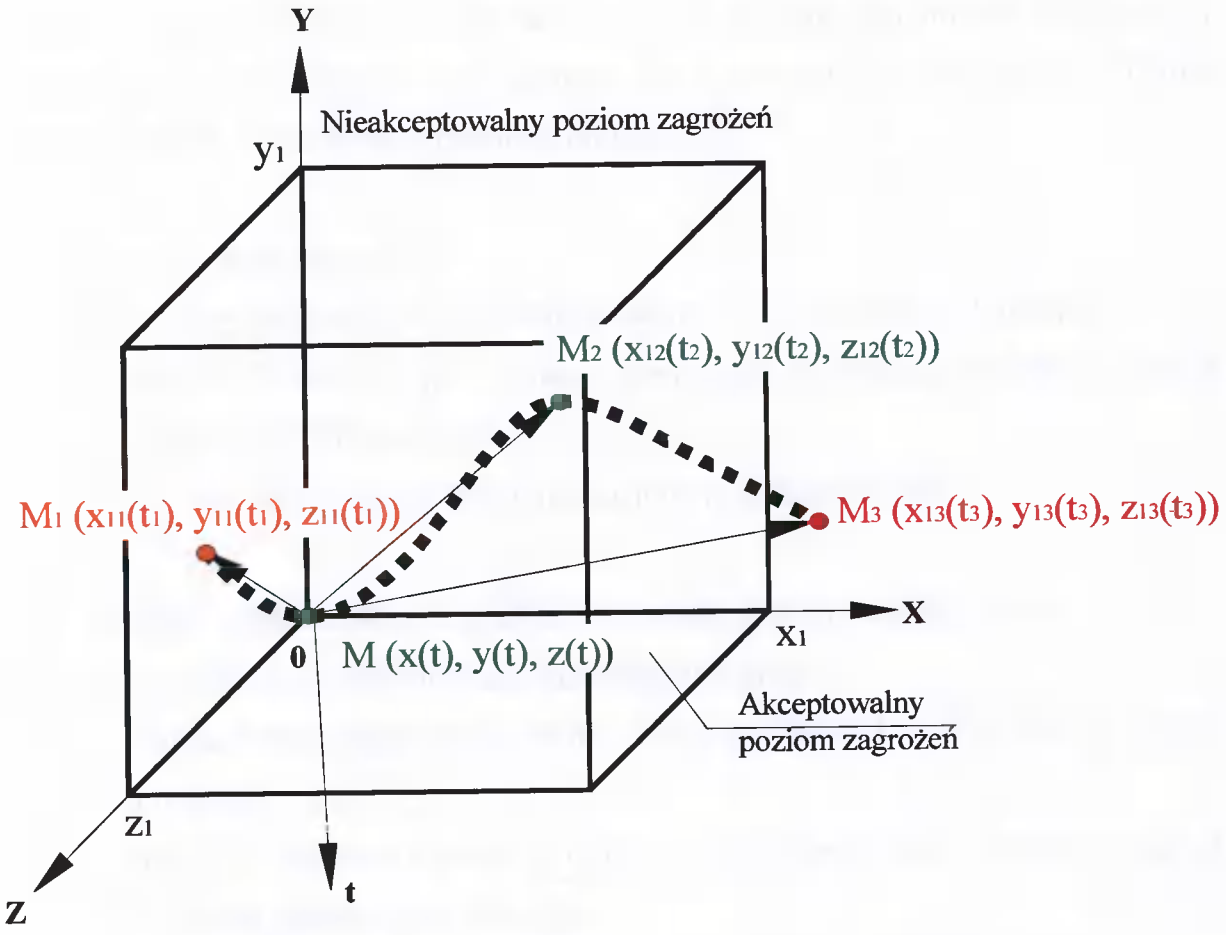
i antropotechniczne. Graniczne wartości cech $\{x_1(t), y_1(t), z_1(t)\}$, odzwierciedlających dopuszczalne poziomy niepożądanych oddziaływań czynników wymuszających wyznaczają dopuszczalne przedziały zmian wartości poziomu bezpieczeństwa dla danej cechy. Oddziaływanie czynników wymuszających $\{x(t), y(t), z(t)\}$ powoduje zmianę bezpieczeństwa działania systemu $\{x_n(t), y_n(t), z_n(t)\}$, co można przedstawić w postaci graficznej – rysunek 5.1



Rys. 5.1 Graficzna interpretacja wpływu czynników wymuszających na zmianę stanu bezpieczeństwa działania systemu.

Na rysunku 5.2 przedstawiono stan bezpieczeństwa działania analizowanego systemu, w chwili t, w przestrzeni trójwymiarowej. Położenie punktu M na rysunku 5.2 oznacza wzorcowy (intencjonalny) stan bezpieczeństwa działania tego systemu.

W przestrzeni trójwymiarowej graniczne wartości cech tworzą kostkę akceptowalnych zmian poziomu bezpieczeństwa. Współrzędne punkt M_1, na rysunku 5.2 są odwzorowaniem stanu bezpieczeństwa działania obiektu technicznego w granicach akceptowalnego poziomu zagrożeń. Przekroczenie wartości cech poza wartości graniczne powoduje zmianę stanu na stan zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu (nieakceptowalny poziom zagrożeń) – punkt M_3.



Rys. 5.2 Graficzna interpretacja stanu bezpiecznego działania systemu transportu drogowego [152].

Przyjmując powyższe, zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu można zdefiniować jako ***takie stany ograniczonej zdatności systemu które zaistniały na skutek uszkodzeń jego elementów,*** **powodujących przekroczenie wartości cech opisujących system poza ustalone wartości graniczne** [151].

W stanie tym wyróżnia się różne poziomy bezpieczeństwa działania w zależności od istotności uszkodzonego elementu i postaci jego uszkodzeń.

Skutkami takich stanów mogą być: obrażenia lub śmierć uczestników ruchu drogowego, zniszczenie środków transportu drogowego, powstanie szkód materialnych w najbliższym otoczeniu (budynki, słupy telefoniczne, słupy trakcji elektrycznej, bariery drzewostan, itp.)

Ponieważ na bezpieczeństwo działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej wpływają zarówno wartości cech systemu oraz poziomy oddziaływań czynników wymuszających. To kryteria te powinny dotyczyć:

A. Cech środków transportu:
- powinny cechować się wysokim poziomem bezpieczeństwa działania
- powinny cechować się wysokim poziomem odporności na oddziaływania czynników wymuszających,
- powinny cechować się wysokim poziomem niezawodności.

B. Poziomów oddziaływań czynników otoczenia systemu zależnych od:
- prawidłowo zaprojektowanej infrastruktury dróg;
- prawidłowego stanu nawierzchni dróg, po których poruszają się środki transportu;
- poziomu oddziaływania warunków atmosferycznych umożliwiających realizację zadania transportowego.

C. Jakości oddziaływań operatorów środków transportu zależnych od:
- posiadania wymaganych kwalifikacji,
- stanu zdrowia umożliwiającego pracę na stanowisku kierowcy,
- wysokiej odporności na sytuacje stresujące,
- dobrego refleksu,
- przestrzegania przepisów o ruchu drogowym.

Przedstawione powyżej wymogi stanowią podstawę do opracowania kryteriów bezpiecznego działania systemu transportowego.

Kryteria te można sformułować w postaci wartości granicznych dotyczących wartości wskaźników, których postać matematyczną przedstawiono w punktach 5.1.1 ÷ 5.1.3 pracy.

5.1.1 Dobór miar do oceny bezpieczeństwa działania środków transportu.

Bezpieczeństwo działania systemu transportowego w dużej mierze uzależnione jest od niezawodności środków transportu eksploatowanych w tym systemie. Oddziaływanie czynników roboczych, uwarunkowanych funkcjonowaniem środków transportu (autobusów) może być bezpośrednią przyczyną powstawania wypadków drogowych, lub uszkodzeń obiektów technicznych i zmiany ich stanu zdatności na stan ograniczonej zdatności lub stan niezdatności – co stanowi zagrożenia w systemie transportowym a, następstwem czego są straty o zróżnicowanym zakresie, takie jak: utrata zdrowia lub życia ludzi znajdujących się w obiekcie lub jego otoczeniu, zniszczenie obiektu oraz obiektów współistniejących, zagrożenie środowiska naturalnego, uszkodzenie obiektu technicznego. W tabeli 3.5 przedstawiono wskaźniki służące do oceny bezpieczeństwa działania środków transportu [10, 11, 40, 73, 74, 77, 95, 151].

Tabela 9 Wykaz zbioru wskaźników W_{1i} do oceny bezpieczeństwa działania środków transportu.

	Nazwa wskaźnika	Wzór obliczeniowy	Opis składników zależności
1	Średni czas poprawnej pracy systemu, przypadający na jeden wypadek	$W_{1-1} = \frac{t_p}{LZ_1}$	t_p – sumaryczny czas pracy badanej próbki systemów o liczności n LZ_1 – liczba wypadków
2	Liczba wypadków przypadająca na jednostkę czasu pracy systemu	$W_{1-2} = \frac{LZ_1}{t_p}$	
3	Liczba przesłanek do wypadków, przypadających na jednostkę czasu pracy systemu	$W_{1-3} = \frac{LPZ_1}{t_p}$	t_p – sumaryczny czas pracy badanej próbki systemów o liczności n LPZ_1 – liczba przesłanek do wypadków
4	Średni czas pracy systemu, przypadający na jedną przesłankę do wypadku	$W_{1-4} = \frac{t_p}{LPZ_1}$	
5	Liczba zdarzeń i-tego rodzaju przypadająca na 100000 godzin realizacji zadania transportowego	$W_{1-5} = \frac{LZ_i}{t_p} \cdot 10^5$	t_p – sumaryczny czas pracy badanej próbki systemów o liczności n LZ_i – liczba zdarzeń i-tego rodzaju
6	Liczba osób zabitych przypadająca na 1 mln przewiezionych pasażerów	$W_{1-6} = \frac{LO_Z}{A_{pas}} \cdot 10^6$	LO_Z – liczba osób zabitych w rozpatrywanym okresie A_{pas} – liczba pasażerów przewiezionych w tym okresie A_{pas-km} – liczba pasażero-kilometrów w tym okresie
7	Liczba osób zabitych przypadająca na 100 mln pasażero-kilomwtrów	$W_{1-7} = \frac{LO_Z}{A_{pas-km}} \cdot 10^8$	

Tabela 9 – cd.

8	Liczba ofiar j-tego rodzaju przypadająca na 10 wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu.	$W_{1-8} = \frac{LO_j}{LZ_1} \cdot 10$	LO_j – liczba ofiar j-tego rodzaju; j = 1,2; 1 – osoby zabite, 2 – osoby ranne LZ_1 – liczba wypadków
9	Liczba niepożądanych zdarzeń drogowych i-tego rodzaju wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu, przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów.	$W_{1-9} = \frac{LZ_i}{LP} \cdot 10^4$	LZ_i – liczba zdarzeń drogowych i-tego rodzaju LP – liczba przejechanych kilometrów w analizowanym przedziale czasu
10	Liczba uszkodzeń k-tego podsystemu OT przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów.	$W_{1-10} = \frac{LU_k}{LP} \cdot 10^4$	LU_k – liczba uszkodzeń k-tego podsystemu OT LP – liczba przejechanych kilometrów w analizowanym przedziale czasu
11	Liczba zdarzeń drogowych i-tego rodzaju przypadająca na 100 uszkodzeń k-tego podsystemu wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu	$W_{1-11} = \frac{LZ_i}{LU_k} \cdot 100$	LZ_i – liczba zdarzeń drogowych i-tego rodzaju LU_k – liczba uszkodzeń k-tego podsystemu OT
12	Liczba uszkodzeń k-tego podsystemu przypadająca na jedno zdarzenie drogowe i-tego rodzaju	$W_{1-12} = \frac{LU_k}{LZ_i}$	LU_k – liczba uszkodzeń k-tego podsystemu OT LZ_i – liczba zdarzeń drogowych i-tego rodzaju
13	Wskaźnik oceny poziomu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi usytuowanych w środku transportu.	$W_{1-13} = \frac{LU_Z}{LZ} \cdot O$	LU_Z – liczba uszkodzeń i – tego podsystemu inicjujących zdarzenia niepożądane LZ – liczba wszystkich zdarzeń niepożądanych O – ocena zagrożenia jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu autobusu (1÷10);
14	Wskaźnik strat uwzględniający liczbę osób zabitych, ciężko rannych i lekko rannych	$W_{1-14} = \frac{l_1K_1 + l_2K_2 + l_3K_3}{A_{pas-km}} 10^8$	l_1, l_2, l_3 – odpowiednio liczby ofiar śmiertelnych, ciężko rannych, lekko rannych K_1, K_2, K_3 – współczynnik wskaźnika strat ($K_1 = 1$, $K_2 = 0{,}6$, $K_3 = 0{,}1$) A_{pas-km} – liczba pasażero-kilometrów w tym okresie

Tabela 9 – cd.

<table>
<tr>
<td>15</td>
<td>Wskaźnik kosztów zdarzeń drogowych</td>
<td>$W_{1-15} = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{Y}\sum_{i=1}^{5} k_{ij} \cdot n_{ij}[zl/rok]$

<table>
<tr><th>Jednostkowe skutki zdarzenia drogowego</th><th>Koszty w tys. zł</th></tr>
<tr><td>Osoba zabita</td><td>800,6</td></tr>
<tr><td>Osoba ciężko ranna</td><td>300,1</td></tr>
<tr><td>Osoba lekko ranna</td><td>15,4</td></tr>
<tr><td>Uszkodzenie pojazdu uczestniczącego w wypadku</td><td>29,9</td></tr>
<tr><td>Uszkodzenia pojazdu uczestniczącego w kolizji</td><td>15</td></tr>
</table>
</td>
<td>Y – liczba zdarzeń drogowych w danym obszarze w ciągu analizowanego przedziału czasu t
T – analizowany przedział czasu
K_i – przeciętne koszty jednostkowe i-tego skutku j-tego zdarzenia
N_i – krotność i-tego skutku która wystąpiła w danym zdarzeniu i, np. liczba ofiar śmiertelnych, liczba uszkodzeń pojazdów</td>
</tr>
</table>

5.1.2 Dobór miar do oceny oddziaływania otoczenia na ludzi oraz środki transportu.

Oddziaływanie otoczenia na ludzi i środki transportu jest zagadnieniem złożonym i może odbywać poprzez:

- niewłaściwy stan nawierzchni (np.: dziury w jezdni, koleiny)
- niewłaściwie zaprojektowaną infrastrukturę drogi (np. nieprawidłowe umiejscowienie przystanków komunikacji publicznej, niewłaściwe umiejscowienie przejść dla pieszych)
- oddziaływanie warunków atmosferycznych (np.: nadmierne opady deszczu/śniegu, zbyt wysoka lub zbyt niska temperatura powietrza, oblodzona jezdnia)

Zbiór wskaźników za pomocą których można dokonać oceny oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10 Wykaz zbioru wskaźników W_{2i} do oceny oddziaływania otoczenia [93, 95, 126, 154]:

	Nazwa wskaźnika	Wzór obliczeniowy	Opis składników zależności
1	Współczynnik korelacji warunków atmosferycznych i zdarzeń drogowych	$W_{2-1} = \frac{\mathrm{cov}(xy)}{\sigma_x \sigma_y}$	σ_x – odchylenie standardowe zmiennej X (liczby zdarzeń drogowych) σ_y – odchylenie standardowe zmiennej Y (liczby dni występowania analizowanych warunków atmosferycznych)
2	Wskaźnik względnej liczby zdarzeń drogowych	$W_{2-2} = \frac{X \cdot 10^6}{\frac{365 \cdot T}{n} \sum_{i=1}^{n} Q_i \cdot \sum_{i=1}^{n} L_i}$	X – liczba ekwiwalentnych zdarzeń drogowych w okresie T w danym obszarze T – okres bilansowy n – liczba elementów sieci drogowej w danym obszarze miasta (odcinków międzywęzłowych) Q_i – średnioroczne dobowe natężenie ruchu drogowego na i-tym odcinku sieci w danym obszarze miasta L_i – długość i-tego odcinka sieci drogowej w danym obszarze miasta (liczona pomiędzy środkami geometrycznymi skrzyżowań lub skrzyżowaniem i końcem ulicy) Y – liczba zdarzeń drogowych w danym obszarze miasta w okresie T; x_i – współczynnik przeliczeniowy danego i–tego zdarzenia drogowego na liczbę ekwiwalentnych zdarzeń Y^* - liczba zdarzeń drogowych z udziałem, w zależności od rodzaju wskaźnika, odpowiednio: pieszych Y_P, rowerzystów Y_R oraz dzieci Y_D, w analizowanym obszarze
3	Wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych	$W_{2-3} = \frac{X}{T \cdot \sum_{i=1}^{n} L_i}$	
4	Wskaźnik ciężkości zdarzeń	$W_{2-4} = \frac{X}{Y}$	
5	Wskaźnik zdarzeń drogowych z udziałem pieszych W_{34}, rowerzystów W_{35} oraz dzieci W_{36}	$W_{2-5}, W_{2-6}, W_{2-7} = \frac{Y^*}{T \cdot \sum_{i=1}^{n} L_i}$	
6	Wskaźnik liczby ofiar zdarzeń drogowych w wybranym elemencie drogi	$W_{2-8} = \frac{P_o}{T \cdot \sum_{i=1}^{n} L_i}$	P_o – liczba ofiar zdarzeń drogowych (osób zabitych i rannych) w analizowanym przedziale czasu T w danym obszarze
7	Wskaźnik zmian liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych	$W_{2-9} = \frac{W_{2-3}(t)}{W_{2-3}(t-n)}; W_{2-3} \neq 0$	- odcinki międzywęzłowe
8	Wskaźnik względnej liczby zdarzeń drogowych przypadających na milion pojazdów w roku na danym elemencie sieci drogowej	$W_{2-10} = \begin{cases} \frac{X \cdot 10^6}{Q \cdot L \cdot 365 \cdot T} \\ \frac{X \cdot 10^6}{Q \cdot 365 \cdot T} \end{cases}$	- pozostałe elementy sieci drogowej X – liczba ekwiwalentnych zdarzeń drogowych na danym elemencie sieci drogowej w analizowanym przedziale czasu T Li – długość odcinka ulicy; Qi – średnioroczne dobowe natężenie ruchu drogowego na analizowanym elemencie sieci drogowej

Tabela10 – cd.

9	Wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych w analizowanym roku na danym elemencie sieci drogowej	$W_{2-11} = \begin{cases} \frac{X}{L \cdot T} \\ \frac{X}{T} \end{cases}$	- odcinki międzywęzłowe - pozostałe elementy sieci drogowej
10	Wskaźnik liczby zdarzeń drogowych z udziałem pieszych, rowerzystów oraz dzieci w analizowanym roku na danym elemencie sieci drogowej	$W_{2-12}, W_{2-13}, W_{2-14} = \begin{cases} \frac{Y^*}{L \cdot T} \\ \frac{Y^*}{T} \end{cases}$	- odcinki międzywęzłowe - pozostałe elementy sieci drogowej Y* - liczba zdarzeń drogowych z udziałem, w zależności od rodzaju wskaźnika, odpowiednio: pieszych YP, rowerzystów YR oraz dzieci YD, w analizowanym obszarze
11	Wskaźnik liczby pieszych oraz rowerzystów biorących udział w zdarzeniach drogowych w analizowanym roku na danym elemencie sieci drogowej	$W_{2-15}, W_{3-16} = \begin{cases} \frac{P^*}{L \cdot T} \\ \frac{P^*}{T} \end{cases}$	- odcinki międzywęzłowe - pozostałe elementy sieci drogowej P* - liczba, w zależności od rodzaju wskaźnika odpowiednio pieszych PP lub rowerzystów PR, uczestniczących w zdarzeniach drogowych na danym elemencie sieci drogowej
12	Wskaźnik liczby pieszych w wieku 7 – 15 lat biorących udział w zdarzeniach drogowych	$W_{2-17} = \begin{cases} \frac{P_{DP}}{L \cdot T} \\ \frac{P_{DP}}{T} \end{cases}$	- odcinki międzywęzłowe - pozostałe elementy sieci drogowej PDP – liczba pieszych w wieku 7 – 15 lat, uczestniczących w zdarzeniach drogowych na danym elemencie sieci drogowej w okresie T
13	Wskaźnik średniej liczby osób zabitych lub rannych w wyniku zaistniałych zdarzeń drogowych na danym analizowanym odcinku drogi	$W_{2-18} = \begin{cases} \frac{P_o}{L \cdot T} \\ \frac{P_o}{T} \end{cases}$	- odcinki międzywęzłowe - pozostałe elementy sieci drogowej
14	Wskaźnik jednorodności zdarzeń drogowych na danym elemencie sieci drogowej	$W_{2-19} = \left\{ \frac{Y_i}{Y} \right\}$	*Yi* – liczba zdarzeń drogowych i-tego rodzaju, np. zderzenia czołowe, zderzenia boczne pojazdów, na danym elemencie sieci drogowej w okresie T

Tabela 10 – cd.

15	Wskaźnik koncentracji zdarzeń drogowych na danym odcinku sieci drogowej	$W_{2-20} = \left\{ \frac{\max\left\{\frac{Y_S}{Y}\right\}}{\max\left\{\frac{Y_{50}}{Y}\right\}} \right.$	- skrzyżowania - odcinki międzywęzłowe YS – liczba zdarzeń drogowych w analizowanym przedziale czasu na danym segmencie skrzyżowania Y50 – liczba zdarzeń drogowych, które zaistniały na długości 50 m danego odcinka międzywęzłowego w analizowanym przedziale czasu
16	Wskaźnik oceny miejsc niebezpiecznych na sieci drogowej	$W_{3-21} = \frac{W_{3-2j}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_{3-2i}} + \frac{W_{3-3j}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_{3-3i}} + \frac{W_{3-5j} + W_{3-6j}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_{3-5i} + W_{3-6i}}$	W31i, W31j – wskaźnik względnej liczby zdarzeń drogowych na i-tym oraz j-tym analizowanym elemencie sieci drogowej W32i, W32j – wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych na i-tym oraz j-tym analizowanym elemencie sieci drogowej W34i, W34j – wskaźnik liczby zdarzeń drogowych z udziałem pieszych na i-tym oraz j-tym elemencie sieci drogowej miasta W35i, W35j – wskaźnik liczby zdarzeń drogowych z udziałem rowerzystów na i-tym oraz j-tym elemencie sieci drogowej miasta
17	Wskaźnik oceny miejsc niebezpiecznych dla pieszych	$W_{2-22j} > W_{3-22gran}$ $W_{3-22gran}$ = 3,0 - miasto o liczbie mieszkańców powyżej 450 tys.; 2,5–miasto o liczbie mieszkańców od 350 tys. do 450 tys. 2,0–miasto o liczbie mieszkańców od 100 tys. do 350 tys. 1,5–miasto o liczbie mieszkańców od 50 tys. do 100 tys.; 1,0–miasto o liczbie mieszkańców poniżej 50 tys.	W_{321j} – wskaźnik liczby pieszych uczestniczących w zdarzeniu drogowym na j-tym elemencie sieci drogowej $W_{321gran}$ – przyjmuje się w zależności od wielkości miasta

Tabela 10 – cd.

18	Wskaźnik oceny miejsc niebezpiecznych dla rowerzystów	$W_{2-23j} > W_{3-23gran}$ $W_{3\text{-}23gran}$ = 1,5 - miasto o liczbie mieszkańców powyżej 450 tys.; 1,0–miasto o liczbie mieszkańców od 100 tys. do 450 tys. 0,5–miasto o liczbie mieszkańców poniżej 100 tys.	W_{322j} – wskaźnik liczby rowerzystów uczestniczących w zdarzeniu drogowym na j-tym elemencie sieci drogowej $W_{322gran}$ – przyjmuje się w zależności od wielkości miasta
19	Wskaźnik oceny miejsc niebezpiecznych dla dzieci	$W_{2-24j} > W_{3-24gran}$ $W_{3\text{-}24gran}$ należy przyjmować jak $W_{3\text{-}23gran}$	W_{323j} – wskaźnik liczby dzieci uczestniczących w zdarzeniu drogowym na j-tym elemencie sieci drogowej $W_{323gran}$ – przyjmuje się w zależności od wielkości miasta

5.1.3 Dobór miar do oceny działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu.

Na podstawie analizy literatury z zakresu bezpieczeństwa systemów, jak również psychologii kierowców, do oceny działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu wyznaczono zbiór wskaźników, których zależności przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11 Wykaz zbioru wskaźników W_{3i} do oceny działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu [8, 31, 42, 52, 75, 76, 78, 80, 88, 89, 90, 100, 107, 111, 134]:

	Nazwa wskaźnika	Wzór obliczeniowy	Opis składników zależności
1	Oczekiwana liczba błędów operatora w n operacjach	$W_{3-1} = \sum_{i=1}^{n} p_i$	p_i – prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez operatora w i-tej operacji n – liczba operacji
2	Prawdopodobieństwo zajścia wypadku z winy operatora	$W_{3-2} = p^{\frac{R}{C}}$	R/C – miara obciążenia informacyjnego operatora R – liczba informacji jaką musi przetworzyć w jednostce czasu operator w celu panowania nad procesem sterowania C – przepustowość informacyjna operatora, gdy $R = C$ – graniczne obciążenie operacyjne (p = 0,02)
3	Współczynnik stresu	$W_{3-3} = \frac{E[T_i]}{T_i^*}$	$E[T_i]$ – wartość oczekiwana czasu pozostałego do zakończenia działania po wykonaniu przez operatora i-1 działania elementarnego T_i^* - pozostałość czasu do zakończenia działania po wykonaniu i –1 działania elementarnego $S_i \leq M$ – stres pozytywny $S_i \geq M$ – stres negatywny M = 1,9 ÷ 2,2 – operator zrównoważony M = 2,3 – przeciętny operator M = 2,4 ÷ 2,8 – operator niezrównoważony
4	Czas pracy operatora , po upływie którego (przy niezmiennych warunkach) następuje spadek wydajności i poprawności pracy	$W_{3-4} = \frac{q_a}{q}$	q_a – ilość ciepła akumulowanego w organizmie człowieka, która powoduje podwyższenie temperatury ciała o dopuszczalną wartość $\Delta\vartheta \leq 1{,}1K$ q – ciepło wymienione między organizmem człowieka a otoczeniem $q = q_m \pm q_r \pm q_c - q_e$ q_m – ciepło wytwarzane w procesach metabolicznych q_r – ciepło wymienione przez promieniowanie q_c – ciepło wymienione przez konwekcję q_e – ciepło odprowadzone przez parowanie
5	Częstość podejmowania decyzji o wyborze odpowiedniego manewru w sytuacji niebezpiecznej	$W_{3-5} = \frac{n_p}{n} \cdot 100\%$	n_p. – liczba kierowców wykonujących określone działanie n – ogólna liczba badanych kierowców

Tabela 11 – cd.

6	Liczba wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących pojazdami przypadająca na 100 wypadków drogowych.	$W_{3-6} = \frac{L_{WK} \cdot 100}{L_W}$	L_W – liczba wszystkich zaistniałych zdarzeń drogowych w analizowanym przedziale czasu L_{WK} – liczba wypadków drogowych spowodowana przez kierujących pojazdami w analizowanym przedziale czasu
7	Liczba wypadków drogowych powodowanych przez pieszych przypadająca na 100 wypadków drogowych.	$W_{3-7} = \frac{L_{WP}}{L_W} \cdot 100$	L_W – liczba wypadków drogowych L_{WP} – liczba wypadków drogowych powodowanych przez pieszych
8	Liczba wypadków drogowych spowodowanych przez pasażerów korzystających ze środków transportu przypadająca na 100 wypadków drogowych.	$W_{3-8} = \frac{L_{WPA} \cdot 100}{L_W}$	L_W – liczba wypadków drogowych L_{WPA} – liczba wypadków drogowych spowodowana przez pasażerów korzystających ze środków transportu w analizowanym przedziale czasu
9	Liczba osób zabitych przypadająca na 100 wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących pojazdami.	$W_{3-9} = \frac{L_{ZK} \cdot 100}{L_{WK}}$	L_{ZK} – liczba osób zabitych w wypadkach spowodowanych przez kierujących pojazdami
10	Liczba osób zabitych przypadająca na 100 wypadków drogowych spowodowanych przez pieszych.	$W_{3-10} = \frac{L_{ZP} \cdot 100}{L_{WP}}$	L_{ZP} – liczba osób zabitych w wypadkach spowodowanych przez pieszych
11	Liczba osób zabitych przypadająca na 100 wypadków drogowych spowodowanych przez pasażerów korzystających ze środków transportu.	$W_{3-11} = \frac{L_{ZPA} \cdot 100}{L_{WPA}}$	L_{ZK} – liczba osób zabitych w wypadkach spowodowanych przez pasażerów korzystających ze środków transportu

6. GENEZA, TEZA I CEL PRACY.

6.1 Geneza pracy.

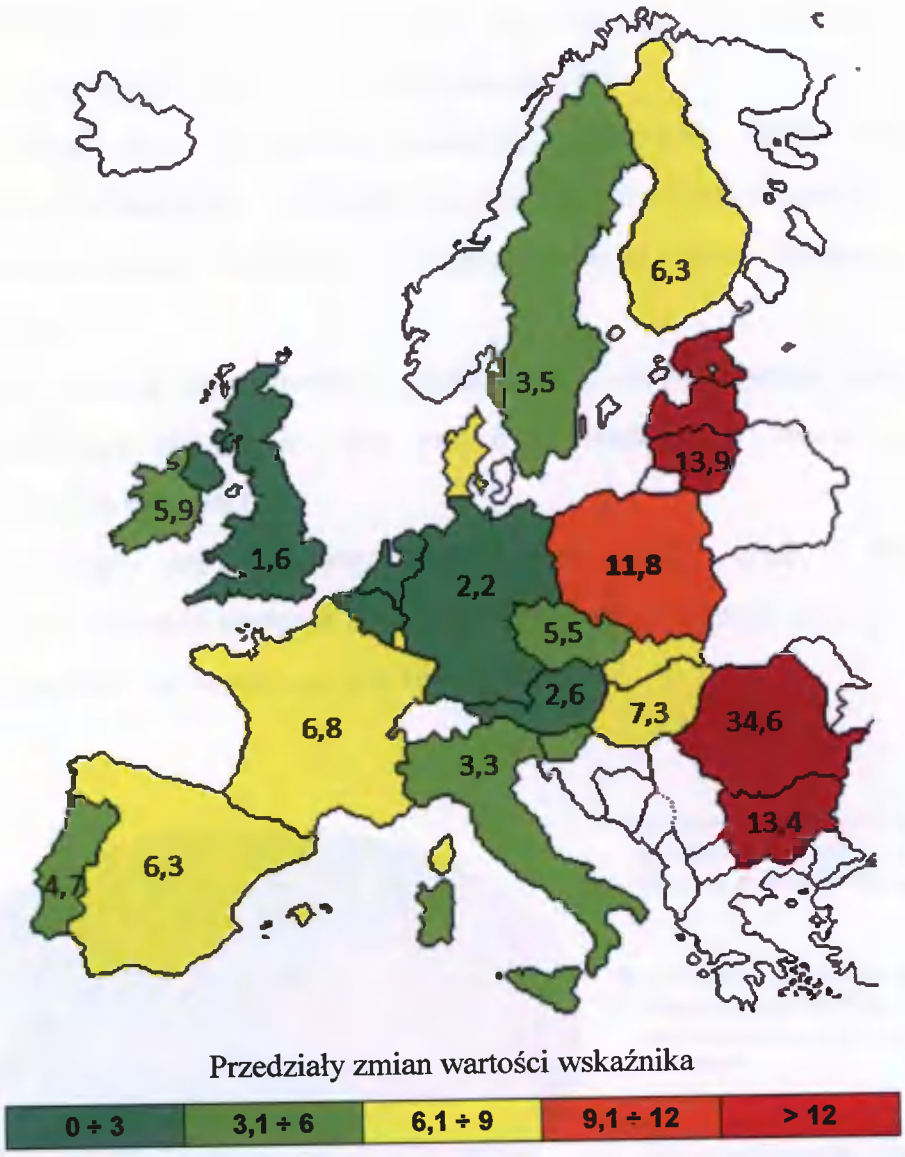
Dynamicznie rozwijający się transport drogowy, pomimo korzyści z nim związanych, stanowi zagrożenie zdrowia i życia ludzi.

Miarę oceny poziomu zagrożenia zdrowia i życia ludzi stanowić może szereg wartości wskaźników odzwierciedlających np. liczbę pojazdów przypadających na określoną liczbę ludności, liczbę osób rannych lub zabitych przypadających na sto wypadków drogowych, liczbę śmiertelnych wypadków drogowych przypadających na sto zdarzeń drogowych itd.

Stanem intencjonalnym odzwierciedlającym najbardziej pożądany poziom bezpieczeństwa byłby stan w którym nie występują wypadki śmiertelne oraz zdarzenia drogowe. Stan taki jest stanem idealnym w praktyce niemożliwym do osiągnięcia.

Na podstawie danych zawartych w Europejskiej bazie CARE [162] opracowano wskaźnik liczby śmiertelnych wypadków drogowych $W_{ŚWD}$ przypadających na sto wypadków drogowych. Średnia wartość tego wskaźnika dla badanych państw wynosi $W_{ŚWD} = 7,5$, natomiast średnia wartość wskaźnika dla „starych" państw Unii $W_{ŚWD} = 4,23$.

Wybrane wyniki badań poszczególnych państw biorących udział w programie CARE przedstawiono na rysunku 6.1.



Rys. 6.1 Wybrane wyniki badań odzwierciedlające wartość wskaźnika liczby śmiertelnych wypadków drogowych przypadających na sto zdarzeń drogowych (opracowanie własne).

Jak wynika z przedstawionego rysunku wartość tego wskaźnika w Polsce kształtuje się na poziomie dwunastu wypadków śmiertelnych, przypadających na sto zdarzeń drogowych (tzn. wypadków i kolizji łącznie), co powoduje, że zalicza się Polskę do państw o najniższym poziomie bezpieczeństwa.

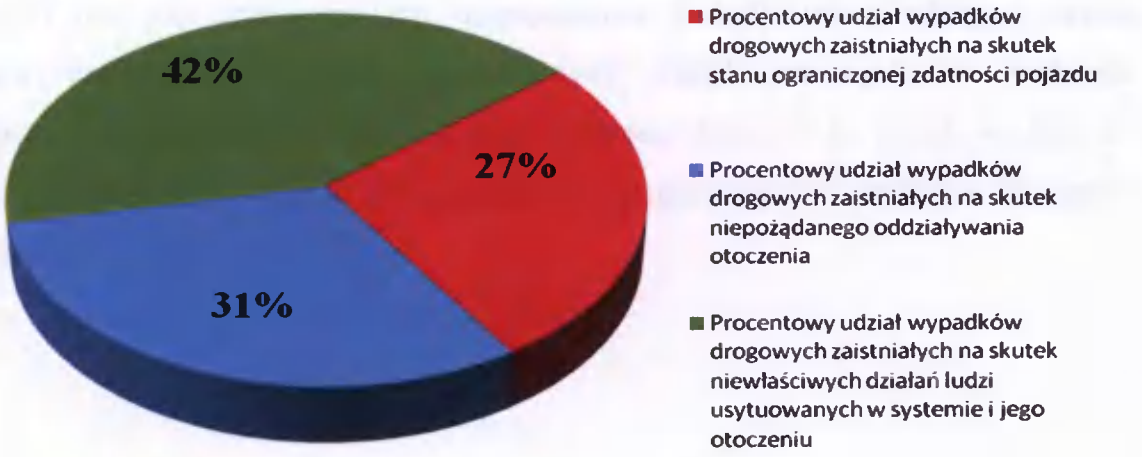
W systemie transportowym szczególnie newralgiczny, z punktu widzenia bezpieczeństwa, jest transport miejski. Wynika to z dużej liczby pojazdów uczestniczących w ruchu drogowym, zatłoczenia dróg i ulic, niewłaściwej infrastruktury

ulic, nadmiernego hałasu, stresu kierowców, wywołanego nadmiernym natężeniem ruchu, zmienną dynamiką jazdy, dużą liczbą pieszych, itd.

Oddziaływania tych czynników stanowią zagrożenia, które na terenach zurbanizowanych występują w większym stopniu niż poza terenem miejskim. Dlatego bezpieczeństwo realizacji przewozów jest nadrzędnym kryterium działania systemów transportowych.

Szczególnie istotne są zagrożenia wynikające z niewłaściwego stanu środków transportu, stanowią one około 30% przyczyn powstawania zdarzeń drogowych co przedstawiono na rysunku 6.2.

W pracy podjęto próbę budowy modelu oraz metody oceny i kształtowania bezpieczeństwa działania systemu transportowego na podstawie analizy uszkodzeń środków transportu eksploatowanych w tym systemie.



Rysunek 6.2 Procentowy udział przyczyn powstawania wypadków drogowych w ogolnej liczbie tych wypadków.

6.2 Teza pracy.

Mając na uwadze subiektywność oceny dotyczącej wpływu oddziaływania różnorodnych czynników wymuszających na Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego, ograniczono się w pracy do opracowania metody oraz zbudowania modelu, oceny i kształtowania poziomu bezpieczeństwa działania środków transportu, na podstawie zbioru kryteriów, umożliwiających dokonanie oceny wartości cech opisujących system, z punktu widzenia bezpieczeństwa ich działania.

6.3 Cel pracy.

Ze względu na niemożność wpływu na szybkie dostosowanie infrastruktury do zmian w natężeniu ruchu drogowego oraz zmian w jakości działań operatorów środków transportu jako cel pracy przyjęto **opracowanie metody umożliwiającej ocenę wpływu uszkodzeń obiektów technicznych eksploatowanych w systemie transportowym na bezpieczeństwo tego systemu**. Stanowi to punkt wyjścia do podjęcia racjonalnych działań zwiększających bezpieczeństwo działania systemów transportowych.

7. BUDOWA MODELU WYNIKOWEGO OCENY BEZPIECZEŃSTWA DZIAŁANIA ŚRODKÓW TRANSPORTU MIEJSKIEGO NA PODSTAWIE ANALIZY ICH USZKODZEŃ.

Ze względu na brak w analizowanej literaturze metod* oceny bezpieczeństwa działania systemów na podstawie analizy stanu technicznego środków transportu, *w pracy wyznaczono zbiór wskaźników (8.2.1) przydatnych do takiej oceny.

W procesie budowy modelu wstępnego dokonano identyfikacji zbioru wskaźników $W_{1i} = \{W_{1\text{-}1}, W_{1\text{-}2}, W_{1\text{-}3}, \ldots, W_{1\text{-}15}\}$, występujących w literaturze przedmiotu.

Z powodu dużej liczności zbioru oraz zróżnicowanej przydatności tych wskaźników dokonano redukcji tego zbioru stosując następujące kryteria:

- przydatności do oceny bezpieczeństwa działania, wynikającej ze specyfiki przyjętego obiektu badań,
- przydatności do oceny bezpieczeństwa działania obiektu badań wynikającej z uszkodzeń jego podsystemów
- oceny strat dotyczących ludzi oraz środków transportu
- przydatności do oceny kosztów zdarzeń drogowych.

Na podstawie przyjętych kryteriów, dokonano redukcji elementów zbioru pełnego wskaźników ocenowych, wyznaczając reprezentatywny zbiór wskaźników W_{RW}, stanowiący wynikowy model oceny bezpieczeństwa działania środków transportu i ich wpływu na bezpieczeństwo działania analizowanego systemu.

1 Liczba osób zabitych przypadająca na 10 wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu.

$$W_{1\text{-}8.1} = \frac{LO_1}{LZ_1} \cdot 10 \tag{7.1}$$

LO_1 – liczba osób zabitych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych

LZ_1 – liczba wypadków drogowych

2 Liczba osób rannych przypadająca na 10 wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu..

$$W_{1\text{-}8.2} = \frac{LO_2}{LZ_1} \cdot 10 \tag{7.2}$$

LO_2 – liczba osób rannych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych

LZ_1 – liczba wypadków drogowych

3 Liczba wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu, przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów.

$$W_{1\text{-}9.1} = \frac{LZ_1}{LP} \cdot 10^4 \tag{7.3}$$

LZ_1 – liczba wypadków drogowych

LP – liczba przejechanych kilometrów przez badany autobus

4 Liczba kolizji drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu, przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów.

$$W_{1\text{-}9.2} = \frac{LZ_2}{LP} \cdot 10^4 \tag{7.4}$$

LZ_2 – liczba kolizji drogowych

LP – liczba przejechanych kilometrów przez badany autobus

5 Liczba uszkodzeń podsystemów istotnych przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów.

$$W_{1\text{-}10} = \frac{LU_{PI}}{LP} \cdot 10^4 \tag{7.5}$$

LU_{PI} – liczba uszkodzeń podsystemów istotnych autobusu

LP – liczba przejechanych kilometrów w analizowanym przedziale czasu

6 Liczba wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu, przypadająca na 100 uszkodzeń podsystemów istotnych

$$W_{1\text{-}11} = \frac{LZ_1}{LU_{PI}} \cdot 100 \tag{7.6}$$

LZ_1 – liczba zdarzeń drogowych i-tego rodzaju

LU_{PI} – liczba uszkodzeń k-tego podsystemu OT

7 Wskaźnik oceny poziomu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi usytuowanych w środku transportu.

$$W_{1\text{-}13} = \frac{LU_Z}{LZ} \cdot O \tag{7.7}$$

O – ocena zagrożenia jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu autobusu (1÷10);

gdzie:

1 - oznacza podsystem nieistotny którego uszkodzenie nie stwarza zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu

10 - oznacza podsystem istotny którego uszkodzenia powoduje niepożądany stan zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu i stanowi przyczynę wypadku drogowego

LU_Z – liczba uszkodzeń i – tego podsystemu inicjujących zdarzenia niepożądane

LZ – liczba wszystkich zdarzeń niepożądanych

W procesie budowy modelu wynikowego przyjęto założenie, że wartości graniczne cech opisujących bezpieczeństwo działania środków transportu zmieniają się w następującym zakresie $\langle 0 \div 1 \rangle$,

gdzie:

0 – oznacza stan bezpiecznego działania systemu (stan intencjonalny),

1 – stan niebezpiecznego działania systemu (stan katastroficzny).

Pomiędzy tymi stanami wyróżnić można n – stanów bezpiecznościowych, odzwierciedlających zróżnicowany poziom bezpieczeństwa działania środków transporu.

Poziom ten można opisać za pomocą zbiorów rozmytych [65, 66] o funkcji przynależności $\mu_A(x)$ zbioru rozmytego A opisującego stan bezpieczeństwa działania systemu [22, 45].

Zbiorem rozmytym A w pewnej przestrzeni $X = \{x\}$, $A \subsetneq X$, nazywa się zbiór par

$$A = \left\{ \left(\mu_A(x), x \right) \right\}, \quad \forall x \in X \tag{7.8}$$

gdzie:

$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ - jest funkcją przynależności zbioru rozmytego A, która każdemu elementowi $x \in X$ przypisuje jego stopień przynależności do zbioru rozmytego A, $\mu_A(x) \in [0, 1]$.

Postać zbioru rozmytego $A \subsetneq X$, można zapisać w dwojaki sposób:

- dla przestrzeni o nieskończonej liczbie elementów $X = \{x\}$

$$A = \sum_{x \in X} \mu_A(x) / x \tag{7.9}$$

- dla przestrzeni o skończonej liczbie elementów $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$

$$A = \sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i) / x_i = \mu_A(x_1) / x_1 + \mu_A(x_2) / x_2 + ... + \mu_A(x_n) / x_n \tag{7.10}$$

Funkcja przynależności $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ przyjmuje wartości z przedziału $\langle 0 \div 1 \rangle$ i każdemu elementowi z przestrzeni X przyporządkowuje stopień przynależności

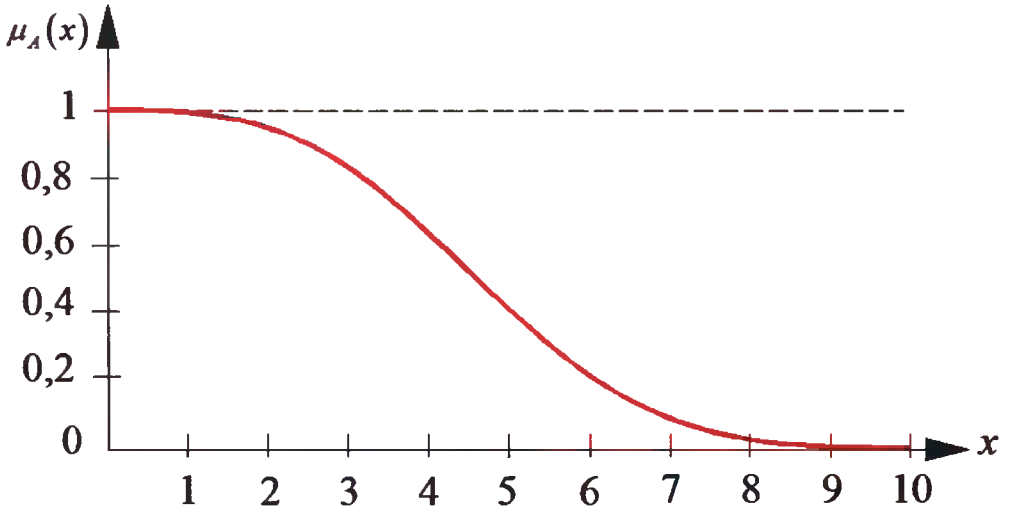
do danego zbioru rozmytego: od nieprzynależności $(\mu_A(x)=0)$, poprzez przynależność częściową $(0<\mu_A(x)<1)$ do całkowitej przynależności $\mu_A(x)=1$.

Przykładowy wykres funkcji przynależności zbioru rozmytego stanu katastroficznego bezpieczeństwa działania systemu przedstawiono na rysunku 7.1.

gdzie:

$\mu_A(x) = 0$ – oznacza stan niebezpiecznego działania środków transportu (stan katastroficzny)

$\mu_A(x) = 1$ – oznacza stan bezpiecznego działania środków transportu (stan intencjonalny)



Rysunek 7.1. Funkcja przynależności zbioru rozmytego stanu bezpieczeństwa działania systemu.

Przyjmując, że dany jest pełny zbiór wskaźników reprezentatywnych W_R, służących do oceny poziomu bezpieczeństwa działania analizowanego systemu transportowego.

$$W_R = \{W_{1\text{-}8.1}, W_{1\text{-}8.2}, W_{1\text{-}9.1}, W_{1\text{-}9.2}, W_{1\text{-}10}, W_{1\text{-}11}, W_{1\text{-}13}\} \tag{7.11}$$

Każdy ze wskaźników można przedstawić w postaci skończonego zbioru wartości wskaźnika W_R:

$$W_R = \begin{cases} W_{1\text{-}8.1} = A,(a_1, a_2, ..., a_{72}) \\ W_{1\text{-}8.2} = B,(b_1, b_2, ..., b_{72}) \\ W_{1\text{-}9.1} = C,(c_1, c_2, ..., c_{72}) \\ W_{1\text{-}9.2} = D,(d_1, d_2, ..., d_{72}) \\ W_{1\text{-}10} = E,(e_1, e_2, \ ..., e_{72}) \\ W_{1\text{-}11} = F,(f_1, f_2, ..., f_{72}) \\ W_{1\text{-}13} = g,(g_1, g_2, ..., g_{72}) \end{cases} \tag{7.12}$$

W procesie budowy modelu wynikowego oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego, wyznaczono wartości graniczne poszczególnych wskaźników (kryteriów), opisujących przedziały zmian poziomu bezpieczeństwa działania tego systemu. Najbardziej pożądaną wartością każdego kryterium jest jego wartość jak najmniejsza,

Wyznaczone zbiory wartości wskaźników poddano operacji rozmycia w wyniku czego otrzymano rozmyty zbiór wskaźników reprezentatywnych RW_R.

$$RW_R = \begin{cases} RW_{1\text{-}8.1}; A = (\mu_A(x)/a_1, \mu_A(x)/a_2, ..., \mu_A(x)/a_{72}) \\ RW_{1\text{-}8.2}; B = (\mu_B(x)/b_1, \mu_B(x)/b_2, ..., \mu_B(x)/b_{72}) \\ RW_{1\text{-}9.1}; C = (\mu_C(x)/c_1, \mu_C(x)/c_2, ..., \mu_C(x)/c_{72}) \\ RW_{1\text{-}9.2}; D = (\mu_D(x)/d_1, \mu_D(x)/d_2, ..., \mu_D(x)/d_{72}) \\ RW_{1\text{-}10}; E = (\mu_E(x)/e_1, \mu_E(x)/e_2, \ ..., \mu_E(x)/e_{72}) \\ RW_{1\text{-}11}; F = (\mu_F(x)/f_1, \mu_F(x)/f_2, ..., \mu_F(x)/f_{72}) \\ RW_{1\text{-}13}; G = (\mu_G(x)/g_1, \mu_G(x)/g_2, ..., \mu_G(x)/g_{72}) \end{cases} \tag{7.13}$$

W modelowaniu rozmytym stosuje się cztery podstawowe typy zbiorów rozmytych **Lambda** $FS_\Lambda(x)$, **Pi** $FS_\Pi(x)$, **L** $FS_L(x)$, i **Gamma** $FS_\Gamma(x)$.

Na podstawie analizy literatury z zakresu systemów sterowania oraz systemów decyzyjnych strefę rozmycia w pracy zamodelowano linią prostą. Na tej podstawie stan niebezpieczeństwa został zamodelowany przy pomocy zbioru rozmytego typu Λ opisanego następującą zależnością:

$$FS_{\Lambda}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \le lrs \vee x \ge rrs \\ \dfrac{x - lrs}{lrk - lrs} & \text{dla } lrs < x \le lrk \\ \dfrac{rrs - x}{rrs - lrk} & \text{dla } lrk < x < rrs \end{cases} \tag{7.14}$$

gdzie:

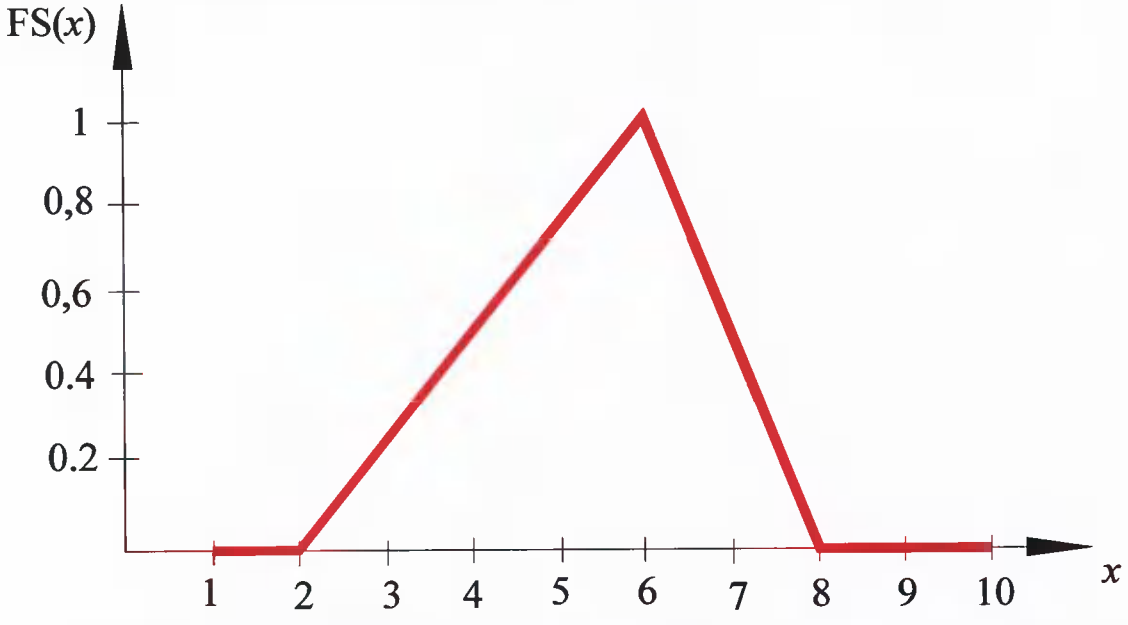
$FS_{\Lambda}(x)$ – funkcja przynależności dla zbioru rozmytego typu Λ

lrs – najmniejsza wartość należąca do nośnika zbioru rozmytego

lrk – najmniejsza wartość należąca do jądra zbioru rozmytego

rrs – największa wartość należąca do nośnika zbioru rozmytego

Postać graficzna zbioru rozmytego typu Λ przedstawiono na rysunku 7.2.



Rysunek 7.2. Funkcja przynależności zbioru rozmytego typu Λ do stanu bezpieczeństwa działania systemu.

W celu objaśnienia zależności (7.14) w pracy zdefiniowano pojęcie nośnika zbioru rozmytego (support) i jądra zbioru rozmytego (kernel).

Nośnik zbioru rozmytego to zbiór takich x, że funkcja przynależności jest większa od zera:

$$\operatorname{supp}(\mathrm{FS}) = \{x : x \in R \wedge \mu(x) > 0\} \tag{7.15}$$

Jądro zbioru rozmytego to zbiór takich x, że funkcja przynależności jest równa 1:

$$\ker(\mathrm{FS}) = \{x : x \in R \wedge \mu(x) = 1\} \tag{7.16}$$

8. BADANIA EKSPLOATACYJNE.

8.1 Identyfikacja obiektu badań

Obiektem badań jest autobus, będący środkiem transportu w systemie komunikacji autobusowej. Jest to pojazd samochodowy przeznaczony do przewozu więcej niż dziewięciu osób. Autobus przystosowany jest do przewozu pasażerów i ich bagażu może mieć jeden lub dwa pokłady. Klasyfikacji autobusów można dokonać ze względu na następujące kryteria [27, 72, 159]:

a. **ze względu na przeznaczenie:**
   - autobusy komunikacji publicznej:
   - lokalne
     - miejskie (napędzane olejem napędowym, gazem ziemnym, energią elektryczną – trolejbusy)
     - podmiejskie
     - międzymiastowe
   - dalekobieżne
   - turystyczne (autokar)
   - szkolne
   - specjalne (np. policyjne, strażackie, medyczne,)

b. **ze względu na rozmiary**
   - mikrobus (autobus w nadwoziu samochodu dostawczego)
   - klasa mini, tzw. minibus (mały autobus, <7 m długości)
   - klasa midi, tzw. midibus (średniej wielkości autobus, 7–10 m długości)
   - klasa maxi (duży autobus, 10–12 m długości)
   - klasa mega (autobus wieloosiowy, zwykle ponad 15 m długości)

c. ze względu na konstrukcję nadwozia

- klasyczny
- autobus przegubowy zwany również członowym
- piętrowy

d. ze względu na wysokość podłogi

- niskopodłogowy (wejście bez stopni, podłoga na spodzie nadwozia, do 35 cm nad poziomem jezdni)
- średniopodłogowy (jeden stopień wejściowy, podłoga na poziomie ok. 36 - 75 cm nad poziomem jezdni)
- wysokopodłogowy (dwa lub więcej stopni wejściowych, podłoga na poziomie od 76 cm wzwyż nad poziomem jezdni)
- wysokopokładowy (podłoga na poziomie ponad 100 cm nad poziomem jezdni, osobny dolny pokład przeznaczony na luki bagażowe, konstrukcja typowa dla autobusów dalekobieżnych i turystycznych)
- niskowejściowy (częściowo niskopodłogowy – najczęściej w przedniej części a w tylnej wysokopodłowgowy)

e. ze względu na usytuowanie silnika

- z silnikiem z przodu
- z silnikiem pod podłogą, między osiami,
- z silnikiem ułożonym z tyłu:
  - poprzecznie lub wzdłużnie,
  - pionowo lub poziomo

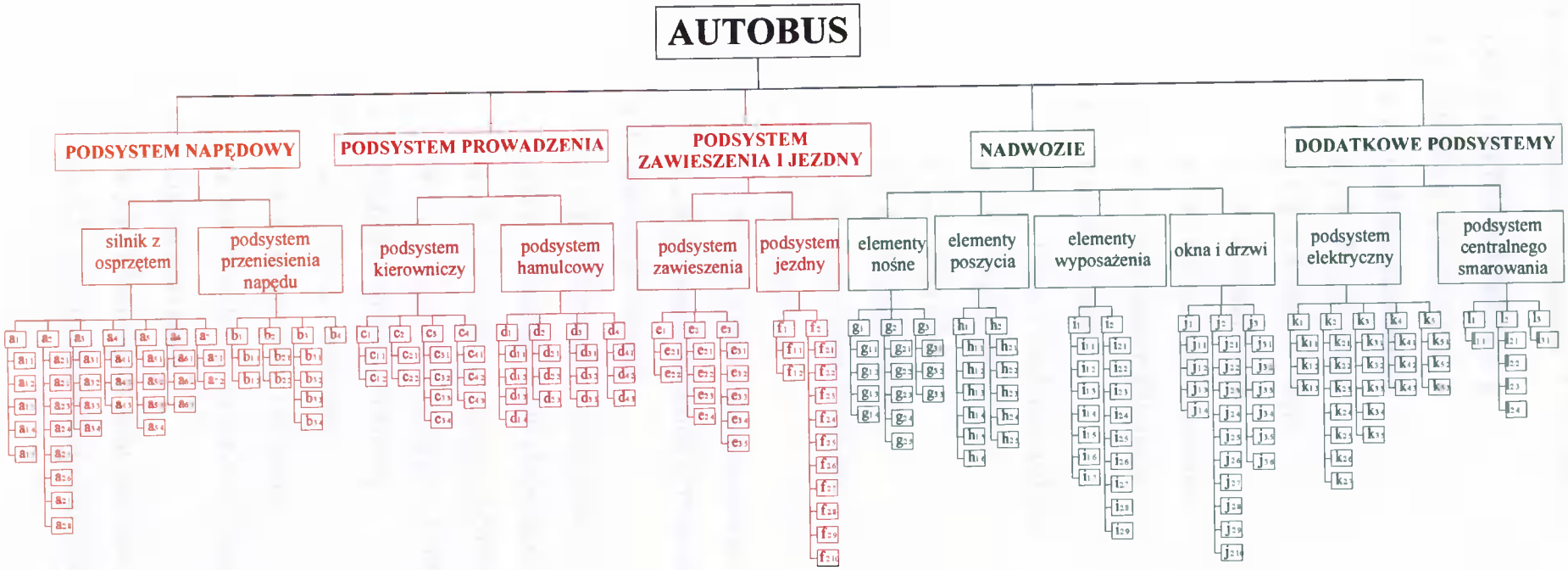
Autobusy eksploatowane w Zakładzie Komunikacji Autobusowej są to autobusy miejskie służące do przewozu dużej liczby osób na stosunkowo krótkich trasach, posiadają szerokie drzwi pozwalające na płynne wsiadanie i wysiadanie z autobusu, ponadto posiadają szerokie i wygodne przejścia między siedzeniami.

Charakteryzują się przewagą liczby miejsc stojących nad siedzącymi oraz niskim komfortem miejsc siedzących (w porównaniu z innymi typami autobusów). Ze względu na warunki ruchu miejskiego, w jakich te autobusy są użytkowane, muszą odznaczać się dużą zwrotnością. Aby spełnić warunek dużej pojemności, z jednoczesnym zachowaniem dobrej zwrotności, buduje się autobusy członowe (z przednią i tylną osią skrętną), lub piętrowe. Istnieje ograniczenie stosowania autobusów piętrowych – nie mogą być użytkowane w aglomeracji miejskiej w której występują trakcje elektryczne innych rodzajów komunikacji zbiorowej (np. tramwajowej lub trolejbusowej).

W analizowanym Zakładzie Komunikacji Autobusowej eksploatowane są autobusy miejskie różnych marek i typów. Skład taboru w ZKA według roku produkcji i typu autobusu przedstawiono w tabeli 9.1 (rozdział 9 – badania eksploatacyjne).

Na podstawie badań własnych [9, 151, 153, 155] i badań literaturowych [27, 50, 62, 98, 104, 105, 154] zapoznano się z budową poszczególnych typów autobusów wchodzących w skład taboru ZKA.

Ze względu na zróżnicowaną budowę autobusów, w pracy przedstawiono dekompozycję autobusów przegubowych, przedstawiając poszczególne podsystemy na rysunku 4.3.



Rys. 4.3 Schemat blokowy obiektu badań.

Wykaz podsystemów i elementów obiektu badań.

1 PODSYSTEM NAPĘDOWY

1.1 SILNIK Z OSPRZĘTEM

a 1 Układ smarowania

- **a 1.1** Pompa oleju
- **a 1.2** Chłodnica oleju
- **a 1.3** Zbiornik oleju
- **a 1.4** Urządzenia kontrolne
- **a 1.5** Podsystem filtrujący

a 2 Układ zasilania

- **a 2.1** Pompa zasilająca paliwa
- **a 2.2** Pompa wtryskowa
- **a 2.3** Wtryskiwacze
- **a 2.4** Zbiornik paliwa
- **a 2.5** Podsystem filtrujący
- **a 2.6** Przewody
- **a 2.7** Podsystem doładowania powietrzem
- **a 2.8** Układ sterowania wtryskiem

a 3 Układ chłodzenia

- **a 3.1** Pompa płynu chłodzącego
- **a 3.2** Zbiorniki płynu chłodzącego
- **a 3.3** Podsystem wentylacji chłodnicy
- **a 3.4** Urządzenia sterujące i kontrolne

a 4 Układ tłokowo – korbowy

- **a 4.1** Tłok (komplet)
- **a 4.2** Korbowód (komplet)
- **a 4.3** Wał korbowy z kołem zamachowym

a 5 Układ rozrządu

- **a 5.1** Elementy napędu rozrządu
- **a 5.2** Elementy sterujące zaworami

a 5.3 Zawory

a 5.4 Obudowa kół napędu rozrządu

a 6 Układ wydechowy

a 6.1 Przewody wydechowe

a 6.2 Tłumiki

a 6.3 Wsporniki, zaciski, obejmy

a 7 Korpus i głowice

a 7.1 Korpus silnika

a 7.2 Głowice silnika

1.2 PODSYSTEM PRZENIESIENIA NAPĘDU

b 1 Sprzęgło

b 1.1 Mechanizm sterujący sprzęgła

b 1.1 Mechanizm wykonawczy sprzęgła

b 2 Skrzynia biegów z osprzętem

b 2.1 Mechanizm sterujący skrzyni biegów

b 2.2 Automatyczna skrzynia biegów

b 3 Most napędowy

b 3.1 Przekładnia główna

b 3.2 Mechanizm różnicowy

b 3.3 Półosie i piasty mostu napędowego

b 3.4 Obudowa mostu napędowego

b 4 Wał napędowy

2 PODSYSTEM PROWADZENIA

2.1 PODSYSTEM KIEROWNICZY

c 1 Mechanizm kierowniczy

c 1.1 Przekładnia kierownicza

c 1.2 Kolumna kierownicza

c 2 Mechanizm zwrotniczy

c 2.1 Zwrotnice

c 2.2 Drążki zwrotnicze

c 3 Wspomaganie układu kierowniczego

c 3.1 Pompa układu wspomagania

c 3.2 Układ sterowania

c 3.3 Układ wykonawczy

c 3.4 Zbiornik oleju

c 4 Układ sterowania przegubem

c 4.1 Siłowniki hydrauliczne

c 4.2 Obrotnica przegubu

c 4.3 Urządzenia sterujące i kontrolne

2.2 PODSYSTEM HAMULCOWY

d 1 Układ sterujący

d 1.1 Główny zawór sterujący z pedałem hamulca

d 1.2 Zawór sterujący z dźwignią hamulca pomocniczego

d 1.3 Zawór sterujący hamulcami drugiego członu

d 1.4 Regulator siły hamowania

d 2 Układ wykonawczy

d 2.1 Hamulce bębnowe, tarczowe

d 2.2 Siłowniki membranowo – sprężynowe

d 2.3 Przewody i złącza

d 3 Układy wspomagania hamulców

d 3.1 Układy regulacji poślizgu kół (ABS/ASR)

d 3.2 Układy wspomagania nagłego hamowania (BAS)

d 3.3 Układ stabilizacji toru jazdy (ESP)

d 4 Układ zasilania sprężonym powietrzem

d 4.1 Układ przesyłu sprężonego powietrza

d 4.2 Układ przygotowania sprężonego powietrza

d 4.3 Układ wytworzenia sprężonego powietrza

3 PODSYSTEM ZAWIESZENIA I JEZDNY

3.1 PODSYSTEM ZAWIESZENIA

e 1 Elementy tłumiące

e 1.1 Amortyzatory teleskopowe

e 1.2 Gumowe elementy resorujące

e 2 Elementy stabilizujące

e 2.1 Wahacze

e 2.2 Drążki reakcyjne

e 2.3 Stabilizatory

e 2.4 Drążki i pióra prowadzące

e 3 Elementy pneumatyczny układu zawieszenia

e 3.1 Miechy powietrzne (komplet)

e 3.2 Zawory poziomujące miechów

e 3.3 Akumulatory powietrza sprężonego

e 3.4 Przewody

e 3.5 Drążki uruchamiające

3.2 PODSYSTEM JEZDNY

f 1 Osie nienapędzane

f 1.1 Oś przednia

f 1.2 Oś tylna lub środkowa

f 2 Koła jezdne

f 2.1 Koło prawe osi przedniej

f 2.2 Koło lewe osi przedniej

f 2.3 Koło prawe zewnętrzne osi tylnej

f 2.4 Koło lewe zewnętrzne osi tylnej

f 2.5 Koło prawe wewnętrzne osi tylnej

f 2.6 Koło lewe wewnętrzne osi tylnej

f 2.7 Koło prawe zewnętrzne osi środkowej

f 2.8 Koło lewe zewnętrzne osi środkowej

f 2.9 Koło prawe wewnętrzne osi środkowej

f 2.10 Koło lewe wewnętrzne osi środkowej

4 NADWOZIE

4.1 ELEMENTY NOŚNE

g 1 Kratownica

g 1.1 Lewa strona kratownicy I członu

g 1.2 Prawa strona kratownicy I członu

g 1.3 Lewa strona kratownicy II członu

g 1.4 Prawa strona kratownicy II członu

g 2 Szkielet nadwozia

g 2.1 Szkielet ściany czołowej

g 2.2 Szkielet ściany tylnej

g 2.3 Szkielet boczny prawy

g 2.4 Szkielet boczny lewy

g 2.5 Szkielet dachu

g 3 Połączenie przegubowe

g 3.1 Rama nośna przegubu

g 3.2 Wieniec obrotowy

g 3.3 Pałąk środkowy

4.2 ELEMENTY POSZYCIA

h 1 Elementy zewnętrzne

h 1.1 Poszycie ściany przedniej

h 1.2 Poszycie ściany tylnej

h 1.3 Poszycie dachowe zewnętrzne

h 1.4 Poszycie boczne prawe

h 1.5 Poszycie boczne lewe

h 1.6 Błotniki

h 2 Elementy wewnętrzne

h 2.1 Płyta podłogowa

h 2.2 Płyta obrotowa przegubu

h 2.3 Poszycie ścian bocznych

h 2.4 Poszycie dachowe wewnętrzne

h 2.5 Poszycie ścianki przegubu

4.3 ELEMENTY WYPOSAŻENIA

i 1 Elementy zewnętrzne

i 1.1 Lusterka zewnętrzne

i 1.2 Zderzaki

i 1.3 Wywietrzniki dachowe teleskopowe

i 1.4 Klosze lamp zewnętrznych, elementy odblaskowe

i 1.5 Fartuchy przeciwbłotne

i 1.6 Tablice kierunkowe

i 2 Elementy wewnętrzne

i 2.1 Fotel kierowcy

i 2.2 Fotele pasażerskie

i 2.3 Klosze lamp wewnętrznych

i 2.4 Instalacja ogrzewania i wentylacji nadwozia

i 2.5 Ściany przegubowe

i 2.6 Lusterka wewnętrzne

i 2.7 Poręcze, uchwyty rurowe, słupki, barierki

i 2.8 Platforma dla wózków inwalidzkich

i 2.9 Kabina kierowcy

4.4 OKNA I DRZWI

j 1 Drzwi pasażerskie

j 1.1 Drzwi przednie

j 1.2 Drzwi środkowe

j 1.3 Drzwi tylne lub tylne II członu

j 1.4 Drzwi środkowe II członu

j 2 Drzwi inne

j 2.1 Drzwi kabiny kierowcy

j 2.2 Pokrywa osprzętu elektrycznego

j 2.3 Pokrywa dolna

j 2.4 Pokrywa boczna średnia

j 2.5 Pokrywa boczna duża

j 2.6 Pokrywa ogrzewania

j 2.7 Pokrywa boczna silnika

j 2.8 Pokrywa akumulatorów

j 2.9 Pokrywa tylna

j 2.10 Pokrywa chłodnicy

j 3 Okna

j 3.1 Okno przednie

j 3.2 Okno tylne

j 3.3 Okna boczne stałe

j 3.4 Okna boczne przesuwne

j 3.5 Okno boczne kierowcy

j 3.6 Okna kabiny kierowcy

5 PODSYSTEMY DODATKOWE

5.1 Podsystem elektryczny

k 1 Układ rozruchowy i zasilania

k 1.1 Akumulator z osprzętem

k 1.2 Alternator z osprzętem

k 1.3 Rozrusznik z osprzętem

k 2 Układ oświetlenia

k 2.1 Obwód świateł drogowych i mijania

k 2.2 Obwód świateł pozycyjnych i postojowych

k 2.3 Obwód kierunkowskazów

k 2.4 Obwód świateł przeciwmgłowych i cofania

k 2.5 Obwód świateł stop

k 2.6 Obwód oświetlenia wnętrza

k 2.7 Obwód oświetlenia tablic kierunkowych

k 3 Układ sterowania i napędu

k 3.1 Sterowanie automatycznej skrzyni biegów

k 3.2 Sterowanie mechanizmem otwierania drzwi

k 3.3 Napęd wycieraczek

k 3.4 Napęd pompy spryskiwaczy

k 3.5 Napęd wentylatorów i nagrzewnic

k 4 Układ kontroli i sygnalizacji

k 4.1 Sygnalizacja dźwiękowa

k 4.2 Wskaźniki kontrolno - pomiarowe

k 4.3 Lampki kontrolne

k 5 Przewody elektryczne i bezpieczniki

k 5.1 Wiązki przewodów

k 5.2 Skrzynia bezpieczników

k 5.3 Złącza gniazd

5.2 Podsystem centralnego smarowania

l 1 Układ zasilania centralnego smarowania

l 1.1 Agregat pompujący

l 2 Układ sterowania i kontroli

l 2.1 Wyłącznik ciśnieniowy

l 2.2 Dozownik wstępny

l 2.3 Rozdzielacze zblokowane

l 2.4 Rozdzielacze progresywne

l 3 Układ przesyłu czynnika smarującego

l 3.1 Przewody, złącza

Bezpieczne sterowanie analizowanym obiektem badań odbywa się poprzez sterowanie podsystemem prowadzenia na, który składają się podsystem kierowniczy (rys. 6.2) i hamulcowy (rys. 6.3) [37, 63, 98, 133, 151].

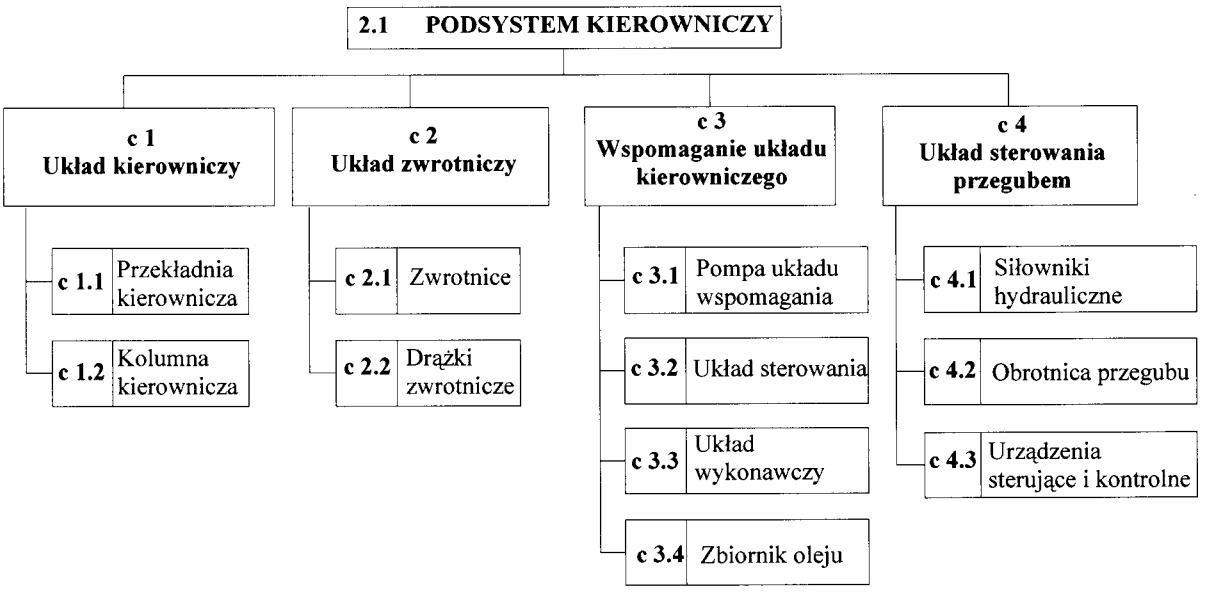
Za pomocą podsystemu kierowniczego możliwe jest utrzymywanie stałego kierunku jazdy pojazdu (autobusu) lub jego zmianę, zgodnie z zamiarem kierowcy.

Podsystem kierowniczy zbudowany jest z następujących mechanizmów [2, 79, 103]:

- Kierowniczego, za pomocą którego możliwe jest przeniesienie siły i ruchu koła kierowniczego do mechanizmu zwrotniczego, zapewniając odpowiednie sprzężenie ruchu obrotowego koła kierownicy i kąta skręcenia kół kierowanych.
- Zwrotniczego, którego zadaniem jest zapewnienie połączenia kinematycznego zespołu dźwigni i drążków, dzięki któremu koła pojazdu poruszającego się po torze krzywoliniowym toczą się bez poślizgu.
- Wspomagania układu kierowniczego, którego zadaniem jest zmniejszenie wysiłku kierowcy potrzebnego do sterowania kołami. Zasada działa działania tego mechanizmu polega na tym, że siła, jaką przykłada kierowca do koła

kierownicy, nie jest wykorzystywana do pokonania oporów skrętu kół, lecz służy do uruchomienia układu sterującego oddziałującego na drążek podłużny lub bezpośrednio na drążek poprzeczny układu zwrotniczego.

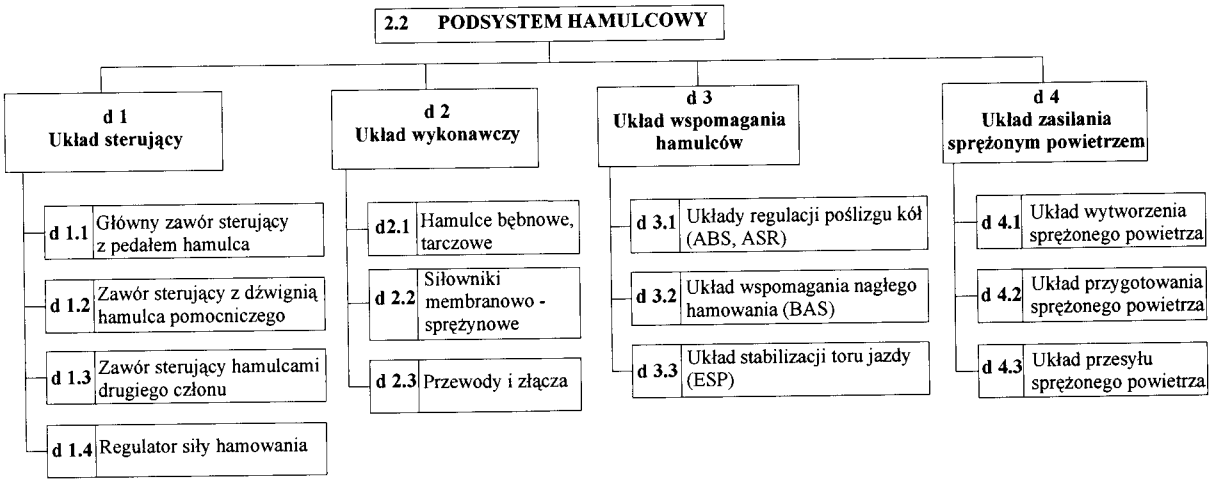
- Sterowania przegubem, występującego w autobusach wieloczłonowych, umożliwiającego zmniejszenie promienia skrętu autobusu.



Rys. 4.4 Schemat blokowy podsystemu kierowniczego (opracowanie własne).

Zadaniem podsystemu hamulcowego jest zmniejszanie prędkości jazdy oraz zatrzymywanie pojazdu (autobusu) [62]. W analizowanym obiekcie badań podsystem hamulcowy jest podsystemem pneumatycznym [9, 55, 148].

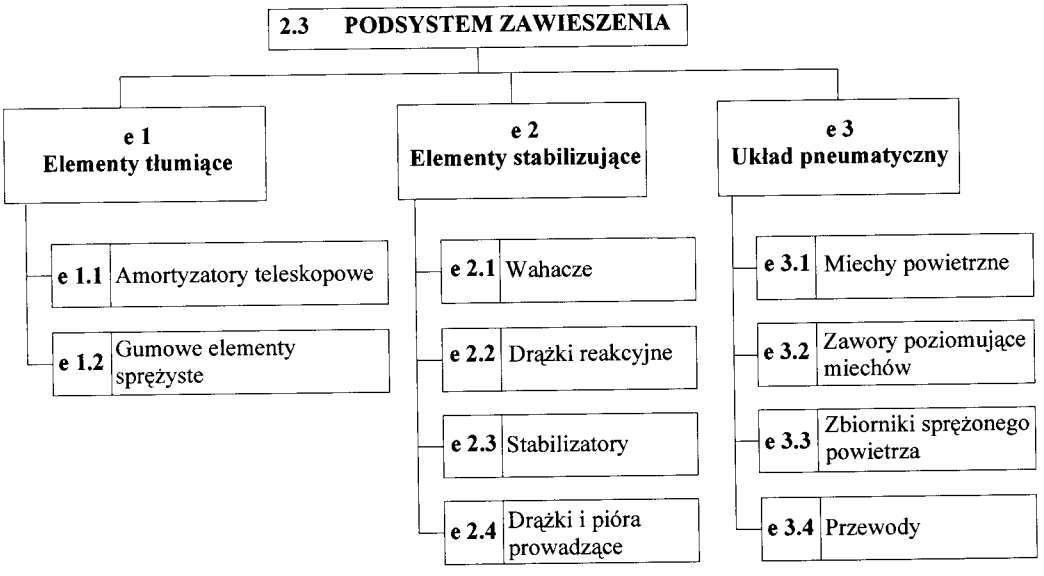
Proces hamowania następuje na skutek spadku ciśnienia w obwodzie uruchamiania hamulców. Spadek ciśnienia następuje gdy kierowca uruchamia układ sterujący (zawór pneumatyczny zmniejszający ciśnienie w układzie), co powoduje uruchomienie układu wykonawczego a tym samym zmniejszenie prędkości kół i hamowanie pojazdu. Do podtrzymania ciśnienia w układzie hamulcowym służy sprężarka (najczęściej napędzana silnikiem pojazdu). W celu zwiększenia skuteczności działania hamulców oraz zapobieganiu zjawiskom niepożądanym podczas hamowania (takim jak poślizg) stosuje się dodatkowe układy wspomagające podsystem hamulcowy.



Rys. 4.5 Schemat dekompozycji podsystemu hamulcowego (opracowanie własne).

Podsystem zawieszenia definiowany jest jako układ elementów sprężystych oraz wiążących je łączników, łączących konstrukcję nośną (ramę lub nadwozie samonośne) pojazdu z jego kołami [2, 103]. Zadaniem zawieszenia jest łagodzenie wstrząsów wywołanych nierównościami nawierzchni, po której porusza się pojazd, w celu zapewnienia komfortu jazdy przewożonym osobom oraz ochrony ładunków przed wstrząsami i szkodliwymi drganiami. W podsystemie zawieszenia wyróżnia się [2, 73, 79]:

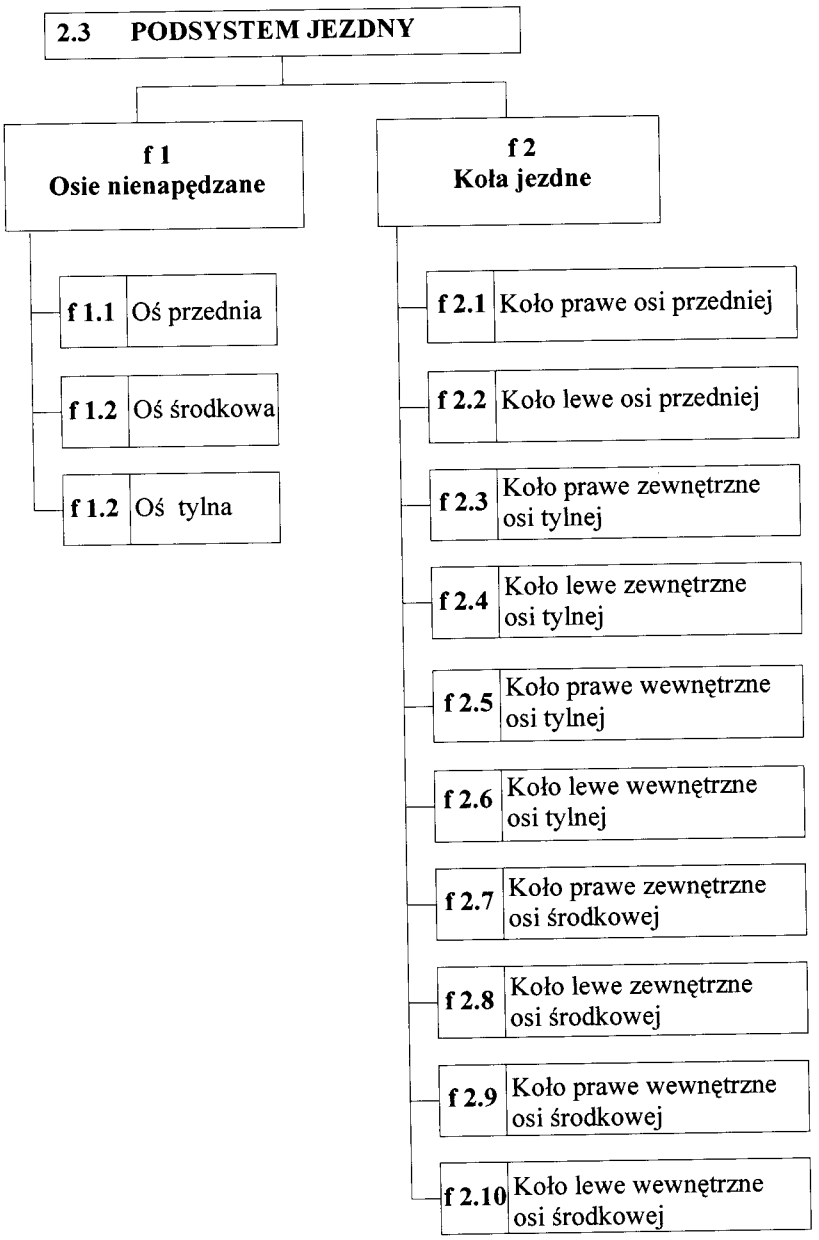
- elementy tłumiące – których zadaniem jest tłumienie drgań wynikających z nierówności nawierzchni drogi.
- elementy stabilizujące – których zadaniem jest zmniejszenie efektu nadmiernego przechylania się nadwozia pojazdu podczas jazdy po łuku.



Rys. 4.6 Schemat dekompozycji podsystemu zawieszenia (opracowanie własne).

Układ jezdny stanowią koła jezdne i osie nienapędzane pojazdu. Koła jezdne pojazdów są osadzone na piastach i przenoszą na elementy nośne pojazdu wszystkie reakcje drogi – pionowe, styczne i boczne. Zależnie od usytuowania i funkcji, jaką spełniają koła jezdne, dzieli się na napędzane, nienapędzane, kierowane i niekierowane oraz pojedyncze i bliźniacze.

Osie nienapędzane (*nośne*) pojazdu definiuje się jako zespół elementów nośnych, na których są osadzone koła. Oś przejmuje część ciężaru pojazdu i jest połączona z ramą lub samonośnym nadwoziem za pomocą elementów sprężystych zawieszenia.



Rys. 4.7 Schemat dekompozycji podsystemu jezdnego (opracowanie własne).

8.2 Program badań eksploatacyjnych.

Badania eksploatacje zostały przeprowadzone jako eksperyment bierny w rzeczywistym systemie transportowym – Zakładzie Komunikacji Autobusowej w dużej aglomeracji miejskiej.

Badaniami objęto ponad 200 autobusów eksploatowanych w analizowanym systemie. Stan taboru w dniu rozpoczęcia eksperymentu przedstawiono w tabeli 12. Analizowany przedział czasu, w którym realizowano eksperyment trwał sześć lat.

Tabela 12 Opis taboru autobusów w analizowanym systemie transportowym na dzień 31.12.2004.

Marka i typ autobusu	ROK PRODUKCJI															
	1985	1989	1990	1991	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	SUMA
IKARUS 260.04	1															1
IKARUS 280.26			14													14
IKARUS 280.33		17	7	1												25
IKARUS 280.70 B					20											20
IKARUS 280.70 E						12										12
JELCZ L090M										5		4				9
JELCZ M 121MB						1										1
JELCZ M 181MB							7									7
JELCZ 181M/1										8						8
MAN NG											5	3	2			10
MAN NL											7					7
VOLVO 700A												4				4
VOLVO B 10 BE										3	8					11
VOLVO B 10 BLE								31	4			6				41
VOLVO B 10 L									5	2						7
VOLVO B 10 LA								1	14							15
VOLVO B 10 MA								9	6							15
VOLVO 7000A												5				5
NEOPLAN N4020												1				1
SUMA	1	17	21	1	20	13	7	41	29	18	20	23	2	0	0	213

Program badań eksploatacyjnych obejmował następujące etapy realizacji eksperymentu:

- pozyskanie danych dotyczących przebiegów kilometrowych autobusów realizujących zadania przewozowe w analizowanym przedziale czasu
- ustalenie liczby uszkodzeń zdekomponowanych podsystemów autobusów
- pozyskanie danych dotyczących liczby kolizji i wypadków drogowych zaistniałych w analizowanym przedziale czasu z udziałem środków transportu badanego systemu eksploatacji.
- pozyskanie danych dotyczących liczby osób zabitych i rannych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych w analizowanym przedziale czasu z udziałem środków transportu badanego systemu eksploatacji

Dane pozyskane do oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego można sklasyfikować następująco;

- dane eksploatacyjne dotyczące autobusów,
- dane bezpieczeństwa ruchu drogowego.

8.3 Zasady pozyskiwania danych eksploatacyjnych.

Zbieranie informacji dotyczących autobusów (przebiegów kilometrowych oraz liczby uszkodzeń jego podsystemów) przeprowadzono w warunkach naturalnego ich użytkowania. Dane dotyczą wszystkich autobusów eksploatowanych w badanym systemie autobusowej komunikacji miejskiej, w analizowanym przedziale czasu. Nośnikami informacji, z których otrzymano dane do opracowania analizy są dokumenty ewidencyjno – rozliczeniowe oraz bazy danych stosowane w Zakładzie Komunikacji Autobusowej.

Podstawowe dokumenty ewidencyjno – rozliczeniowe poddane analizie to:

- karta drogowa,
- zlecenie naprawy,
- karta obsługi codziennej,
- karta postojów i przestojów,
- karta zjazdów awaryjnych.

Dane zawarte w kartach pojazdów oraz zleceniach napraw i obsług zapisywane są w formie kodów, co znacznie upraszcza przepływ informacji wewnątrz zakładu i jego poszczególnych działów. Przykład zestawienie danych z kart drogowych pojazdów w której znajdują się informacje zapisane w sposób uproszczonych (z wykorzystaniem kodu) przedstawiono w tabelach 13 i 14.

Tabela 13 Przykład karty zleceń naprawy pojazdów.

DATA	NR SILNIKA	NR GARAŻOWY AUTOBUSU	LICZBA ZJAZDÓW	SYMBOL_1	SYMBOL_2	SYMBOL_3	MECHANIK	ZMIANA	MIEJSCE NAPRAWY
99-01-02	960	2733	1	6,30			7	1	PT
99-01-03	882	2733	1	17,20	3,40		7	1	PT
99-01-05	882	2733	1	2,00			2	2	S2
99-01-05	882	2733	1	1,30	2,00		2	1	PT
99-01-05	897	2733	1	3,60			4	1	PT
99-01-11	897	2733	1	19,30			4	1	PT
99-01-14	957	2733	1	3,00			7	2	S2
99-01-14	957	2733	1	6,30			9	1	PT
99-01-15	897	2733	1	28,00			2	1	PT
99-01-15	897	2733	1	6,20	12,50		2	1	PT
99-01-18	1022	2733	1	3,00			2	1	PT
99-01-18	1022	2733	1	3,10			2	2	S2
99-01-19	897	2733	1	3,60			9	1	PT
99-01-20	882	2733	1	3,20	9,10	9,50	4	1	PT
99-01-20	897	2733	1	3,00			2	1	PT
99-01-21	882	2733	2	17,12	25,40		9	1	PT
99-01-08	885	2744	1	30,00			10	1	PT
99-01-08	922	2744	1	3,00			9	1	PT
99-01-13	1136	2744	2	14,20	17,12	17,20	10	1	PT
99-01-13	1056	2744	1	3,00	3,60		9	1	PT
99-01-19	1136	2744	1	3,00	3,50		2	1	PT
99-01-19	1136	2744	1	13,00			2	1	PT
99-01-19	1056	2744	1	3,00			9	1	PT
99-01-20	853	2744	1	13,00	17,20		2	1	PT
99-01-22	1022	2744	1	6,70			4	1	PT
99-01-26	897	2744	1	3,30	3,00		2	1	PT
99-01-26	882	2744	1	3,60	25,20		13	1	PT
99-01-27	1114	2744	1	7,00				1	S2
99-01-28	897	2744	1	25,40	12,40		2	1	PT

W tabeli przedstawiono informacje dotyczące przykładowych dwóch autobusów eksploatowanych w ZKA o numerach garażowych 2733 i 2744, dane dotyczą przedziału czasu od 01.01.1999 r. do 31.01.1999 r. Na podstawie tak przedstawionych danych możemy wnioskować: jaki silnik był zamontowany w pojeździe, jaka była liczba zjazdów danego pojazdu w poszczególnych dniach, jakie podsystemy zostały uszkodzone, jaka była liczba uszkodzeń, kto dokonywał naprawy oraz w której zajezdni była realizowana naprawa. Wpis w kolumnie SYMBOL 1, SYMBOL 2, SYMBOL 3, oznacza ze zaistniało uszkodzenie jakiegoś podsystemu pojazdu. Identyfikacja podsystemu, który został uszkodzony polega na zidentyfikowaniu zapisanego w danej kolumnie kodu, np.: wpisy z grupy 3 – tzn., (3,00; 3,10,... 3,60) – oznaczają, że uszkodzony został podsystem elektryczny. Jeżeli wpis występuje tylko w kolumnie SYMBOL_1, oznacza to, że w danym dniu wystąpiło tylko jedno uszkodzenie podsystemu opisanego kodem, jeżeli wpisy są w dwóch kolumnach SYMBOL_1 i SYMBOL_2 oznacz to, że wystąpiły dwa uszkodzenia podsystemów odpowiednio zakodowanych wpisem w poszczególnej kolumnie.

W tabeli 14 przedstawiono dane eksploatacyjne dotyczące przebiegów kilometrowych poszczególnych pojazdów oraz informacje o tym jaki kierowca realizował danym wozem zadanie przewozowe.

W tabeli tej są zawarte podstawowe dane dotyczące realizacji zadania transportowego, tzn. w jakim dniu na której zmianie pojazd realizował zadanie, nr linii na której zadanie było realizowane, jaki kierowca prowadził pojazd. W tabeli zawarta jest ,marka pojazdu, jego nr garażowy, linie na których realizował zadanie transportowe oraz stan licznika przed realizacją zadania na danej linii LICZBA POCZĄTKOWA 1 i po jego zakończeniu LICZ KOŃCOWA 1.

Tabela 14 Przykładowe zestawienie danych z kart drogowych pojazdów.

DATA	KOD MARKI	NR GARAŻOWY	KIEROWCA 1	KIEROWCA 2	ZMIANA 1	LINIA 1	LICZBA POCZĄTKOWA 1	LICZBA KOŃCOWA 1	ZMIANA 2	LINIA 2	LICZBA POCZĄTKOWA 2	LICZBA KOŃCOWA 2
1999.01.01	IK260	2733	897		1	70 /7	213	396	0		0	0
1999.01.02	IK260	2733	882	960	1	70 /1	396	557	2	70 /1	557	719
1999.01.03	IK260	2733	882	897	1	70 /3	719	801	2	70 /3	801	983
1999.01.04	IK260	2733	846	1346	1	70 /5	983	1165	2	70 /5	165	366
1999.01.05	IK260	2733	897	882	1	WAR/	366	367	1	70 /5	367	529
1999.01.06	IK260	2733	1264		1	WAR/	590	609	0	/	0	0
1999.01.11	IK260	2733	882	897	1	70 /5	609	791	2	70 /5	791	992
1999.01.13	IK260	2733	882	897	1	70 /7	992	1174	2	70 /7	174	356
1999.01.14	IK260	2733	1154	957	1	70 /3	356	519	2	70 /3	519	549
1999.01.15	IK260	2733	897	882	1	70 /1	549	710	2	70 /1	710	891
1999.01.16	IK260	2733	897	882	1	WAR/	891	892	1	70 /3	892	1053
1999.01.17	IK260	2733	897	882	1	WAR/	234	235	1	70 /5	235	376
1999.01.18	IK260	2733	1114	1022	1	74 /5	557	710	2	74 /5	710	767
1999.01.19	IK260	2733	897	1110	1	70 /7	767	949	2	70 /7	949	1130
1999.01.20	IK260	2733	882	897	1	70 /7	130	311	1	70 /7	311	492
1999.01.21	IK260	2733	882	897	1	WAR/	492	494	1	70 /1	494	695
1999.01.31	IK260	3769	956	1209	1	62 /4	590	665	2	62 /4	665	693

8.3.1 Zasady pozyskiwania danych dotyczących bezpieczeństwa działania środków transportu.

Dane dotyczące bezpieczeństwa działania środków transportu, to przede wszystkim dane dotyczące liczby niepożądanych zdarzeń drogowych (wypadków i kolizji drogowych), oraz skutków tych zdarzeń, wynikających z uszkodzeń środków transportu.

Nośnikami informacji tego typu danych w analizowanym systemie są karty ewidencyjne o zdarzeniach drogowych, sporządzone na podstawie kart policyjnych. W kartach tych zawarte są podstawowe informacje dotyczących liczby zdarzeń i liczby osób poszkodowanych.

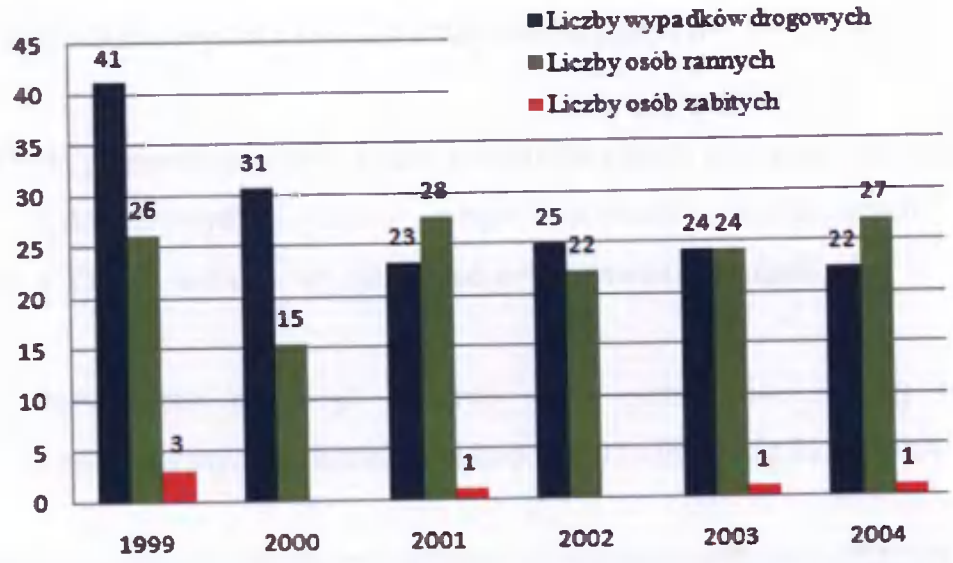
Szczegółowe zestawienie danych dotyczących liczby zdarzeń drogowych i ich skutków, przedstawiono w tabeli 15, w której zawarto liczby kolizji i wypadków drogowych oraz liczbę osób zabitych i rannych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych, w analizowanym przedziale czasu według miesięcy.

Tabela 15 Liczby kolizji i wypadków drogowych zaistniałych na skutek niezdatności środka transportu oraz liczby osób zabitych i rannych w wyniku tych wypadków.

		Liczba kolizji drogowych	Liczba wypadków drogowych	Liczba osób rannych	Liczba osób zabitych
1999	I	10	4	2	0
	II	7	4	2	1
	III	7	3	2	0
	IV	6	3	1	0
	V	7	1	3	0
	VI	6	5	3	0
	VII	6	3	4	0
	VIII	6	3	1	2
	IX	7	4	2	0
	X	7	5	3	0
	XI	7	3	2	0
	XII	9	3	3	0
2000	I	10	3	2	0
	II	7	1	1	0
	III	6	4	1	0
	IV	6	1	2	0
	V	7	0	0	0
	VI	6	6	2	0
	VII	6	4	2	0
	VIII	6	3	3	0
	IX	5	2	2	0
	X	7	4	1	0
	XI	7	4	1	0
	XII	8	0	0	0
2001	I	7	2	2	1
	II	6	2	2	0
	III	7	1	2	0
	IV	5	2	2	0
	V	8	2	3	0
	VI	6	2	2	0
	VII	7	2	4	0
	VIII	9	2	3	0
	IX	7	2	2	0
	X	7	2	2	0
	XI	9	2	2	0
	XII	7	2	3	0

Tabela 15 – cd.

		Liczba kolizji drogowych	Liczba wypadków drogowych	Liczba osób rannych	Liczba osób zabitych
2002	I	15	2	2	0
	II	8	1	1	0
	III	7	1	1	0
	IV	6	2	1	0
	V	8	1	3	0
	VI	5	4	1	0
	VII	6	1	2	0
	VIII	5	2	2	0
	IX	9	3	2	0
	X	6	3	2	0
	XI	7	1	3	0
	XII	11	2	3	0
2003	I	7	1	2	0
	II	7	2	2	0
	III	5	3	1	0
	IV	6	3	1	0
	V	7	1	1	0
	VI	6	3	2	0
	VII	6	1	4	1
	VIII	4	1	3	0
	IX	5	4	2	0
	X	8	2	2	0
	XI	7	1	2	0
	XII	9	1	3	0
2004	I	13	2	2	0
	II	5	1	2	0
	III	7	2	2	0
	IV	6	2	2	0
	V	6	1	2	0
	VI	7	4	4	1
	VII	5	2	2	0
	VIII	7	1	3	0
	IX	8	3	2	0
	X	8	2	2	0
	XI	7	1	2	0
	XII	10	2	2	0



Rysunek 8.1 Liczby wypadków drogowych zaistniałych na skutek niezdatności środka transportu oraz liczby osób zabitych i rannych w tych wypadkach w analizowanym przedziale czasu.

Jak wynika z przedstawionego rysunku w dwóch pierwszych latach prowadzenia badań liczba osób rannych na skutek zaistniałych wypadków była mniejsza od liczby wypadków. Sytuacja odwrotna ma miejsce od roku 2001, ponadto zauważyć można, że na przestrzeni lat pomimo dwukrotnego spadku liczby wypadków drogowych w roku 2004 w porównaniu do roku 1999 liczba osób rannych w wyniku tych wypadków utrzymała się prawie na tym samym poziomie.

Oceniając tą sytuację za pomocą wskaźnika liczby osób rannych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych daje to dwu krotny wzrost tego wskaźnika w roku 2004 i wynosi on 1,22 w porównaniu z rokiem 1999 w którym wartość wskaźnika wynosiła 0,63

8.4 Wybrane wyniki badań eksploatacyjnych

Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych uzyskano dane dotyczące przebiegów kilometrowych badanej grupy autobusów realizujących zadania przewozowe w ZKA – wybrane wyniki badań przedstawiono w tabeli 16.

Tabela 16 Sumaryczne przebiegi badanej grupy autobusów według miesięcy w analizowanym przedziale czasu od 01.01.1999 r. do 31.12.2004 r.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
	Przebiegi [km]					
I	1.218.362	1.256.568	1.256.568	1.248.679	1.245.592	1.219.799
II	1.107.621	1.225.941	1.183.070	1.230.178	1.122.958	1.120.784
III	1.241.775	1.321.341	1.302.778	1.232.228	1.214.765	1.223.440
IV	1.219.860	1.207.082	1.215.114	1.200.374	1.201.250	1.174.069
V	1.225.340	1.291.626	1.243.953	1.206.401	1.209.488	1.191.277
VI	1.254.889	1.190.905	1.213.769	1.187.657	1.121.839	1.176.374
VII	1.264.236	1.248.910	1.247.688	1.177.838	1.189.464	1.108.037
VIII	1.249.574	1.243.991	1.277.967	1.277.967	1.106.750	1.183.984
IX	1.240.779	1.203.851	1.223.572	1.224.310	1.186.822	1.180.703
X	1.227.476	1.303.497	1.327.026	1.279.969	1.236.587	1.220.369
XI	1.203.918	1.199.975	1.261.634	1.184.828	1.159.717	1.193.721
XII	1.263.775	1.244.880	1.191.366	1.197.542	1.179.448	1.233.720

Kolejnym etapem prowadzonych badań eksploatacyjnych było pozyskanie danych dotyczących liczby uszkodzeń podsystemów autobusów – dane przedstawiono chronologicznie wg lat w tabelach 17 ÷ 22. W tabelach tych przedstawiono wybrane dane dotyczące liczby uszkodzeń podsystemów istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa działania analizowanego obiektu badań.

Tabela 17 Liczby uszkodzeń podsystemów istotnych analizowanego obiektu badań w przedziale czasu od 01.01.1999 r. do 31.12. 1999 r.

Data uszkodzenia / Nazwa uszkodzonego podsystemu	01.1999	02.1999	03.1999	04.1999	05.1999	06.1999	07.1999	08.1999	09.1999	10.1999	11.1999	12.1999
Układ smarowania	3	0	5	0	1	1	1	1	5	0	0	0
Układ zasilania	10	8	15	12	9	11	10	20	18	8	11	13
Układ chłodzenia	18	24	34	15	29	31	42	15	15	19	33	15
Układ tłokowo - korbowy	0	1	3	6	2	1	0	1	1	3	1	2
Układ rorządu	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
Układ wydechowy	1	0	1	2	4	1	1	4	10	2	1	1
Korpus i głowica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Silnik z osprzętem	**32**	**33**	**58**	**36**	**46**	**45**	**54**	**41**	**51**	**32**	**46**	**31**
Sprzęgło	66	47	101	55	84	55	58	45	58	40	24	49
Skrzynia biegów	11	9	16	17	8	10	8	9	19	9	8	16
Most napędowy	0	1	1	0	0	2	2	0	1	1	2	2
Wał napędowy	7	0	0	0	0	9	3	1	2	3	5	2
Podsystem przeniesienia napędu	**84**	**57**	**118**	**72**	**92**	**76**	**71**	**55**	**80**	**53**	**39**	**69**
Układ kierowniczy	10	13	19	14	16	12	11	16	11	10	5	7
Układ zwrotniczy	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
Układ wspomagania	16	14	14	9	11	12	7	19	16	10	6	21
Podsystem kierowniczy	**26**	**27**	**33**	**24**	**28**	**25**	**18**	**36**	**27**	**20**	**11**	**28**
Układ zasilania spr. Pow	262	332	323	219	228	208	198	208	226	155	181	215
Układ sterujący	76	104	124	102	99	99	86	75	98	69	69	59
Układ wykonawczy	45	57	71	63	68	64	58	58	58	50	47	49
U wspomagania hamulców	6	10	18	9	12	16	8	6	4	8	4	10
Podsystem hamulcowy	**389**	**503**	**536**	**393**	**407**	**387**	**350**	**347**	**386**	**282**	**301**	**333**
Elementy pneumatyczne	46	53	100	42	43	52	36	29	42	50	22	41
Elementy tłumiące	2	1	2	3	0	0	1	1	3	1	0	0
Elementy stabilizujące	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
Podsystem zawieszenia	**49**	**55**	**102**	**45**	**43**	**54**	**38**	**30**	**45**	**51**	**22**	**41**
Koła jezdne	46	26	39	37	35	36	35	47	63	32	57	40
Osie nienapędzane	7	15	14	7	9	6	5	8	26	8	2	4
Podsystem jezdny	**53**	**41**	**53**	**44**	**44**	**42**	**40**	**55**	**89**	**40**	**59**	**44**
Elementy nośne	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elementy poszycia	7	12	8	8	9	10	8	8	12	3	8	6
Elementy wyposażenia	4	8	2	5	5	5	3	5	1	3	0	1
Okna i drzwi	69	73	108	64	59	61	48	58	75	47	68	58
Nadwozie	**80**	**93**	**119**	**77**	**73**	**76**	**59**	**71**	**88**	**53**	**76**	**65**
Układ rozruchowy i zasilania	174	229	146	137	142	110	134	164	103	144	124	737
Układ oświetlenia	57	44	47	21	8	15	11	7	18	37	29	32
Układ sterowania i napędu	231	273	193	158	150	125	145	171	121	181	153	769
Układ kontroli i sygnalizacji	13	12	19	8	14	13	12	11	12	11	12	12
Przewody elektryczne i bezpieczniki	184	191	148	146	133	152	137	134	143	156	161	243
Podsystem elektryczny	**659**	**749**	**553**	**470**	**447**	**415**	**439**	**487**	**397**	**529**	**479**	**1793**

Tabela 18 Liczby uszkodzeń podsystemów istotnych analizowanego obiektu badań w przedziale czasu od 01.01.2000 r. do 31.12.2002 r.

Data uszkodzenia / Nazwa uszkodzonego podsystemu	01.2000	02.2000	03.2000	04.2000	05.2000	06.2000	07.2000	08.2000	09.2000	10.2000	11.2000	12.2000
Układ smarowania	7	8	12	8	6	5	8	12	11	7	3	3
Układ zasilania	64	39	66	70	73	61	66	55	78	53	38	42
Układ chłodzenia	82	66	73	119	142	91	44	76	73	67	68	35
Układ tłokowo - korbowy	15	23	18	13	32	22	15	24	11	10	3	0
Układ rorządu	4	0	3	2	2	2	1	0	3	3	0	0
Układ wydechowy	11	11	7	7	7	10	7	12	5	4	2	6
Korpus i głowica	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0
Silnik z osprzętem	**183**	**147**	**180**	**219**	**262**	**191**	**141**	**180**	**181**	**146**	**114**	**86**
Sprzęgło	92	128	165	209	204	155	127	150	154	134	110	83
Skrzynia biegów	26	37	37	27	45	42	28	54	33	24	47	35
Most napędowy	3	1	6	4	1	0	3	8	1	2	1	4
Wał napędowy	8	6	12	11	16	9	14	9	1	1	3	3
Podsystem przeniesienia napędu	**129**	**172**	**220**	**251**	**266**	**206**	**172**	**221**	**189**	**161**	**161**	**125**
Układ kierowniczy	13	18	20	14	24	18	26	19	17	21	7	11
Układ zwrotniczy	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
Układ wspomagania	10	23	24	20	27	19	14	28	15	4	8	5
Podsystem kierowniczy	**23**	**41**	**44**	**34**	**53**	**38**	**40**	**47**	**32**	**25**	**15**	**16**
Układ zasilania spr. Pow	312	296	276	289	266	284	280	299	237	150	33	27
Układ sterujący	68	95	91	93	79	72	95	84	105	101	5	61
Układ wykonawczy	53	50	47	67	97	90	63	75	82	76	152	46
U wspomagania hamulców	9	10	7	2	9	11	6	12	10	13	4	5
Podsystem hamulcowy	**442**	**451**	**421**	**451**	**451**	**457**	**444**	**470**	**434**	**340**	**194**	**139**
Elementy pneumatyczne	92	79	76	39	50	42	35	34	47	50	37	34
Elementy tłumiące	0	1	1	2	3	0	1	1	0	1	0	5
Elementy stabilizujące	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Podsystem zawieszenia	**92**	**80**	**77**	**44**	**54**	**42**	**36**	**35**	**47**	**51**	**37**	**39**
Koła jezdne	55	72	75	100	83	64	92	76	40	69	52	73
Osie nienapędzane	15	8	8	8	11	7	10	3	3	6	7	10
Podsystem jezdny	**70**	**80**	**83**	**108**	**94**	**71**	**102**	**79**	**43**	**75**	**59**	**83**
Elementy nośne	1	2	0	3	1	0	1	1	0	5	0	0
Elementy poszycia	34	34	33	47	49	50	42	36	60	53	39	3
Elementy wyposażenia	13	22	21	22	13	23	35	24	17	32	20	26
Okna i drzwi	338	330	379	328	368	321	304	334	349	355	321	331
Nadwozie	**386**	**388**	**433**	**400**	**431**	**394**	**382**	**395**	**426**	**445**	**380**	**360**
Układ rozruchowy i zasilania	740	833	750	812	738	721	753	792	832	721	717	784
Układ oświetlenia	151	177	133	90	65	67	92	84	95	161	206	176
Układ sterowania i napędu	891	1010	883	902	803	788	845	876	927	882	923	960
Układ kontroli i sygnalizacji	19	10	13	9	11	7	12	11	10	13	8	14
Przewody elektryczne i bezpieczniki	290	330	298	224	236	231	254	240	226	259	267	289
Podsystem elektryczny	**2091**	**2360**	**2077**	**2037**	**1853**	**1814**	**1956**	**2003**	**2090**	**2036**	**2121**	**2223**

Tabela 19 Liczby uszkodzeń podsystemów istotnych analizowanego obiektu badań w przedziale czasu od 01.11.2001 r. do 31.08.2001 r.

Data uszkodzenia / Nazwa uszkodzonego podsystemu	01.2001	02.2001	03.2001	04.2001	05.2001	06.2001	07.2001	08.2001	09.2001	10.2001	11.2001	12.2001
Układ smarowania	2	4	5	4	13	8	2	3	0	5	3	4
Układ zasilania	43	49	69	92	63	65	47	53	58	63	44	67
Układ chłodzenia	61	75	53	49	60	46	96	79	47	51	52	47
Układ tłokowo - korbowy	7	14	29	43	18	15	0	7	12	91	50	43
Układ rorządu	2	0	1	0	2	0	2	1	0	1	3	5
Układ wydechowy	11	3	13	8	7	6	4	4	3	5	3	6
Korpus i głowica	0	1	1	1	0	4	0	0	0	0	3	0
Silnik z osprzętem	**126**	**146**	**171**	**197**	**163**	**144**	**151**	**147**	**120**	**216**	**158**	**172**
Sprzęgło	99	52	133	82	101	99	89	62	94	50	69	57
Skrzynia biegów	29	0	41	18	19	34	28	7	38	8	25	42
Most napędowy	3	0	1	3	3	1	5	3	4	0	2	4
Wał napędowy	5	0	8	4	6	3	2	5	2	2	3	3
Podsystem przeniesienia napędu	**136**	**52**	**183**	**107**	**129**	**137**	**124**	**77**	**138**	**60**	**99**	**106**
Układ kierowniczy	5	14	12	19	15	6	9	10	11	11	7	15
Układ zwrotniczy	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Układ wspomagania	10	9	7	19	12	10	14	5	16	12	18	10
Podsystem kierowniczy	**16**	**24**	**20**	**38**	**28**	**17**	**23**	**15**	**27**	**23**	**25**	**25**
Układ zasilania spr. Pow	265	310	283	215	253	227	225	245	214	169	164	389
Układ sterujący	67	76	93	100	114	100	108	94	67	62	49	69
Układ wykonawczy	78	55	64	44	64	85	56	65	62	62	61	61
U wspomagania hamulców	6	7	2	7	7	6	10	5	4	2	5	8
Podsystem hamulcowy	**416**	**448**	**442**	**366**	**438**	**418**	**399**	**409**	**347**	**295**	**279**	**527**
Elementy pneumatyczne	68	43	68	53	53	47	44	47	62	51	36	78
Elementy tłumiące	0	0	2	0	0	2	2	2	1	0	0	0
Elementy stabilizujące	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
Podsystem zawieszenia	**68**	**43**	**70**	**53**	**53**	**50**	**46**	**49**	**64**	**51**	**37**	**78**
Koła jezdne	85	95	93	76	49	50	67	60	74	67	62	56
Osie nienapędzane	8	18	14	12	12	10	11	2	3	6	11	3
Podsystem jezdny	**93**	**113**	**107**	**88**	**61**	**60**	**78**	**62**	**77**	**73**	**73**	**59**
Elementy nośne	0	0	1	1	3	3	3	3	0	1	0	0
Elementy poszycia	42	40	51	48	63	69	72	48	59	67	59	61
Elementy wyposażenia	31	17	23	20	30	38	37	20	20	28	37	29
Okna i drzwi	340	301	370	368	390	348	337	346	317	388	355	287
Nadwozie	**413**	**358**	**445**	**437**	**486**	**458**	**449**	**417**	**396**	**484**	**451**	**377**
Układ rozruchowy i zasilania	676	838	825	906	844	823	783	733	900	843	693	645
Układ oświetlenia	182	124	168	114	110	81	100	84	122	172	206	164
Układ sterowania i napędu	858	802	993	1020	954	904	883	817	1022	1015	899	164
Układ kontroli i sygnalizacji	6	14	11	8	9	8	10	5	19	18	9	13
Przewody elektryczne i bezpieczniki	344	233	297	279	236	205	206	263	257	276	266	330
Podsystem elektryczny	**2066**	**2011**	**2294**	**2327**	**2153**	**2021**	**1982**	**1902**	**2320**	**2324**	**2073**	**1316**

Tabela 20 Liczby uszkodzeń podsystemów analizowanego obiektu badań w przedziale czasu od 01.01.2002 r. do 31.12.2002 r.

Data uszkodzenia / Nazwa uszkodzonego podsystemu	01.2002	02.2002	03.2002	04.2002	05.2002	06.2002	07.2002	08.2002	09.2002	10.2002	11.2002	12.2002
Układ smarowania	3	4	8	4	2	1	4	8	7	3	3	5
Układ zasilania	60	35	62	66	69	57	62	51	74	49	34	38
Układ chłodzenia	78	62	69	115	138	87	40	72	69	63	64	31
Układ tłokowo - korbowy	11	19	14	9	28	18	11	20	7	6	1	23
Układ rorządu	0	0	1	2	2	2	0	0	1	1	0	0
Układ wydechowy	7	7	3	3	3	6	3	8	1	0	2	2
Korpus i głowica	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0
Silnik z osprzętem	**159**	**127**	**158**	**199**	**242**	**171**	**120**	**160**	**159**	**124**	**104**	**99**
Sprzęgło	91	118	156	107	204	156	117	116	145	143	101	87
Skrzynia biegów	26	37	37	27	45	42	28	54	33	24	47	35
Most napędowy	3	1	6	4	1		3	7	1	3	1	3
Wał napędowy	8	6	12	11	15	8	14	8	1	1	2	2
Podsystem przeniesienia napędu	**128**	**162**	**211**	**149**	**265**	**206**	**162**	**185**	**180**	**171**	**151**	**127**
Układ kierowniczy	17	3	21	7	21	20	12	20	14	15	18	16
Układ zwrotniczy	0	0	2	0	0	2	1	1	0	0	2	2
Układ wspomagania	11	1	18	12	12	18	6	19	18	12	14	12
Podsystem kierowniczy	**28**	**4**	**41**	**19**	**33**	**40**	**19**	**40**	**32**	**27**	**34**	**30**
Układ zasilania spr. Pow	336	173	180	189	90	234	279	258	197	146	217	230
Układ sterujący	58	79	68	64	71	99	83	85	78	79	74	76
Układ wykonawczy	62	50	57	52	59	87	66	66	52	66	55	47
U wspomagania hamulców	6	5	4	10	3	4	6	8	0	12	7	7
Podsystem hamulcowy	**462**	**307**	**309**	**315**	**223**	**424**	**434**	**409**	**327**	**303**	**353**	**359**
Elementy pneumatyczne	82	58	55	35	47	46	44	39	44	43	44	59
Elementy tłumiące	0	0	1	0	1	3	2	1	2	2	5	5
Elementy stabilizujące	0	0	1	0	0	1	2	0	1	0	1	0
Podsystem zawieszenia	**82**	**58**	**57**	**35**	**48**	**50**	**48**	**38**	**47**	**45**	**50**	**64**
Koła jezdne	61	78	66	67	58	37	67	62	58	66	17	53
Osie nienapędzane	11	0	10	2	0	3	9	5	3	6	6	8
Podsystem jezdny	**72**	**78**	**76**	**69**	**58**	**40**	**76**	**68**	**61**	**72**	**23**	**61**
Elementy nośne	1	2	0	3	1	0	1	1	0	5	0	0
Elementy poszycia	28	32	32	44	47	48	42	34	61	52	35	3
Elementy wyposażenia	14	20	21	32	15	21	33	26	17	33	21	22
Okna i drzwi	332	330	379	328	368	322	302	322	345	356	312	313
Nadwozie	**375**	**384**	**432**	**407**	**431**	**391**	**378**	**383**	**423**	**446**	**368**	**338**
Układ rozruchowy i zasilania	723	823	743	812	745	710	742	781	821	710	706	773
Układ oświetlenia	153	167	143	92	66	56	81	73	84	150	195	165
Układ sterowania i napędu	825	1024	882	867	802	777	834	865	916	871	912	949
Układ kontroli i sygnalizacji	17	11	14	10	11	4	11	10	13	2	12	3
Przewody elektryczne i bezpieczniki	278	332	298	222	221	220	243	229	215	248	256	278
Podsystem elektryczny	**1996**	**2357**	**2080**	**2003**	**1845**	**1767**	**1911**	**1958**	**2049**	**1981**	**2081**	**2168**

Tabela 21 Liczby uszkodzeń podsystemów analizowanego obiektu badań w przedziale czasu od 01.11.2003 r. do 31.08.2003 r.

Data uszkodzenia / Nazwa uszkodzonego podsystemu	01.2003	02.2003	03.2003	04.2003	05.2003	06.2003	07.2003	08.2003	09.2003	10.2003	11.2003	12.2003
Układ smarowania	2	0	4	6	9	4	2	4	3	9	8	4
Układ zasilania	39	45	65	88	59	61	43	49	54	59	40	63
Układ chłodzenia	57	71	49	45	56	42	92	75	43	47	48	43
Układ tłokowo - korbowy	3	10	25	39	14	11	0	3	8	87	46	39
Układ rorządu	2	0	3	0	2	0	2	0	0	0	1	1
Układ wydechowy	7	1	9	4	3	2	0	0	1	1	1	2
Korpus i głowica	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
Silnik z osprzętem	**110**	**128**	**155**	**182**	**143**	**120**	**139**	**131**	**109**	**203**	**145**	**156**
Sprzęgło	101	57	134	84	101	99	89	62	94	50	69	57
Skrzynia biegów	29	0	41	18	19	34	28	7	38	8	25	42
Most napędowy	2	0	1	3	3	1	5	3	4	0	2	4
Wał napędowy	4	0	8	4	6	3	2	5	2	2	3	3
Podsystem przeniesienia napędu	**136**	**57**	**184**	**109**	**129**	**137**	**124**	**77**	**138**	**60**	**99**	**106**
Układ kierowniczy	13	14	18	12	12	12	10	17	12	12	12	14
Układ zwrotniczy	0	1	1	0	1	2	1	1	0	0	2	2
Układ wspomagania	10	6	11	14	7	10	10	12	15	11	14	10
Podsystem kierowniczy	**23**	**21**	**31**	**26**	**19**	**24**	**21**	**31**	**28**	**23**	**28**	**26**
Układ zasilania spr. Pow	340	277	210	184	171	208	230	232	192	146	176	280
Układ sterujący	67	70	72	74	60	90	86	81	66	63	55	65
Układ wykonawczy	54	47	54	44	39	77	55	59	52	58	53	49
U wspomagania hamulców	11	5	3	8	6	5	7	6	4	6	5	7
Podsystem hamulcowy	**472**	**399**	**339**	**310**	**276**	**379**	**378**	**378**	**313**	**274**	**289**	**401**
Elementy pneumatyczne	92	47	55	41	34	42	40	38	50	43	32	63
Elementy tłumiące	0	0	1	0	1	2	2	2	1	2	0	5
Elementy stabilizujące	0	0	1	0	0	1	2	0	1	0	1	0
Podsystem zawieszenia	**92**	**47**	**58**	**41**	**35**	**45**	**44**	**40**	**52**	**45**	**33**	**67**
Koła jezdne	55	78	72	64	35	42	61	57	59	60	56	49
Osie nienapędzane	15	16	11	8	11	9	9	3	3	5	10	6
Podsystem jezdny	**70**	**95**	**82**	**72**	**45**	**50**	**71**	**61**	**62**	**65**	**66**	**55**
Elementy nośne	0	0	1	1	3	3	3	3	0	1	0	0
Elementy poszycia	42	41	50	44	61	66	71	43	58	63	55	59
Elementy wyposażenia	25	19	19	21	31	35	32	21	25	26	29	26
Okna i drzwi	304	310	307	386	309	318	321	323	313	318	350	283
Nadwozie	**371**	**370**	**377**	**452**	**404**	**422**	**427**	**390**	**396**	**408**	**434**	**368**
Układ rozruchowy i zasilania	665	827	814	895	833	812	772	722	889	832	682	712
Układ oświetlenia	171	113	157	103	99	70	89	73	111	161	195	153
Układ sterowania i napędu	847	791	982	1009	943	893	872	806	1011	1004	888	1035
Układ kontroli i sygnalizacji	8	3	12	13	12	13	11	16	18	17	12	12
Przewody elektryczne i bezpieczniki	333	222	286	268	225	194	195	252	246	265	255	319
Podsystem elektryczny	**2024**	**1956**	**2251**	**2288**	**2112**	**1982**	**1939**	**1869**	**2275**	**2279**	**2032**	**2231**

Tabela 22 Liczby uszkodzeń podsystemów analizowanego obiektu badań w przedziale czasu od 01.11.2004 r. do 31.08.2004 r.

Data uszkodzenia / Nazwa uszkodzonego podsystemu	01.2004	02.2004	03.2004	04.2004	05.2004	06.2004	07.2004	08.2004	09.2004	10.2004	11.2004	12.2004
Układ smarowania	4	5	8	5	7	5	5	8	6	5	3	4
Układ zasilania	56	41	66	76	68	61	58	53	70	55	39	49
Układ chłodzenia	74	68	65	94	113	75	60	76	63	60	61	38
Układ tłokowo - korbowy	11	19	20	22	26	18	13	17	10	36	18	33
Układ rorządu	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3	5
Układ wydechowy	10	7	8	1	1	7	5	8	3	5	2	5
Korpus i głowica	0	1	0	2	0	4	0	1	0	2	3	0
Silnik z osprzętem	**157**	**141**	**167**	**200**	**216**	**172**	**141**	**163**	**152**	**163**	**129**	**133**
Sprzęgło	199	150	122	145	149	129	105	78	94	47	128	77
Skrzynia biegów	40	37	23	49	28	19	42	30	24	0	36	13
Most napędowy	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	2
Wał napędowy	11	4	9	4	0	0	0	0	0	0	3	0
Podsystem przeniesienia napędu	**250**	**191**	**154**	**201**	**177**	**148**	**147**	**108**	**118**	**47**	**168**	**88**
Układ kierowniczy	14	15	17	16	13	14	18	12	12	12	10	17
Układ zwrotniczy	0	0	2	2	0	1	1	0	1	2	1	1
Układ wspomagania	18	12	13	12	10	6	11	14	7	10	10	12
Podsystem kierowniczy	**32**	**27**	**32**	**30**	**23**	**21**	**31**	**26**	**19**	**24**	**21**	**31**
Układ zasilania spr. Pow	197	146	217	230	340	277	210	184	171	208	230	232
Układ sterujący	78	79	74	76	67	70	72	74	60	90	86	81
Układ wykonawczy	52	66	55	47	54	47	54	44	39	77	55	59
U wspomagania hamulców	0	12	7	7	11	5	3	8	6	5	7	6
Podsystem hamulcowy	**327**	**303**	**353**	**359**	**472**	**399**	**339**	**310**	**276**	**379**	**378**	**378**
Elementy pneumatyczne	44	43	51	59	92	47	55	41	34	42	40	38
Elementy tłumiące	2	2	5	5	0	0	1	0	1	2	2	2
Elementy stabilizujące	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	2	0
Podsystem zawieszenia	**47**	**45**	**57**	**64**	**92**	**47**	**58**	**41**	**35**	**45**	**44**	**40**
Koła jezdne	58	66	17	53	55	78	72	64	35	42	61	57
Osie nienapędzane	3	6	6	8	15	16	11	8	11	9	9	3
Podsystem jezdny	**61**	**72**	**23**	**61**	**70**	**95**	**82**	**72**	**45**	**50**	**71**	**60**
Elementy nośne	1	2	1	2	2	3	2	2	0	3	0	0
Elementy poszycia	34	34	39	43	51	54	53	37	55	55	44	29
Elementy wyposażenia	19	18	20	22	21	27	32	21	18	28	25	24
Okna i drzwi	306	296	334	328	334	304	294	308	308	329	311	282
Nadwozie	**360**	**350**	**393**	**394**	**407**	**389**	**381**	**369**	**382**	**415**	**380**	**335**
Układ rozruchowy i zasilania	605	730	699	766	710	688	674	656	766	700	610	419
Układ oświetlenia	148	119	137	91	81	61	79	67	93	142	175	141
Układ sterowania i napędu	742	768	838	849	792	755	759	730	865	848	792	371
Układ kontroli i sygnalizacji	9	8	11	9	9	7	9	9	15	11	10	8
Przewody elektryczne i bezpieczniki	280	231	258	226	200	182	189	218	211	231	228	272
Podsystem elektryczny	**1785**	**1855**	**1943**	**1941**	**1792**	**1693**	**1711**	**1681**	**1949**	**1931**	**1815**	**1212**

8.5 Badanie modelu.

W procesie budowy modelu wynikowego oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego ze zbioru pełnego wskaźników wyznaczono zbiór wskaźników reprezentatywnych stanowiący zbiór kryteriów opisujących bezpieczeństwo działania systemu w danej chwili t; $t \square (t_0; t_k)$.

Na podstawie uzyskanych wyników badań eksploatacyjnych i bezpieczeństwa ruchu drogowego wyznaczono wartości wskaźników reprezentatywnych, przedział ich zmienności oraz wartości graniczne tych wskaźników, wyniki uzyskanych wartości wskaźników przedstawiono w tabeli 23.

Tabela 23 Wartości wskaźników reprezentatywnych modelu oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego.

		$W_{1\text{-}8.1}$	$W_{1\text{-}8.2}$	$W_{1\text{-}9.1}$	$W_{1\text{-}9.2}$	$W_{1\text{-}10}$	$W_{1\text{-}11}$	$W_{1\text{-}13}$
1999	I	0	6	0,032	0,086	4,243	0,764	95
	II	2,30	4	0,039	0,062	5,652	0,696	147
	III	0	4	0,028	0,052	5,830	0,473	192
	IV	0	2	0,024	0,049	4,148	0,570	150
	V	0	21	0,011	0,059	4,260	0,248	162
	VI	0	6	0,037	0,048	4,008	0,915	125
	VII	0	12	0,024	0,047	3,528	0,674	131
	VIII	6,83	3	0,023	0,049	3,745	0,625	136
	IX	0	6	0,033	0,057	4,409	0,751	129
	X	0	6	0,037	0,057	3,202	1,165	90
	XI	0	5	0,023	0,062	3,264	0,699	102
	XII	0	9	0,026	0,070	3,529	0,736	97
2000	I	0	6	0,020	0,077	4,990	0,407	135
	II	0	9	0,011	0,058	5,318	0,210	203
	III	0	3	0,027	0,048	4,730	0,562	167
	IV	0	19	0,007	0,050	5,277	0,123	247
	V	0	0	0,003	0,055	5,032	0,052	229
	VI	0	3	0,047	0,048	5,105	0,911	143
	VII	0	6	0,030	0,049	4,980	0,600	167
	VIII	0	8	0,026	0,047	5,072	0,519	181
	IX	0	9	0,014	0,045	4,619	0,306	206
	X	0	3	0,030	0,051	3,759	0,787	123
	XI	0	3	0,029	0,061	2,542	1,157	74
	XII	0	0	0,003	0,066	2,225	0,123	86

Tabela 23 - cd.

		$W_{1-8.1}$	$W_{1-8.2}$	$W_{1-9.1}$	$W_{1-9.2}$	W_{1-10}	W_{1-11}	W_{1-13}
2001	I	4,90	12	0,016	0,060	4,711	0,345	164
	II	0	11	0,014	0,055	5,308	0,271	203
	III	0	11	0,010	0,057	4,905	0,213	191
	IV	0	12	0,014	0,045	4,485	0,312	202
	V	0	13	0,016	0,063	4,663	0,352	155
	VI	0	11	0,014	0,048	4,490	0,312	192
	VII	0	21	0,016	0,055	4,376	0,374	163
	VIII	0	13	0,019	0,067	4,186	0,445	130
	IX	0	9	0,017	0,061	4,209	0,396	143
	X	0	7	0,015	0,051	3,331	0,462	132
	XI	0	6	0,019	0,067	3,281	0,575	100
	XII	0	19	0,014	0,057	5,783	0,247	214
2002	I	0	7	0,016	0,120	5,157	0,317	102
	II	0	7	0,011	0,066	3,634	0,304	124
	III	0	9	0,008	0,058	3,920	0,211	163
	IV	0	6	0,017	0,054	3,649	0,466	136
	V	0	26	0,008	0,065	3,001	0,282	108
	VI	0	2	0,037	0,046	4,665	0,798	154
	VII	0	24	0,009	0,052	4,899	0,177	213
	VIII	0	14	0,013	0,043	4,262	0,312	211
	IX	0	7	0,025	0,072	3,816	0,655	107
	X	0	4	0,027	0,045	3,492	0,761	129
	XI	0	22	0,011	0,060	3,867	0,297	142
	XII	0	11	0,020	0,088	4,292	0,463	105
2003	I	0	18	0,011	0,057	5,275	0,207	204
	II	0	7	0,018	0,064	4,997	0,364	161
	III	0	3	0,022	0,039	4,201	0,533	180
	IV	0	4	0,023	0,054	3,739	0,606	129
	V	0	9	0,011	0,056	3,110	0,362	122
	VI	0	6	0,027	0,055	4,444	0,614	143
	VII	7,35	26	0,011	0,049	4,320	0,265	190
	VIII	0	26	0,009	0,037	4,597	0,200	263
	IX	0	6	0,032	0,046	3,834	0,822	131
	X	0	7	0,016	0,063	3,286	0,502	109
	XI	0	13	0,012	0,059	3,585	0,327	135
	XII	0	32	0,009	0,075	4,655	0,186	147
2004	I	0	14	0,014	0,106	3,830	0,364	79
	II	0	15	0,012	0,049	3,988	0,304	151
	III	0	12	0,014	0,056	3,803	0,365	144
	IV	0	7	0,017	0,049	4,378	0,397	190
	V	0	15	0,010	0,054	5,515	0,181	213
	VI	3	10	0,032	0,061	4,770	0,666	168
	VII	0	14	0,015	0,046	4,605	0,333	209
	VIII	0	26	0,009	0,057	3,793	0,227	159
	IX	0	6	0,026	0,069	3,186	0,813	89
	X	0	10	0,017	0,064	4,086	0,409	155
	XI	0	21	0,009	0,063	4,305	0,198	148
	XII	0	14	0,014	0,080	4,124	0,334	104

W opracowanym modelu wynikowym, pożądaną wartością każdego z przyjętych do oceny kryteriów jest ich wartość najmniejsza (rys. 7.1), dlatego też wartość każdego kryterium przyjmuje następującą postać [53]:

$$v = \log_2\left(\frac{P_v - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \cdot 64\right) \tag{8.1}$$

gdzie:

v = wartość funkcji, kryterium,

P_{max} – zakres górny dziedziny zmienności argumentu kryterium,

P_{min} – zakres dolny dziedziny zmienności argumentu kryterium,

P_v – argument funkcji kryterium

Dla kryterium opisanym zależnością (8.1) wartości funkcji odpowiadają argumentom określonym zależnością (8.2),

$$P_v = P_{\min} + \left(P_{\max} - P_{\min}\right) \cdot \frac{2^v}{64};\ \text{v} = 1, 2, \ldots, 6 \tag{8.2}$$

Zgodnie z metodyką opisaną w [53] przyjmuje się skalę (od 4 do 10) opisującą stopień spełnienia wymaganego kryterium, gdzie:

10 – oznacza, że kryterium zostało spełnione (stan bezpieczny),

4 – oznacza, że kryterium nie zostało spełnione (stan niebezpieczny).

Stopień spełnienia kryterium opisano zależnością (8.3),

$$g = 10 - v \tag{8.3}$$

Każde z kryteriów opisano zbiorem rozmytym, gdzie funkcja przynależności określa stopień spełnienia kryterium przez wyznaczoną wartość cechy. Dziedzina kryterium przyjmowana jest jako równa nośnikowi zbioru rozmytego.

Funkcje przynależności utworzone zostały z wykorzystaniem punktów charakterystycznych dla poszczególnych rodzajów kryteriów, wyznaczone na podstawie zależności (8.1 – 8.3), jako interpolacja liniowa. Zostały one przeskalowane do odpowiedniej wielkości dziedziny zbioru rozmytego poprzez podział nośnika zbioru na *64* równe części.

Wartości wyznaczonych funkcji dla elementów zbiorów zawierają się w przedziale od *4* do *10*. Należy zatem przekształcić wyznaczone zbiory do postaci zbiorów rozmytych normalnych:

$$\sup \mu_{FS}(x_i) = 1 \tag{8.4}$$

gdzie:

$\mu_{FS}(x_i)$ - funkcja przynależności dla cechy i-tej systemu

Z uwagi na różnorodność zbioru kryteriów (wskaźników reprezentatywnych) przypisano im wagi, różnicujące ich istotność w zbiorczej ocenie stanu bezpiecznego działania. Do wyznaczenia wag poszczególnych wskaźników (kryteriów oceny) wykorzystano metodę analizy wielokryterialnej AHP [106] (Analytic Hierarchy Process).

Metoda AHP polega na porównaniu poszczególnych kryteriów między sobą, co można przedstawić w postaci macierzowej.

$$q = \begin{bmatrix} 0 & q_{1,2} & \cdots & q_{1,n} \\ 0 & 0 & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & q_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{8.5}$$

Ustalenie wartości ocen, określających wartości rozpatrywanych kryteriów, dokonuje się na podstawie siedmiostopniowej skali ocen, opisanej w tabeli 24.

Tabela 24 Względne preferencje wariantu wraz z wartościami liczbowymi.

Porównanie wariantu *a* w stosunku *b*	Względna jakość wariantu *a* w stosunku do *b*	Przypisywana wartość q_{ab}
a dużo lepszy niż *b*	Mocna preferencja *a*	6
a lepszy niż *b*	Preferencja *a*	4
a trochę lepszy niż *b*	Słaba preferencja *a*	2
a równie dobry jak *b*	Brak preferencji	0
a trochę gorszy niż *b*	Słaba preferencja *b*	-2
a gorszy niż *b*	Preferencja *b*	-4
a dużo gorszy niż *b*	Mocna preferencja *b*	-6

Na podstawie przypisanych wartości preferencji q_{ab} wyznacza się dodatkową zmienną według wzoru przyjmującego dla jednego eksperta postać (8.6). Wielkość q_{wjk} symbolizuje wystąpienie wartości preferencji q_{ab} pomiędzy kryteriami o numerach *wj* i *k*.

$$w_{wj} = \frac{1}{n_w} \sum_{k=1}^{n_w} q_{wjk} \tag{8.6}$$

Zmienna ta służy do wyznaczenia stopni spełnienia kryteriów przez poszczególne warianty. Rozróżnia się dwie metody *AHP* [53]. Różnią się one metodą obliczania całkowitej oceny wariantu.

W metodzie średniej arytmetycznej (*AHPA*) oblicza się ocenę końcową według zależności (8.7).

$$s = \sum_{i=1}^{ki} c_i g_i \tag{8.7}$$

W jej przypadku stopień spełnienia poszczególnego kryterium w metodzie *AHP* wyznacza się zgodnie z zapisem równania (8.8).

$$g_{ij} = w_{ij} + \theta_i, j = 1,.....n_w, i = 1,....., ki \tag{8.8}$$

W metodzie średniej geometrycznej (*AHPM*) oblicza się ocenę końcową według zależności (8.9).

$$s = \alpha \prod_{i=1}^{ki} a_i^{c_i} \tag{8.9}$$

W przypadku tego wariantu metody stopień spełnienia poszczególnego kryterium w metodzie *AHP* wyznacza się zgodnie z zapisem równania (8.10).

$$a_{ij} = \beta_i \cdot 2^{w_{ij}}, j = 1,.....n_w, i = 1,....., ki. \tag{8.10}$$

Ocena całkowita metody *AHPA* umożliwia słowną interpretację wartości wynikowej (Tablica 8.15) natomiast ocena *AHPM* określa względną jakość wariantu w stosunku do wariantów konkurencyjnych.

Tabela 25 Interpretacja wartości oceny całkowitej wariantu

Całkowita ocena wariantu s	Interpretacja stanu
10	Idealny
9	Bardzo dobry
8	Dobry
7	Dostateczny
6	Dopuszczalny
5	Zły
4	Bardzo zły

W obu wariantach metody AHP w procesie wyznaczania oceny końcowej biorą udział wagi poszczególnych kryteriów. Są one również określane na podstawie porównań z tym, że wartości liczbowe preferencji przypisywane są w rozszerzonej skali od wartości *–8* do wartości *8* co odpowiada odpowiednio bardzo mocnej preferencji jednego z porównywanych kryteriów.

Macierz porównań dla wyznaczonych w pracy kryteriów przedstawiono w postaci tabelarycznej, tabela 26.

Tabela 26 Macierz porównań kryteriów oceny bezpiecznego działania systemu.

	W1-8.1	W1-8.2	W1-9.1	W1-9.2	W1-10	W1-11	W1-13
W1-8.1	0	2	6	8	4	2	6
W1-8.2		0	8	6	4	2	6
W1-9.1			0	2	-4	-6	-2
W1-9.2				0	-4	-6	-2
W1-10					0	-2	2
W1-11						0	4
W1-13							0

Po wyliczeniu zmiennej dodatkowej w_{wj} (8.6) wartość wagi określa się analogicznie jak w przypadku metody *SMART* [138] (8.11) stosując zamiast stopni ważności h_{ki} zmienne dodatkowe w_{ki}.

$$c_{ki} = \frac{\left(\sqrt{2}\right)^{h_{ki}}}{\sum_{ki}\left(\sqrt{2}\right)^{h_{ki}}} \tag{8.11}$$

Otrzymane w ten sposób wagi poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 27.

Tabela 27 Wyniki wielokryterialne analizy AHPA.

L.p.	Nazwa kryterium	Typ kryterium	Możliwa wartość najmniejsza (stan bezpieczeństwa)	Możliwa wartość największa (stan niebezpieczeństwa)	Wagi
1	W1-8.1	MINSIMP	0	250	0,65808
2	W1-8.2	MINSIMP	0	70	0,29802
3	W1-9.1	MINSIMP	8	140	0,00002
4	W1-9.2	MINSIMP	108	352	0,00001
5	W1-10	MINSIMP	2225	5830	0,00257
6	W1-11	MINSIMP	150	3430	0,4113
7	W1-13	MINSIMP	74	263	0,00016

Z tabeli tej wynika, że najistotniejszym wskaźnikiem z punktu widzenia bezpieczeństwa realizowanych przewozów jest wskaźnik liczby osób zabitych przypadających na 10 wypadków drogowych, najmniej istotny, mający najmniejszy

wpływ na wynik oceny zbiorczej jest wskaźnik oceny liczby kolizji drogowych przypadających na 10000 przejechanych kilometrów.

Wyniki analizy wielokryterialnej oceny bezpieczeństwa działania analizowanego systemu przedstawiono w tabeli 28, wyniki przedstawiono dla oceny każdego z kryteriów oddzielnie oraz ocenę zbiorczą.

Tabela 28 Wyniki analizy wielokryterialnej oceny bezpieczeństwa działania analizowanego systemu.

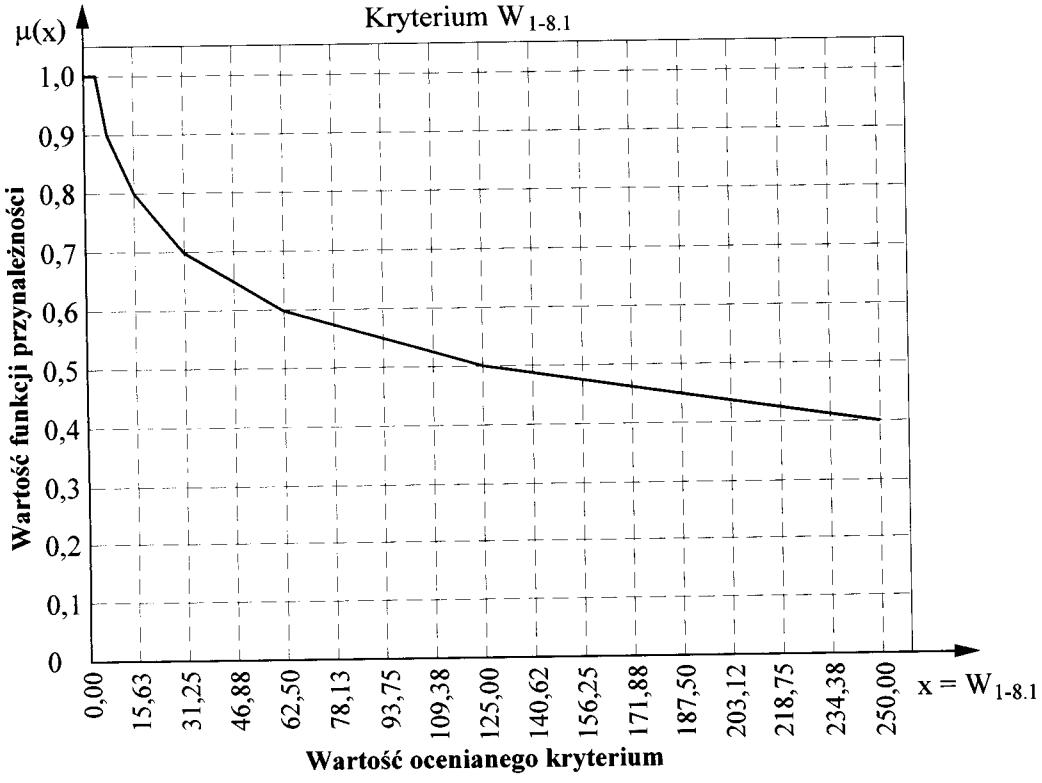
Kolejne miesiące badań	Ocena według kryterium							*Ocena zbiorcza*
	$W_{1\text{-}8.1}$	$W_{1\text{-}8.2}$	$W_{1\text{-}9.1}$	$W_{1\text{-}9.2}$	$W_{1\text{-}10}$	$W_{1\text{-}11}$	$W_{1\text{-}13}$	
1	1	0,74	0,46818	0,48197	0,48804	0,47207	0,9948	8,99366
2	0,5752	0,78571	0,43636	0,57869	0,40988	0,48439	0,8179	6,33741
3	1	0,78571	0,48939	0,64918	0,4	0,54854	0,6489	9,15909
4	1	0,91714	0,51212	0,67869	0,49331	0,5139	0,8184	9,53894
5	1	0,56286	0,66061	0,59344	0,4871	0,65902	0,7687	8,54265
6	1	0,74	0,44848	0,6918	0,50216	0,445	0,8983	8,98289
7	1	0,64	0,51212	0,69836	0,55542	0,48817	0,8591	8,704
8	0,4144	0,86286	0,51515	0,67869	0,53135	0,49701	0,8484	5,51744
9	1	0,74	0,46515	0,60328	0,47883	0,47439	0,8782	8,99438
10	1	0,74	0,44545	0,60656	0,5916	0,40018	0,9954	8,96675
11	1	0,76286	0,52121	0,57869	0,58472	0,48384	0,9787	9,06912
12	1	0,68571	0,49697	0,53934	0,55531	0,4772	0,9987	8,83572
13	1	0.74	0,54242	0,50432	0,4468	0,57244	0,8481	9,0339
14	1	0,68571	0,64848	0,53672	0,4284	0,68561	0,6092	8,91822
15	1	0,86288	0,48384	0,8818	0,46103	0,51683	0,7484	9,37752
16	1	0,57429	0,76867	0,67213	0,43068	0,7961	0,4385	8,63166
17	1	0,4	1	0,61967	0,44427	1	0,4985	8,19668
18	1	0,81714	0,40455	0,69508	0,44022	0,44573	0,8287	9,21165
19	1	0,76236	0,47879	0,68197	0,44716	0,50293	0,7484	9,07358
20	1	0,69714	0,49545	0,89508	0,44205	0,53207	0,6986	8,8896
21	1	0,63571	0,59697	0,73607	0,46713	0,61732	0,5981	8,89127
22	1	0,81714	0,4803	0,65902	0,52979	0,46799	0,8977	9,22312
23	1	0,86286	0,48182	0,58197	0,75931	0,40165	1,0000	9,33781
24	1	0,48571	1	0,56066	1	0,79707	0,9961	8,38279
25	0,4664	0,65143	0,57879	0,59016	0,46208	0,59463	0,7580	5,26793
26	1	0,66286	0,59697	0,62623	0,42896	0,64244	0,6092	8,83234
27	1	0,65143	0,66061	0,6	0,45132	0,6839	0,6487	8,81593
28	1	0,64	0,6	0,74262	0,47462	0,61293	0,6085	8,75326
29	1	0,62857	0,57879	0,57377	0,46474	0,5922	0,7985	8,71041
30	1	0,66286	0,6	0,69508	0,47434	0,61293	0,6489	8,82137
31	1	0,56857	0,57879	0,62951	0,48067	0,58427	0,7586	8,52883
32	1	0,64	0,55758	0,55574	0,49121	0,55878	0,8693	8,73149
33	1	0,68571	0,57576	0,58197	0,48993	0,57622	0,8287	8,87487
34	1	0,71714	0,58788	0,65902	0,57728	0,5528	0,8580	8,96115
35	1	0,74	0,55758	0,55246	0,58283	0,51207	0,9886	9,01265
36	1	0,57429	0,59697	0,60328	0,40261	0,65951	0,5591	8,57481
37	1	0,71714	0,57879	0,4	0,43734	0,60927	0,9787	8,98077
38	1	0,71714	0,64848	0,55738	0,54366	0,61829	0,8986	8,98723
39	1	0,68571	0,70606	0,59836	0,51193	0,68512	0,7586	8,92026
40	1	0,74	0,57273	0,63607	0,542	0,55122	0,8484	9,02771
41	1	0,52857	0,69697	0,56393	0,62779	0,63439	0,9480	8,43405
42	1	0,91714	0,44697	0,72295	0,46463	0,46604	0,8089	9,51858
43	1	0,54571	0,69697	0,65246	0,45165	0,71951	0,5579	8,51562
44	1	0,61714	0,61212	0,78852	0,48699	0,61268	0,5683	8,68544

Tabela 28 - cd.

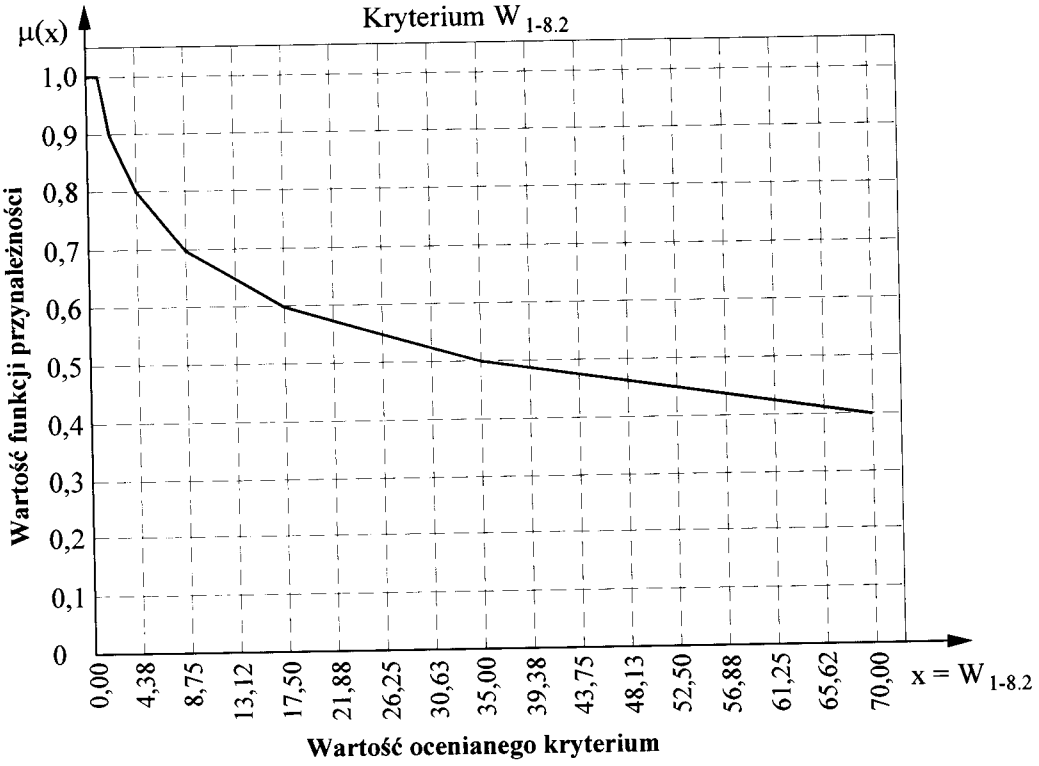
Kolejne miesiące badań	Ocena według kryterium							*Ocena zbiorcza*
	$W_{1-8.1}$	$W_{1-8.2}$	$W_{1-9.1}$	$W_{1-9.2}$	W_{1-10}	W_{1-11}	W_{1-13}	
45	1	0,71714	0,5	0,52951	0,52347	0,49165	0,9486	**8,93459**
46	1	0,78571	0,49394	0,73607	0,55942	0,47274	0,8782	**9,1321**
47	1	0,55714	0,64242	0,58689	0,51781	0,62366	0,8284	**8,51194**
48	1	0,65143	0,54848	0,47623	0,48533	0,5522	0,9590	**8,76268**
49	1	0,58571	0,65455	0,6	0,43079	0,68805	0,5986	**8,62134**
50	1	0,71714	0,56364	0,57049	0,44621	0,58793	0,7689	**8,97311**
51	1	0,81714	0,52424	0,91639	0,49037	0,52707	0,7088	**9,24722**
52	1	0,78571	0,52121	0,63607	0,53201	0,5011	0,8782	**9,14395**
53	1	0,68571	0,64848	0,61311	0,60361	0,58866	0,8975	**8,88381**
54	1	0,74	0,49091	0,62951	0,47689	0,49909	0,8287	**9,00546**
55	0,4	0,52857	0,64242	0,68525	0,48377	0,64683	0,6581	**4,48782**
56	1	0,52857	0,68485	1	0,4684	0,69268	0,4000	**8,45481**
57	1	0,76286	0,47121	0,72295	0,52147	0,46177	0,8591	**9,05937**
58	1	0,71714	0,57576	0,57213	0,58227	0,53817	0,9483	**8,95534**
59	1	0,62857	0,64242	0,59508	0,5491	0,60195	0,8481	**8,71667**
60	1	0,49429	0,69697	0,51639	0,46519	0,70683	0,8179	**8,35756**
61	1	0,61714	0,6	0,43279	0,52191	0,5878	0,9985	**8,67618**
62	1	0,59714	0,6303	0,68525	0,50438	0,61829	0,8186	**8,62868**
63	1	0,64	0,6	0,61967	0,52491	0,5872	0,8290	**8,74413**
64	1	0,71714	0,5697	0,67869	0,48055	0,57598	0,6581	**8,96827**
65	1	0,60571	0,67273	0,63279	0,41748	0,71317	0,5579	**8,69102**
66	0,5544	0,67429	0,4697	0,58361	0,45881	0,48963	0,7487	**5,87219**
67	1	0,61714	0,58788	0,72295	0,46796	0,59878	0,5979	**8,67947**
68	1	0,52857	0,69697	0,6	0,52602	0,67366	0,7779	**8,44782**
69	1	0,74	0,49697	0,54426	0,59337	0,46329	0,9955	**8,99309**
70	1	0,66286	0,57576	0,56885	0,49675	0,57159	0,7985	**8,80526**
71	1	0,56857	0,69697	0,57541	0,4846	0,69415	0,8188	**8,57439**
72	1	0,61714	0,6	0,4959	0,49465	0,59841	0,9590	**8,68001**

8.6 Analiza uzyskanych wyników badań modelu

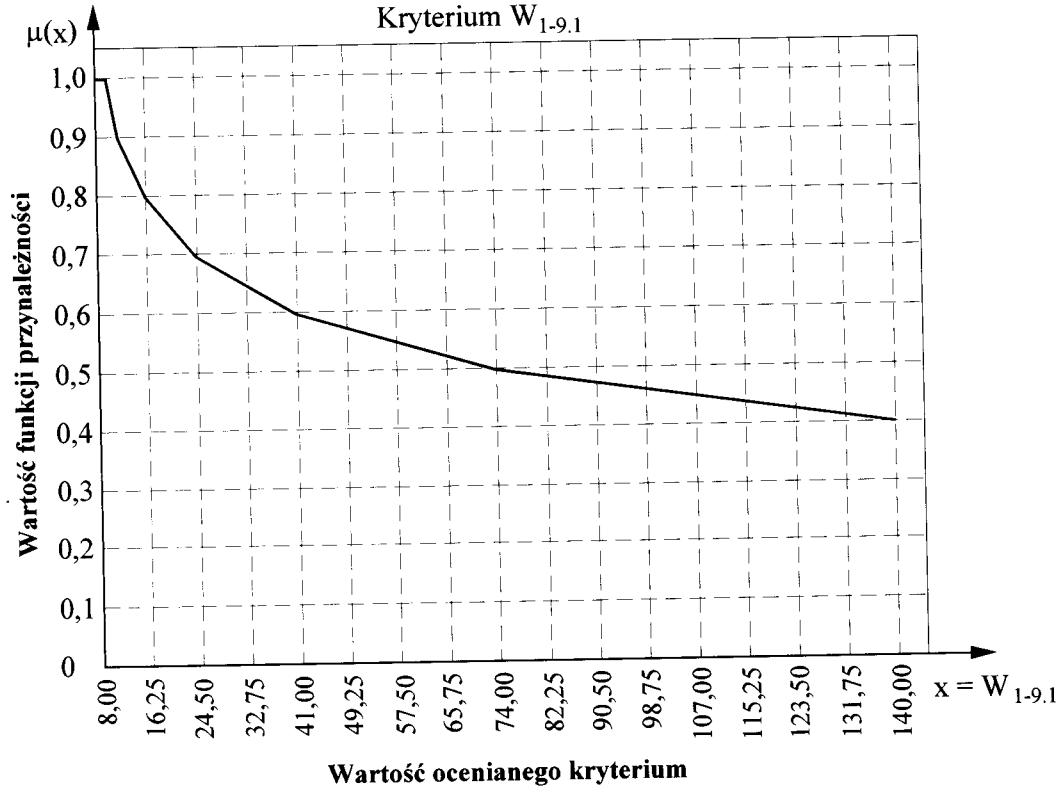
W zakładanym modelu najbardziej pożądaną wartością kryterium jest wartość najmniejsza (rys. 7.1), dlatego też wartości funkcji kryteriów określono zależnością (8.1). Geometryczną postać rozmytą każdego z kryteriów przedstawiono na rysunkach 8.2 – 8.8.



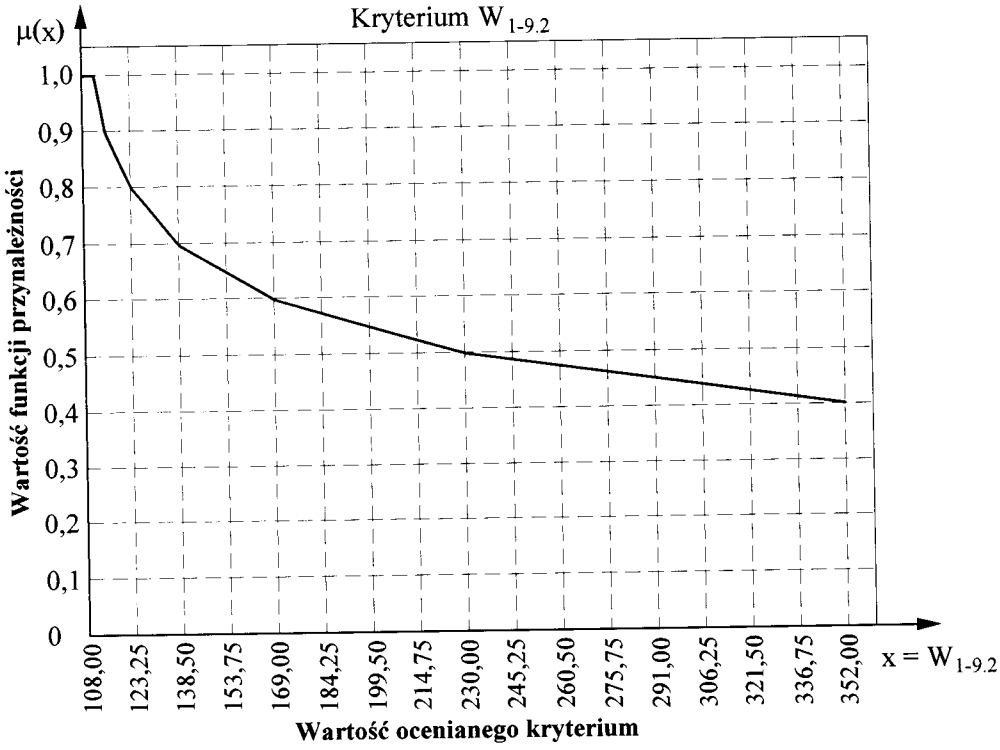
Rys. 8.2 Wykres postaci rozmytej kryterium $W_{1\text{-}8.1}$ dla pożądanej wartości jak najmniejszej.



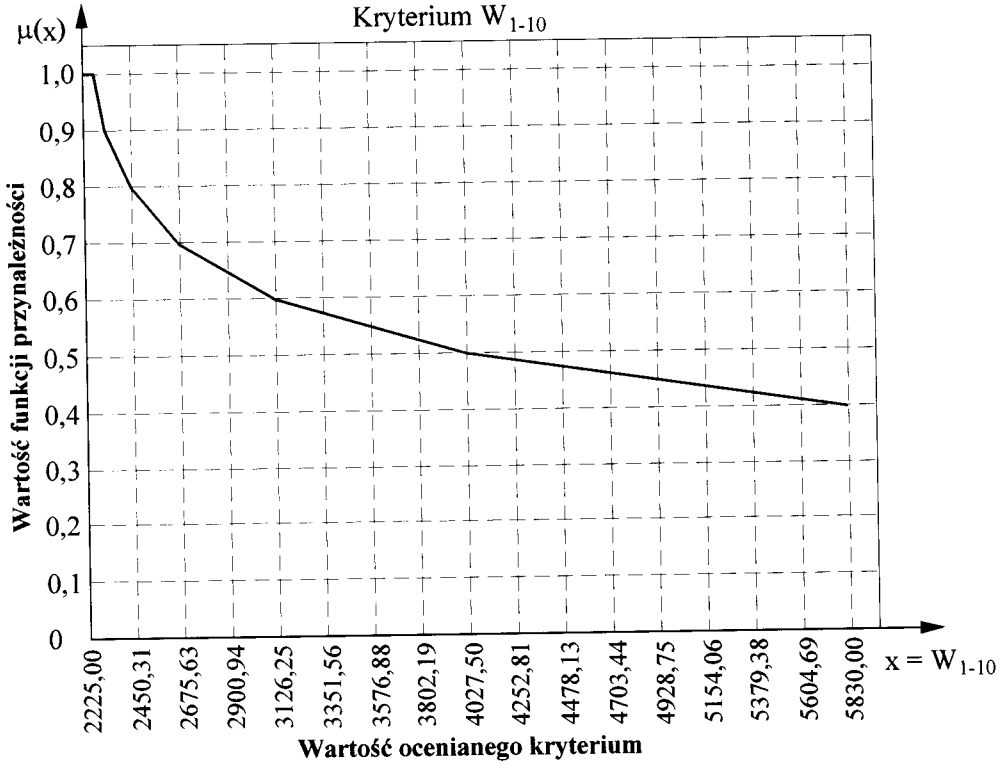
Rys. 8.3 Wykres postaci rozmytej kryterium $W_{1-8.2}$ dla pożądanej wartości jak najmniejszej.



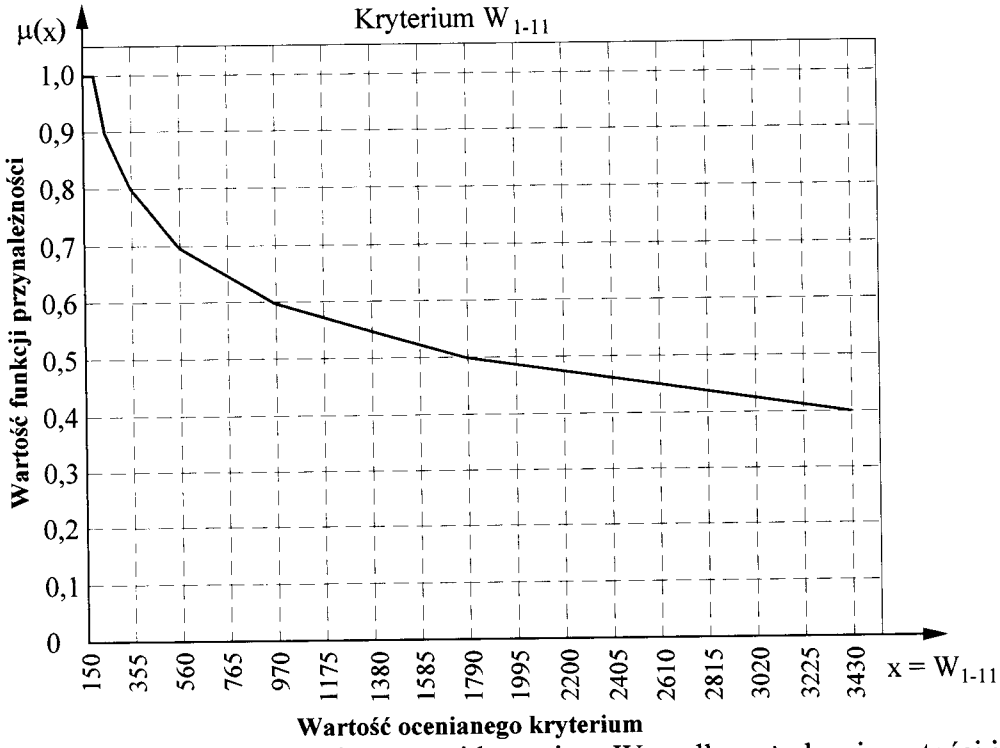
Rys. 8.4 Wykres postaci rozmytej kryterium $W_{1-9.1}$ dla pożądanej wartości jak najmniejszej.



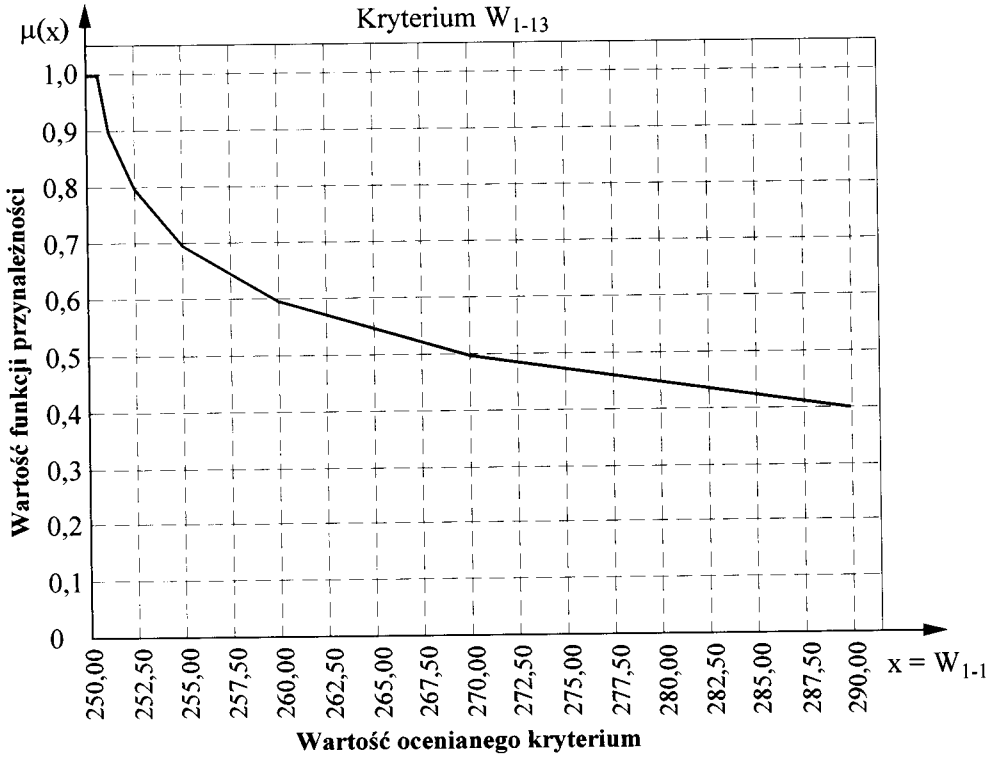
Rys. 8.5 Wykres postaci rozmytej kryterium $W_{1-9.2}$ dla pożądanej wartości jak najmniejszej.



Rys. 8.6 Wykres postaci rozmytej kryterium W_{1-10} dla pożądanej wartości jak najmniejszej.

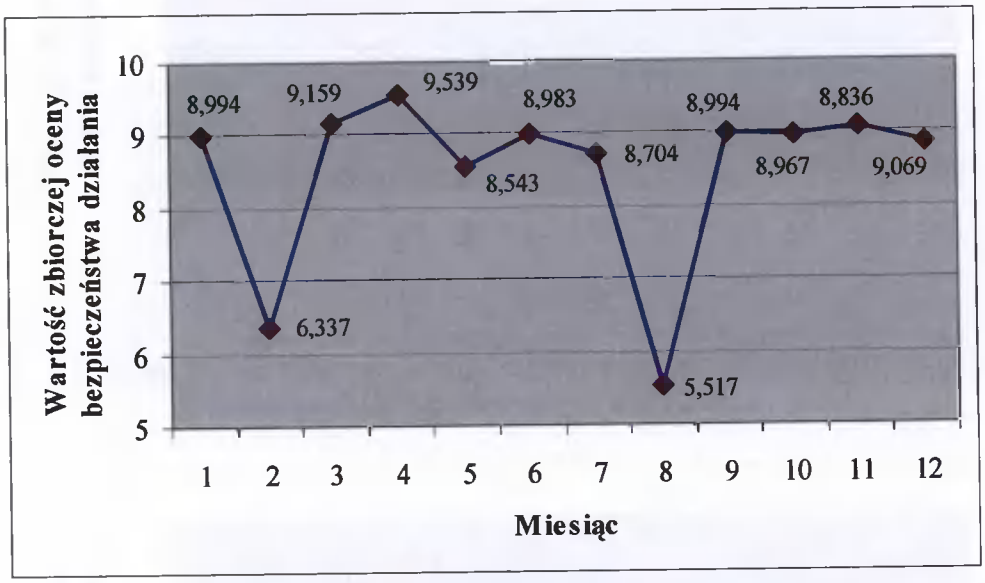


Rys. 8.7 Wykres postaci rozmytej kryterium W_{1-11} dla pożądanej wartości jak najmniejszej.

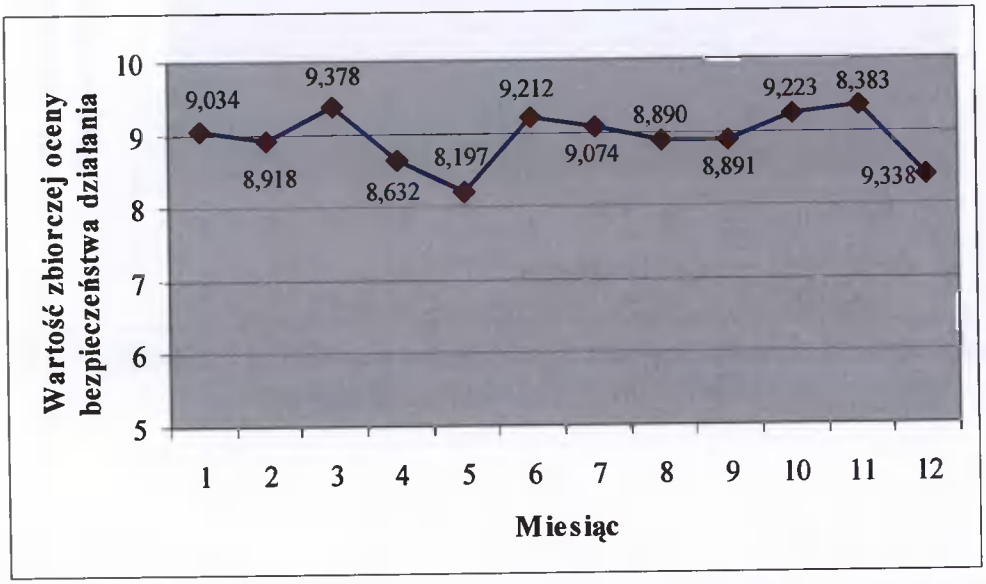


Rys. 8.8 Wykres postaci rozmytej kryterium W_{1-13} dla pożądanej wartości jak najmniejszej.

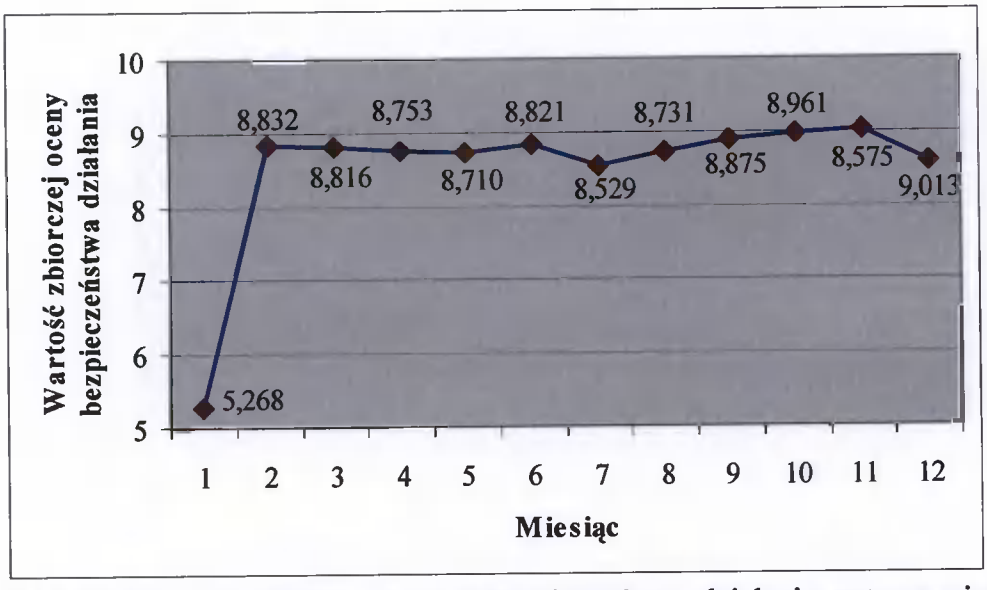
Model wynikowy stanowi zbiorczą ocenę bezpieczeństwa działania na podstawie prezentowanych kryteriów. Wyniki zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania analizowanego systemu transportowego w poszczególnych latach badań przedstawiono na rysunkach 8.9 – 8.14.



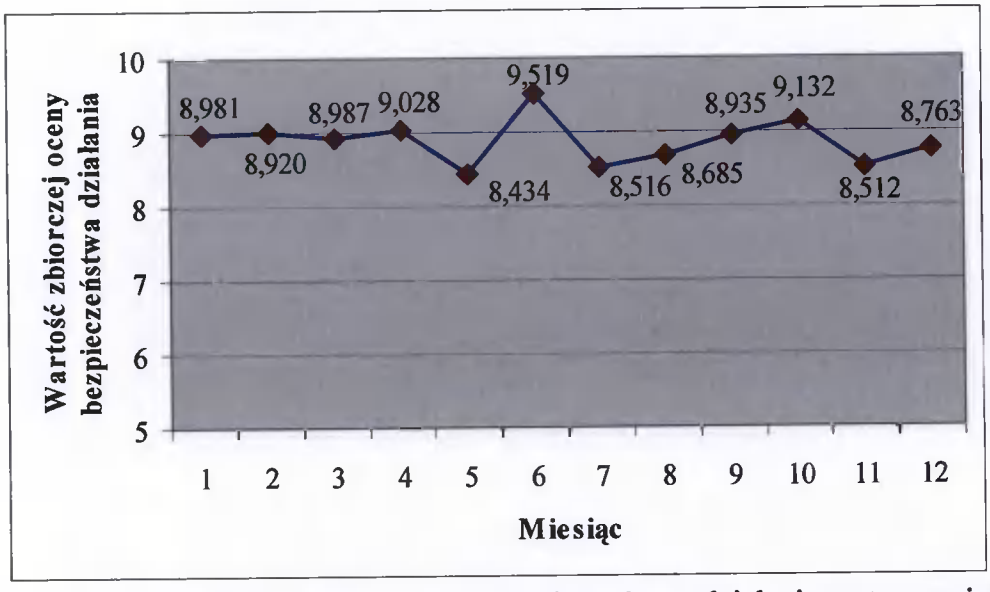
Rys. 8.9 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w roku 1999.



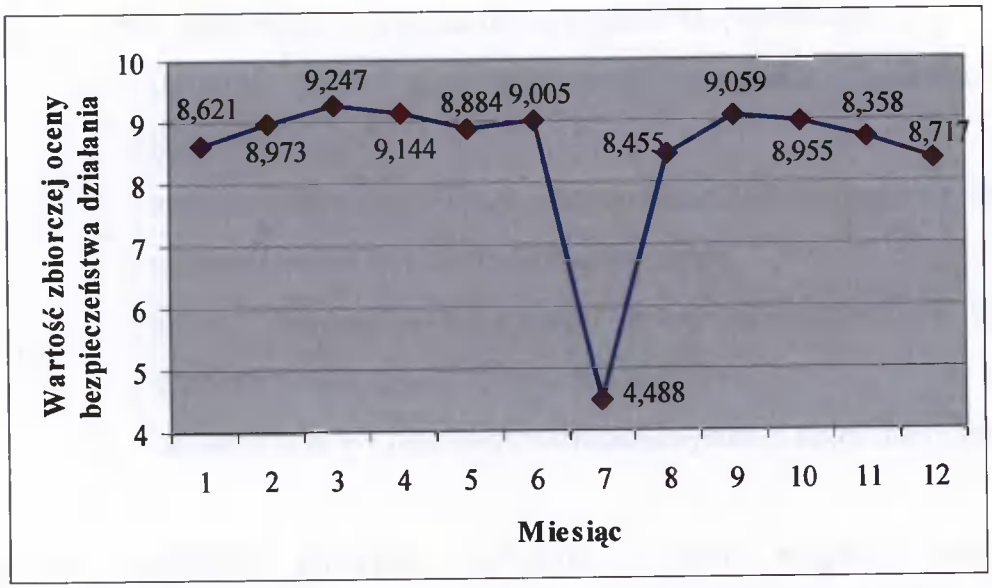
Rys. 8.10 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w roku 2000.



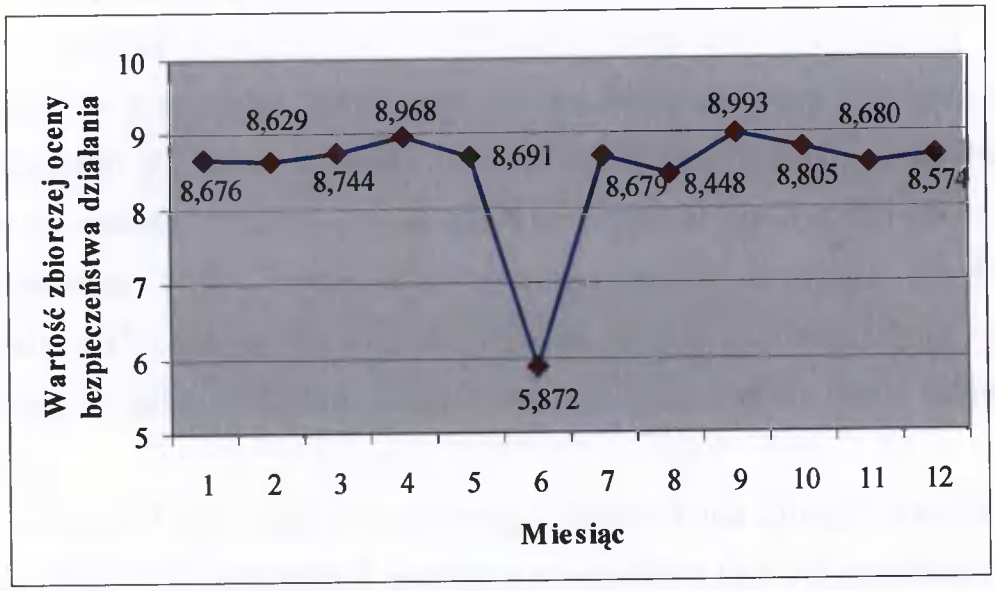
Rys. 8.11 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w roku 2001.



Rys. 8.12 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w roku 2002.



Rys. 8.13 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w roku 2003.



Rys. 8.14 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w roku 2004.

Założenia do oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego:

$g = 4$ – oznacza stan niebezpiecznego działania systemu (stan katastroficzny)

$g = (4 \div 7)$ – zakres niedopuszczalnych zmian stanu bezpieczeństwa działania systemu (zbiór stanów zagrożeniowych)

$g = (7 \div 10)$ – zakres dopuszczalnych zmian stanu bezpieczeństwa działania systemu (zbiór stanów bezpiecznościowych)

$g = 10$ – oznacza stan bezpiecznego działania systemu (stan intencjonalny)

Mając na względzie powyższe założenia, system miejskiej komunikacji autobusowej jest systemem cechującym się wysokim poziomem bezpieczeństwa działania co wynika z wyżej przedstawionych ilustracji, oraz wartości oceny zbiorczej zawartej w tabeli 28.

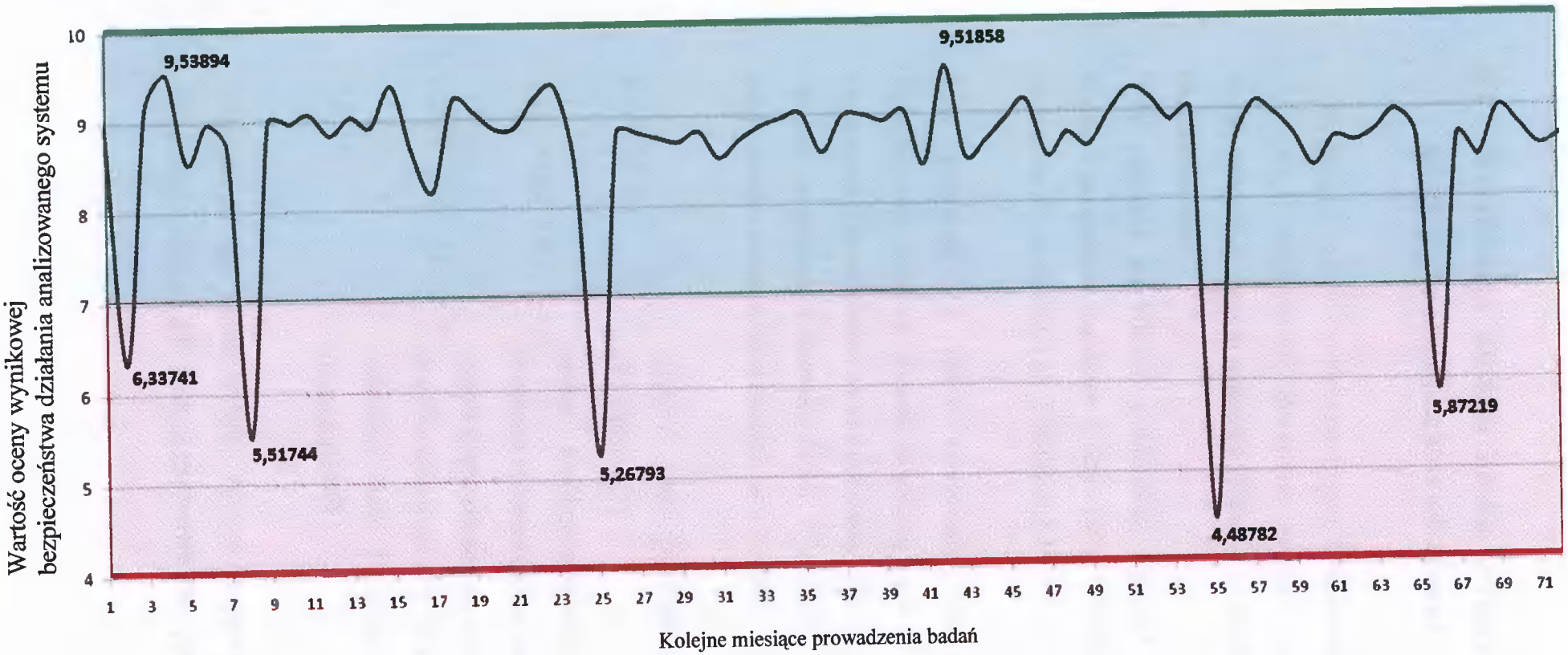
Świadczy o tym mała liczba zmian stanu bezpieczeństwa działania na stan niebezpiecznego działania. Sytuacją idealną byłoby gdyby stany niebezpiecznego działania w ogóle nie występowały jak miało to miejsce w latach 2000 i 2002.

Kompleksową oceną całego analizowanego przedziału czasu przedstawiono na rysunku 8.15. Na rysunku tym w celu lepszego zobrazowania wyników prowadzonych badań kolorami zaznaczono przedziały zmian stanu bezpiecznego działania.

Zakres dopuszczalnych zmian bezpiecznego działania dla którego wartość stopnia spełnienia wszystkich kryteriów g mieści się w przedziale $(7 \div 10)$ oznaczono kolorem zielonym wraz ze stanem intencjonalnym dla którego $g = 10$.

Natomiast stany niepożądane (niebezpiecznego działania) dla których $g = (4 \div 7)$ wraz ze stanem katastroficznym w którym $g = 4$ oznaczono kolorem czerwonym.

Z rysunku tego wynika, że stan niebezpiecznego działania systemu zaistniał pięć razy w ciągu siedemdziesięciu dwóch miesięcy prowadzenia badań eksploatacyjnych. Nie można stwierdzić jednoznacznie czy to jest mało czy dużo ponieważ życie ludzkie jest bezcenne. Należy więc dążyć do poprawy istniejącego stanu i wyeliminować stany niebezpiecznego działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej.



Rys. 8.15 Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w analizowanym przedziale czasu od 01.011999r do 31.12.2004r.

8.7 Weryfikacja modelu oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej.

Weryfikacji modelu rozmytego oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej dokonano poprzez porównanie wartości wskaźników wyznaczonych w trakcie realizacji badań, z wynikami pozyskanymi w trakcie analizy wielokryterialnej.

W procesie weryfikacji porównano wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu względem każdego z kryteriów i wartości rzeczywistej tych kryteriów, co zostało przedstawiono na rysunkach 8.16 – 8.22.

W rozdziale 8.4 pracy zaznaczono, że wartości wyznaczonych funkcji dla elementów nośnika zbiorów zawierają się w przedziale od *4* do *10*. Należy zatem przekształcić wyznaczone zbiory do postaci zbiorów rozmytych normalnych zostało to opisane za pomocą zależności (8.4). W związku z powyższym założenia do oceny stanu bezpieczeństwa będą następującej postaci:

$\mu_A(x) = 0{,}4$ – oznacza stan niebezpiecznego działania systemu (stan katastroficzny)

$\mu_A(x) = (0{,}4 \div 0{,}7)$ – zakres niedopuszczalnych zmian stanu bezpieczeństwa działania systemu (zbiór stanów zagrożeniowych)

$\mu_A(x) = \langle 0{,}7 \div 1)$ – zakres dopuszczalnych zmian stanu bezpieczeństwa działania systemu (zbiór stanów bezpiecznościowych)

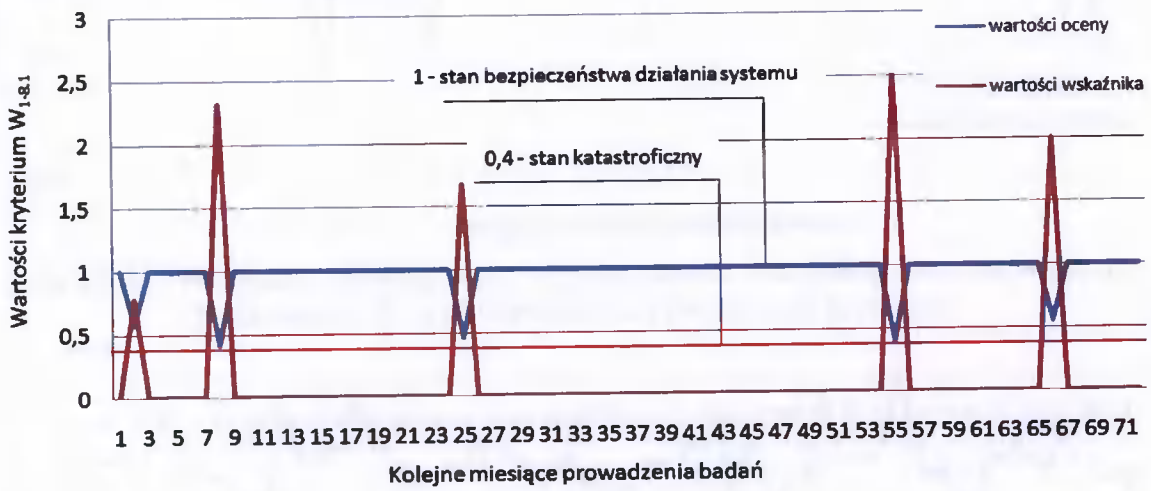
$\mu_A(x) = 1$ – oznacza stan bezpiecznego działania systemu (stan intencjonalny)

Z powyższego zapisu wynika, że stan bezpieczeństwa działania systemu zostanie osiągnięty wówczas gdy funkcja przynależności przyjmie wartość $\mu_A(x) = 1$.

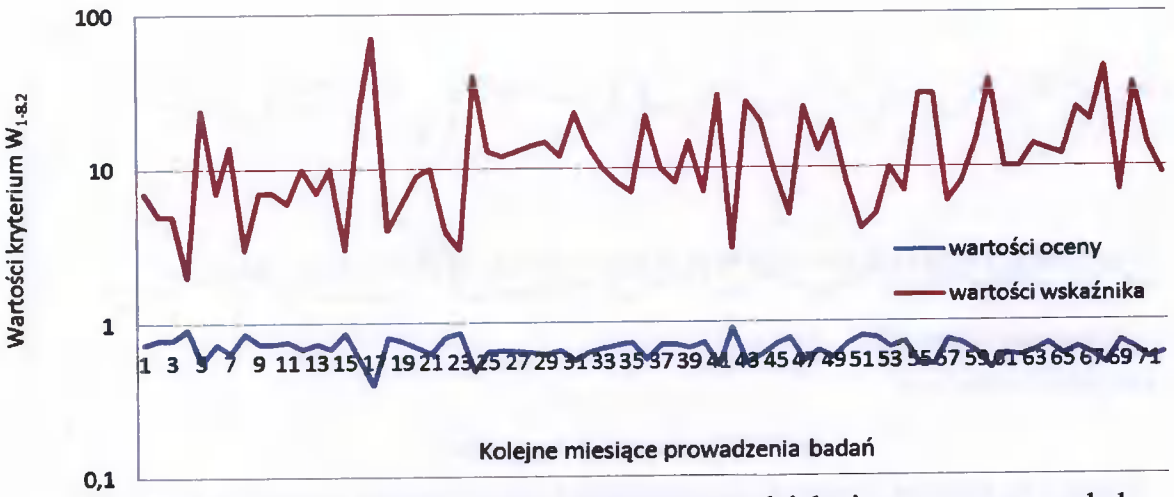
Z rysunków przedstawionych poniżej wynika następujący wniosek – jeżeli wartość wskaźnika maleje to rośnie wartość oceny bezpieczeństwa a tym samym zachodzi stan bezpiecznego działania.

Najlepiej obrazuje ten stan rzeczy rysunek 8.16 na którym przedstawiono porównanie wartości rozmytej oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium liczby osób zabitych przypadających na dziesięć wypadków drogowych (linia niebieska) i wartości rzeczywistej tego kryterium (linia czerwona).

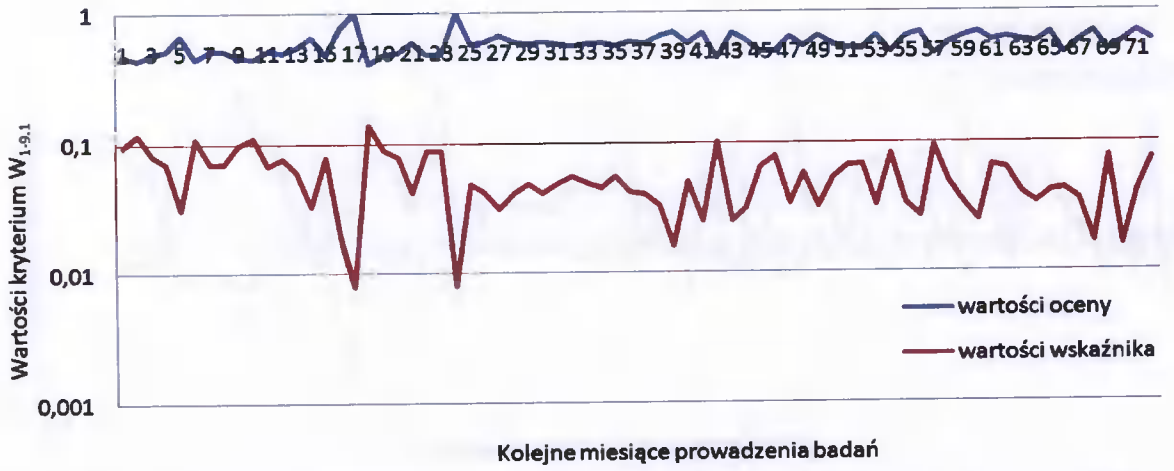
Z rysunku tego wynika, że ze względu na oceniane kryterium stan bezpieczeństwa działania systemu jest osiągnięty wówczas gdy na skutek wypadków drogowych nie było ofiar śmiertelnych. Gdy wartość rzeczywista wskaźnika jest równa zero to wartość oceny rozmytej jest równa jeden. Tą samą zależność obserwuje się w przypadku pozostałych kryteriów, wraz ze wzrostem wartości wskaźnika obniża się poziom oceny bezpieczeństwa działania systemu, wobec tego model ocenowy należy uznać za adekwatny z rzeczywistością.



Rys. 8.16 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium $W_{1\text{-}8.1}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.

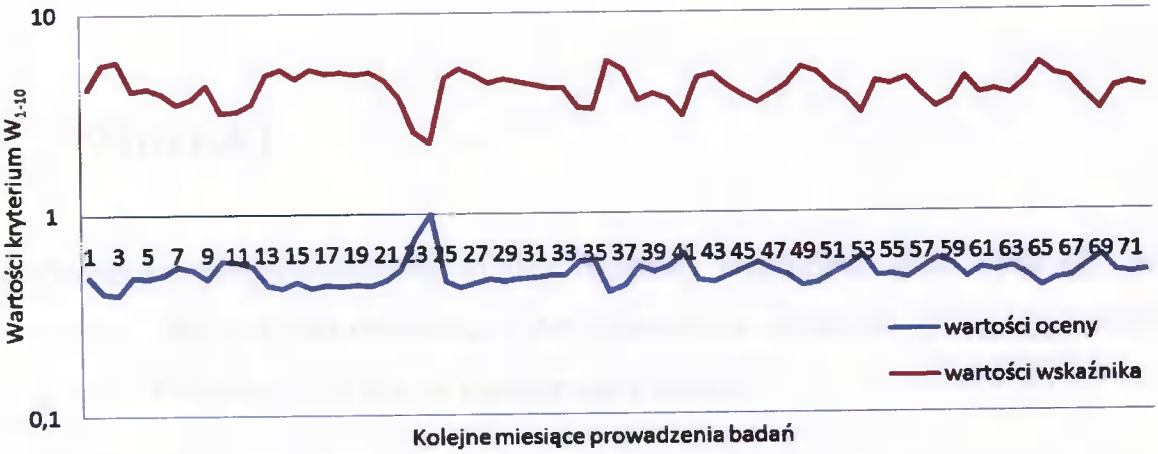


Rys 8.17 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium W $_{1\text{-}8.2}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.



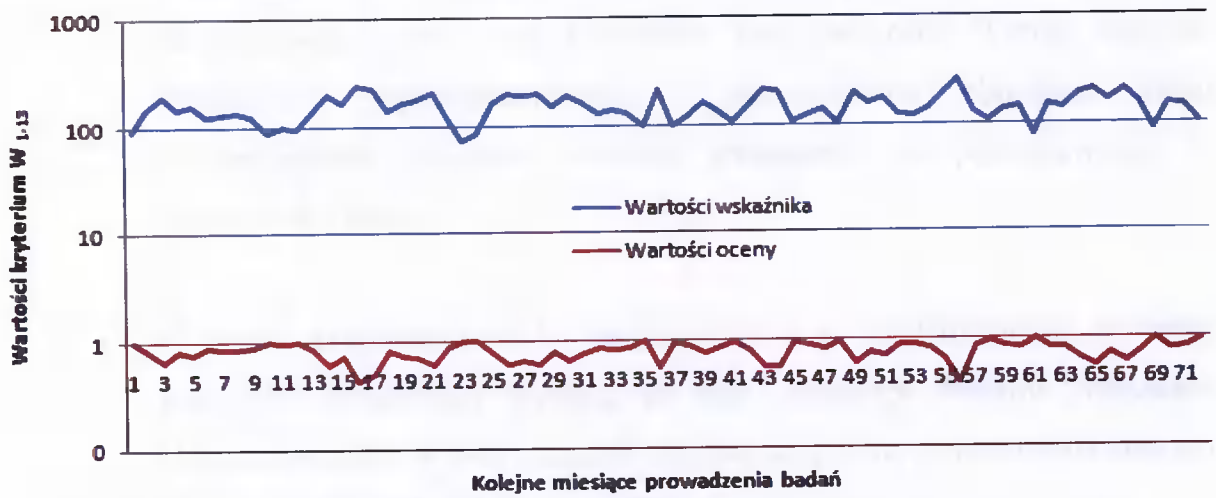
Rys. 8.18 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium W $_{1\text{-}9.1}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.

Rys.8.19 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium W $_{1\text{-}9.2}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.



Rys. 8.20 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium W $_{1\text{-}10}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.

Rys. 8.21 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium W $_{1\text{-}11}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.



Rys. 8.22 Porównanie wartości oceny bezpieczeństwa działania systemu ze względu na kryterium W $_{1\text{-}13}$ i wartości rzeczywistej tego kryterium.

9. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz wyników badań własnych z zakresu niezawodności i bezpieczeństwa działania systemów transportu drogowego sformułowano w pracy następujące wnioski:

- Rozpatrując bezpieczeństwo działania systemu w aspekcie wyznaczonych kryteriów ocenowych, system można uznać jako bezpiecznie realizujący zadania przewozowe, ponieważ wyznaczone wartości zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania środków transportu w 93% nie przekraczają dopuszczalnych wartości granicznych przyjętych kryteriów uznanych jako bezpieczne.

- Zaproponowany w pracy model oceny bezpieczeństwa działania środków transportu poddano weryfikacji. Weryfikacja polegała na porównaniu wartości kryteriów opisujących stan bezpiecznego działania środków transportu wyznaczonych w trakcie realizacji badań, z wynikami pozyskanymi w trakcie analizy wielokryterialnej. Stwierdzono, że opracowany model jest adekwatny rzeczywistości. Wzrost wartości wskaźników reprezentatywnych odzwierciedla obniżenie stanu bezpieczeństwa działania środków transportu, co przedstawiono w rozdziale 8.2 pracy.

- Z badań eksploatacyjnych zrealizowanych w analizowanym systemie transportu drogowego wynika, że stan zdatności środków transportu eksploatowanych w tym systemie stanowi przyczynę powstawania zdarzeń drogowych w około 30 % przypadków.

- Na podstawie wyników zrealizowanych badań eksploatacyjnych wyznaczono istotność poszczególnych podsystemów analizowanych środków transportu. Dowiedziono, że podsystemem najistotniejszym którego uszkodzenie ma największy wpływ na powstawanie zdarzeń drogowych jest podsystem hamulcowy.

- Zaproponowana w pracy metoda stanowi kompleksową ocenę bezpieczeństwa działania systemu transportowego. Składowe części opracowanego algorytmu stanowią podstawę do opracowania odrębnych metod oceny wpływu oddziaływań poszczególnych czynników wymuszających mających wpływ na poziom bezpieczeństwa działania analizowanego systemu.

- Opracowana metoda oceny bezpieczeństwa działania systemów transportowych jest uniwersalna i może być zastosowana do oceny bezpieczeństwa działania różnego typu systemów transportu drogowego, a po pewnych modyfikacjach można ją również zastosować do oceny bezpieczeństwa działania systemów transportowych takich jak np.: systemy transportu wodnego i lotniczego.

- Istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań eksploatacyjnych w celu identyfikacji wszystkich relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi elementami badanego systemu transportowego.

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy Bydgoszcz (1) BIBLIOTEKA GŁÓWNA

10. LITERATURA

[1] AFULICK J.L., HAHN H.A., MORZINSKI J.A.: *Development of a prototype knowledge-based system for estimating human error probabilities.* Safety and Realiability. Proceedings of the European conference on safety and reliability - ESREL 98

[2] Auto EXPERT: *Budowa i eksploatacja pojazdów* - część pierwsza. Vogel Business Media Wrocław 2005.

[3] BARSZCZ P., LEWITOWICZ J., URBAŃSKI M., WOŁKOWSKI W.: *Algorytmy, określenia i definicje ważniejszych terminów z zakresu bezpieczeństwa lotów.* Informator Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych 354/99, Warszawa 1999.

[4] BEDNARCZYK H., LESZEK W., WOJCIECHOWICZ B.: *Relacje edukacyjne człowiek – maszyna.* Instytut Technologii Eksploatacji Radom 1995

[5] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T.: *Trajektoria efektywności bezpieczeństwa użytkowania systemu antropotechnicznego.* Materiały na VI sympozjum bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 1 Kiekrz 1996

[6] BĘDKOWSKI L.: *Elementy diagnostyki technicznej.* Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa 1991

[7] BIZON - GÓRECKA J.: *Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie – ryzyka uniwersalne i specyficzne.* Wydawnictwo Towarzystwa Naukowego Organizacji i Kierownictwa. Bydgoszcz 2003

[8] BOBROWSKI D.: *Metody probabilistyczne w modelowaniu bezpieczeństwa systemów.* Informator Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych 260/86 Warszawa 1986.

[9] BOJAR P.: *Analiza zawodności bezpieczeństwa wybranego obiektu technicznego.* Czasopismo techniczne mechanika z.3-M/2005. WPK Kraków 2005

[10] BORGOŃ J., JAŹWIŃSKI J., KLIMASZEWSKI S., ŻMUDZIŃSKI Z., ŻUREK J.: *Symulacyjne metody badania bezpieczeństwa lotów.* Wydawnictwo naukowe ASKON Warszawa 1998.

[11] BORGOŃ J.: *Metody analizy niezawodności bezpieczeństwa statku powietrznego w czasie projektowania, prób i badań.* Materiały na kolokwium Niezawodności i Bezpieczeństwa. Informator ITWL Kiekrz 1986.

[12] BRANDOWSKI A.: *Bezpieczeństwo obiektu technicznego – pojęcia.* XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności. Szczyrk 2006

[13] BUKOWSKI L., FELKIS J., SMALKO Z.: *Analiza niezawodności systemów podwyższonego ryzyka.* XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności – Szczyrk 2007

[14] CARPIGNANO A., PICCINI M., CACIABUE P.C.: *Human reliability for the safety assessment of a thermoelectric power plant.* Safety and Realiability. Proceedings of the European conference on safety and reliability - ESREL 98

[15] CHATYS P.: *Kształtowanie bezpieczeństwa statku powietrznego na etapie projektowania.* Materiały na VI sympozjum bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 1 Kiekrz 1996

[16] CHMURA W., MALARSKI M.: *Problemy określania poziomu bezpieczeństwa ruchu lotniczego dla instytucji świadczących usługi żeglugi powietrznej.* Materiały XXXV Zimowej |Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2007.

[17] CHMURA W., MALARSKI M.: *Wpływ czynnika ludzkiego na błędy operacyjne w ruchu lotniczym.* Materiały XXXVI Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2008.

[18] CHODKOWSKI W. A.: *Budowa modeli systemu pojazd – operator. Materiały szkoły zimowej.* Ośrodek Postępu Technicznego, Katowice 1979.

[19] CHRISTIANSEN H. C., HANSEN E.: *Rating Systems and Checklist as Tools in Development and Implementation of Environmental and Safety Management Systems.* Proceedings of the ESREL International Conference on Safety and Reliability. Lisbon 1997

[20] CICHOCKI R.: *Bezpieczeństwo w transporcie drogowym.* Wydawnictwo Fundacji Humaniara. Poznań 2004

[21] CZAJGUCKI J.Z., ZIEMBA S.: *Utrzymanie ruchu a niezawodność i bezpieczeństwo statku morskiego.* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Zeszyt 4 (88) 1991.

[22] CZOGOŁA E., PEDRYCZ W.: *Elementy i metody teorii zbiorów rozmytych.* PWN Warszawa 1985.

[23] GERIGK M.: *Formalna metoda oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym na podstawie analizy przyczyn i skutków wypadków.* XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności. Szczyrk 2005.

[24] GIDLEWSKA K., PROCHOWSKI L.: *Bezpieczeństwo ruchu drogowego – problem młodych kierowców.* Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej. Warszawa 2007.

[25] GOŁĄBEK A., OZIEMSKI S.: *Bezpieczeństwo maszyn w ujęciu systemowym.* Materiały seminarium naukowego nt. Bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 1 Kiekrz 1994

[26] GOŁĄBEK A., PRZYSTUPA W.: *Diagnozer systemu bezpieczeństwa.* Informator ITWL Zeszyt 1. III Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów Szczyrk 1995.

[27] GOŁĄBEK A.: *Niezawodność autobusów. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1993*

[28] GRONOWICZ J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym.* Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Poznań – Radom 2003.

[29] GRZYWACZ W., BURNEWICZ J.: *Ekonomika transportu.* WKiŁ, Warszawa 1989

[30] GRZYWACZ W.: *Rynek usług transportowych.* WKiŁ, Warszawa 1980

[31] GUZEK M., JURECKI R., LOZIA Z., STAŃCZYK T.L.: *Badania kierowców na torze i w środowisku wirtualnym.* V konferencja naukowo – techniczna Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych. Kielce 2006

[32] GUZEK M.: Be*zpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce – stan aktualny, podstawowe charakterystyk*i. Materiały na VI sympozjum bezpieczeństwa systemów. Kiekrz 1996r. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.

[33] HANN M., ROSOCHACKI W.: *Bezpieczeństwo maszyn z długimi cięgnami zanurzającymi obiekty podwodne.* Materiały seminarium naukowego nt: Bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 1 Kiekrz 1994

[34] HEMPEL L.: *Człowiek i maszyna, model techniczny współdziałania.* WKiŁ Warszawa 1984

[35] HORNIG A., DZIADEK S.: *Zarys geografii transportu lądowego.* PWN, Warszawa 1987

[36] HRYNIEWICZ O.: *Niezawodnościowy model systemu obiekt techniczny – operator.* Materiały szkoły zimowej. Ośrodek Postępu Technicznego, Katowice 1979.

[37] Informator techniczny BOSH: *Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe.* WKiŁ Warszawa 2006

[38] JACOBSON P., PYY P.: *Human reliability assessment by using an expert judgement methodology.* Safety and Realiability. Proceedings of the European conference on safety and reliability - ESREL 98

[39] JAŹWIŃSKI J., FIOK – WARZYŃSKA K.: *Niezawodność systemu z nadmiarem funkcjonalnym w aspekcie bezpieczeństwa.* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Zeszyt 1-2 (57-58) 1984 r.

[40] JAŹWIŃSKI J., WAŻYŃSKA – FIOK K.: *Bezpieczeństwo systemów.* PWN, Warszawa 1993.

[41] JAŹWIŃSKI J., WAŻYŃSKA – FIOK K.: *Niezawodność bezpieczeństwa systemów.* Materiały na kolokwium Niezawodności Bezpieczeństwa. Kiekrz 1986.

[42] JAŹWIŃSKI J.: *Psychologiczne problemy bezpieczeństwa pracy z uwzględnieniem problemów niezawodności.* Informator Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych 244/84. Wisła 1984

[43] JEDLIŃSKI R. JAZDON A. ŻÓŁTOWSKI B. - *Metodyka w okruchach: seminarium dyplomowe : metodyka pisania pracy dyplomowej.* Bydgoszcz 1994

[44] JETHON Z.: *Fizjologiczne aspekty niezawodności działania człowieka w układzie operator – maszyna – środowisko.* Materiały szkoły zimowej. Ośrodek Postępu Technicznego, Katowice 1979.

[45] KACPRZYK J.: *Zbiory rozmyte w analizie systemowej.* PWN Warszawa1986

[46] KARA-ZAITRI C., FLEMING P.V.: *Applications of Fuzzy Inference Methods to Failure Modes Effects and Criticality Analysis*. Proceedings of the ESREL International Conference on Safety and Reliability. Lisbon 1997

[47] KINOWSKI A., PIĄTEK M., SADOWSKI P.: *Normowanie bezpieczeństwa w systemach zarządzania ruchem lotniczym*. Materiały XXXV Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2007.

[48] KLICH E.: *Using the James reason theory In air events study*. Journal of KONBiN, no 4 (7), Warsaw 2008

[49] KUBALSKI J., MAZUR T.: *Komunikacja miejska*. WKiŁ, Warszawa 1980

[50] LANDOWSKI B., KNOPIK A., NEUBAUER A.: Sterowanie niezawodnością w systemach transportowych. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Bydgoszcz-Radom 2004.

[51] LEMSKI J. *Modele zmian stanu technicznego urządzeń*. Zagadnienia eksploatacji maszyn. Zeszyt 1 (125) 2001

[52] LENKIEWICZ W., JASICA G.: *Problemy doboru operatora w aspekcie realizacji zadania przez obiekt*. Informator Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych 260/86 Warszawa 1986.

[53] LOOTSMA F.A.: *Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART*, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis nr. 2 1993

[54] LUBCZYŃSKI M., ZUSKA A.: *Przewozy międzynarodowe pojazdami samochodowymi*. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1998

[55] ŁOMAKO D. M., STAŃCZYK T. L., GRZYB J.: *Pneumatyczne układy hamulcowe w pojazdach samochodowych*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej Kielce 2002.

[56] MADEYSKI M., LISOWSKA E., MORAWSKI W.: *Transport, rozwój i integracja*. WKiŁ, Warszawa 1975

[57] MARKOV A.: *Theory of algorithms*. National Science Foundation, Washington 1961.

[58] MICHALSKI R.: *Problemy bezpieczeństwa eksploatacji maszyn rolniczych*. Materiały na VI sympozjum bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 2 Kiekrz 1996.

[59] MIGDALSKI J.: *Zastosowania modeli progowych do zagadnień bezpieczeństwa systemów.* Materiały na VI sympozjum bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 1 Kiekrz 1996

[60] MŁYŃCZAK M.: *Analiza ryzyka w transporcie i przemyśle.* Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław1997

[61] MORAWSKI J.: *Metody analizy, oceny działania i niezawodności systemów człowiek – maszyna.* Materiały szkoły zimowej. Ośrodek Postępu Technicznego, Katowice 1979.

[62] ORZEŁOWSKI S.: *Budowa podwozi i nadwozi samochodowych.* WSiP Warszawa 1999.

[63] ORZEŁOWSKI S.: *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów.* WNT Warszawa 1995.

[64] OZIEMSKI.: *Człowiek w maszynie.* Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2004.

[65] PAJĄK M., MUŚLEWSKI Ł.: *Analiza możliwości zastosowania logiki rozmytej w ocenie jakości działania systemów.* Zastosowania teorii systemów. Problemy inżynierii mechanicznej i robotyki nr 3, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH, Krakow 2005.

[66] PAJĄK M., MUŚLEWSKI Ł.: *Rozmyty model oceny jakości działania złożonego systemu eksploatacji.* X jubileuszowy Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, ITeE, Radom – Stare Jabłonki 2005.

[67] PAWŁOWSKI M.: *Obserwacje zachowań uczestników ruchu drogowego jako przedwypadkowa metoda oceny poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego.* Materiały Krajowej Konferencji nt.: Metod oceny i sposobów Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Bydgoszcz 1999.

[68] PISKOZUB A.: *Gospodarowanie w transporcie.* WKiŁ, Warszawa 1979

[69] PN – EN 61025 *Analiza drzewa niezdatności (FTA)*

[70] PN – IEC 60300 – 3 – 9 *Analiza ryzyka w systemach technicznych.*

[71] PN-72/M-78000 *Transport. Określenia podstawowe i podział.*

[72] PN-72/M78001 *Środki transportowe. Określenia podstawowe i podział.*

[73] PN-77/N-04005 *Niezawodność w technice. Wskaźniki niezawodności. Nazwy, określenia i symbole.*

[74] PN-77/N-04010 *Niezawodność w technice. Wybór wskaźników niezawodności.*

[75] PN-80 N-08001 *Dane ergonomiczne do projektowania. Granice zasięgu rąk – wymiary.*

[76] PN-81 N-08002 *Dane ergonomiczne do projektowania. Granice ruchu stopy – wymagania kątowe.*

[77] PN-82/N-05001 *Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna.*

[78] PN-86/M-47015 *Dopuszczalny poziom i metody badań hałasu na stanowisku operatora.*

[79] PN-89/S-47010 *Pojazdy drogowe. Autobusy. Wymagania podstawowe.*

[80] PN-90 S-47013 *Samochody ciężarowe, autobusy i trolejbusy. Miejsce pracy kierowcy – wymagania.*

[81] PN-EN 18002. *Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego*

[82] PN-EN 292-1 *Maszyny. Bezpieczeństwo. Zasady oceny ryzyka*

[83] PN-IEC 300-3-2, 1996 *Zbieranie danych o niezawodności w warunkach eksploatacji (zarządzanie niezawodnością).*

[84] PN-IEC 60300-3-9, 1999 *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Analiza ryzyka w systemach technicznych*

[85] PN-IEC 60300-3-9,. *Analiza ryzyka w systemach technicznych. Wydawnictwa Normalizacyjne.* Warszawa 1999.

[86] PN-IEC 61882 *Badania zagrożeń i zdolności do działania (badania HAZOP) – przewodnik zastosowań*

[87] PN-IEC 812, 1994 *Techniki analizy nieuszkadzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń.*

[88] PN-ISO 10968:2000 *Elementy sterownicze dla operatora.*

[89] PN-ISO 3411:1998 *Wymiary operatorów i minimalna przestrzeń wokół operatora.*

[90] PN-ISO 5006-1-3:1997 *Widoczność ze stanowiska operatora.*

[91] PN-N-18002 *Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego*

[92] Praca zbiorowa pod redakcją A. PISKOZUBA: *Ekonomika transportu.* WKiŁ, Warszawa 1979

[93] Praca zbiorowa pod redakcją Ryszarda MICHALSKIEGO: *Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego na Warmii i Mazurach.* Biuletyn WR BRD nr 1/2003, Olsztyn 2003.

[94] Praca zbiorowa pod redakcją T. SZCZEPANIKA: *Transport i spedycja międzynarodowa.* PWE, Warszawa 1996

[95] Praca zbiorowa pod redakcją Tomasza SZCZURASZKA: *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego.* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2005.

[96] Praca zbiorowa pod redakcją W. RYDZKOWSKIEGO i K. WOJEWÓDZKIEJ-KRÓL: *Transport.* PWN, Warszawa 1998

[97] Praca zbiorowa pod redakcją Wiesława PAMUŁY: *Bezpieczeństwo w ruchu drogowym i w transporcie lotniczym.* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2008

[98] Praca zbiorowa: *Poradnik inżyniera samochodowego. Elementy i materiały.* WKiŁ, warszawa 1990.

[99] PROCHOWSKI., UNARSKI J., WACH W., WICHER J.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych.* WKiŁ. Warszawa 2008

[100] RADECKI H., SMALKO Z., SUPRONOWICZ R.: *Model wpływu procesów termodynamicznych w organizmie człowieka na jego niezawodność.* Niezawodność systemów Człowiek – Obiekt Techniczny. Materiały Szkoły Zimowej. Katowice 1979

[101] RADKOWSKI S.: *Podstawy bezpiecznej techniki.* Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.

[102] RATAJCZAK Z.: *Problemy pracy człowieka – operatora w sytuacjach trudnych prowadzących do zagrożenia bezpieczeństwa.* Materiały na kolokwium Niezawodności Bezpieczeństwa. Kiekrz 1986.

[103] REŃSKI, A.: *Budowa samochodów: Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia* Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej. Opole 2004.

[104] RYCHTER T.: *Budowa pojazdów samochodowych.* WSiP Warszawa 1999.

[105] RYCHTER T.: *Mechanik pojazdów samochodowych.* WSiP Warszawa 1999.

[106] SAATY T.L,: *The Analytic Hierarchy Procces, Planing, Priority Setting and Resource Allocation.* New York, McGraw-Hill 1980

[107] SCHNEEWEISS W. G.: *Better Fault Tree Analysis Via Sequential Modularization.* Proceedings of the ESREL International Conference on Safety and Reliability. Lisbon 1997

[108] SIENKIEWICZ P.: *Analiza ryzyka w procesie wartościowania i podejmowania decyzji rozwojowych.* Materiały seminarium naukowego nt. Bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 2 Kiekrz 1994.

[109] SIENKIEWICZ P.: *Teoria i inżynieria bezpieczeństwa systemów.* XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności. Szczyrk 2006

[110] SIERGIEJCZYK M.: *Zarys metody wykrywania czynników kształtujących bezpieczeństwo systemów transportowych.* Materiały seminarium naukowego nt. Bezpieczeństwa Systemów. Informator ITWL Kiekrz 1994.

[111] SKŁODOWSKI H.: *Psychologia kierowcy samochodowego – na podstawie sprawozdania z badań własnych.* Wydawnictwo Adam Marszałek. Toruń 2003

[112] SKUZA L.: *Co warto wiedzieć o ryzyku zawodowym.* Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr Sp. z o.o. Gdańsk 2001

[113] SŁOMKA A.: *Ryzyko zawodowe.* Ośrodek Szkolenia Państwowej Inspekcji Pracy. Wrocław 2004

[114] SŁOMKA A.: *Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy.* Ośrodek Szkolenia Państwowej Inspekcji Pracy. Wrocław 2004

[115] Słownik Języka Polskiego. PWN Warszawa 1998.

[116] Słownik Wyrazów Obcych. PWN, Warszawa 1991

[117] SMALKO Z., JAŹWIŃSKI J.: *Wybrana niekonwencjonalna metoda oceny niezawodności i bezpieczeństwa systemów technicznych w warunkach niepewności.* Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności. XXXIV ZIMOWA SZKOŁA NIEZAWODNOŚCI – SZCZYRK 2006.

[118] SMALKO Z.: *Charakterystyki spolegliwości układu Człowiek - Maszyna - Otoczenie.* XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności - Szczyrk 2007.

[119] SMALKO Z.: *Relacje między pojęciami bezpieczności i bezpieczeństwa w układach technicznych.* Materiały Sympozjum Bezpieczeństwa w Transporcie Morskim. Gdynia 2007

[120] SMALKO Z.: *Studium doktoranckie podstawowe terminy-alfabetycznie.*

[121] SMALKO Z.: *Wstępne studium problematyki badawczej dyscypliny naukowej transport.* Komitet Transportu PAN, Warszawa 1998

[122] SOREL V., CHARDONNET H., TACHON H.: *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method adapted to a safety-critical software study.* Safety and Realiability. Proceedings of the European conference on safety and reliability - ESREL 98

[123] STAROWICZ W.: *Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym.* Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2007.

[124] STASIAK J.: *Bezpieczeństwo statku morskiego* – cz. II. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Zeszyt 4 (84) 1990.

[125] SUCHODOLSKI S. – *Pojęcie i miary bezpieczeństwa w piśmiennictwie światowym.* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn – zeszyt 2 (102) 1995 Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa.

[126] SZCZURASZEK T.: *Badanie zagrożeń w ruchu drogowym.* Wydawnictwo Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN Warszawa 2005.

[127] SZOPA T.: *Drzewo pojęć i terminów nauki o bezpieczeństwie.* Materiały seminarium naukowego nt. Bezpieczeństwa systemów. Informator ITWL Zeszyt 1 Kiekrz 1994.

[128] SZOPA T.: *Metody jakościowych i ilościowych działań na rzecz bezpieczeństwa człowiek – obiekt techniczny.* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Zeszyt 4 (84) 1990 r.

[129] SZOPA T.: *Wybrane problemy nauki o bezpieczeństwie.* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Zeszyt 1(129) 2002.

[130] SZPYTKO J., KOCERBA A.: *Wybrane aspekty bezpieczeństwa i niezawodności rozproszonych środków transportu.* Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Kraków – Radom 2008.

[131] SZPYTKO J.: *Kształtowanie bezpieczeństwa w systemach operator - środek transportu.* Transport przemysłowy - maszyny i urządzenia.

[132] SZPYTKO J.: *Kształtowanie procesu eksploatacji Środków transportu bliskiego.* ITeE, Kraków – Radom 2004.

[133] SZYDERSKI Z.: *Sprzęgła, hamulce i przekładnie hydrokinetyczne.* WKiŁ Warszawa 1993.

[134] TERELAK J.: *Psychologiczne problemy niezawodności człowieka na przykładzie optymalizacji bezpieczeństwa pracy pilota.* Materiały kolokwium nt. Niezawodność systemu Obiekt Techniczny – Człowiek. Informator ITWL Wisła 1984

[135] THOMSON J. M.: *Nowoczesna ekonomika transportu.* WKiŁ, Warszawa 1978

[136] TYLICKI H.: *Optymalizacja systemu antropotechnicznego.* Materiały XXXVII Zimowej |Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2009.

[137] VIVALDA C.: *An approach to human error analysis during steering and manoeuvringof fast ferries.* Safety and Realiability. Proceedings of the European conference on safety and reliability - ESREL 98

[138] VON WINTERFELDT D., EDWARDS W.: *Decision analysis and behavioral research*, Cambridge University Press 1986

[139] WARZYŃSKA – FIOK K, JAŹWIŃSKI J.: *Niezawodność systemów technicznych.* PWN, Warszawa 1990.

[140] WASON P.: P*sychological aspects of negation.* Communication Research Centre, University Collage, London 1962.

[141] WHEATLEY D., UNWIN A.: *Algorytmy* Państwowe wydawnictwo ekonomiczne. Warszawa 1975.

[142] WICHER J.: *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego.* Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Wydanie 2, Warszawa 2004 .

[143] WINTER W., ŻÓŁTOWSKI B.: *Czynniki techniczne w ryzyku powstawania wypadków drogowych.* Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2006

[144] WOROPAY M, KNOPIK A., LANDOWSKI B.: *Modelowanie procesów eksploatacji w systemie transportowym.* ITE, Bydgoszcz – Radom 2001

[145] WOROPAY M., BOJAR P., HOPPE G.: *Proposal of a method to evaluate safety of the road transport systems operation.* Journal of Konbin. Safety and Reliability Systems. Wrocław 2008

[146] WOROPAY M., BOJAR P., MIGAWA K.: *Metoda oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego.* Rozdział w monografii Zastosowania teorii systemów. Kraków 2007

[147] WOROPAY M., BOJAR P., MIGAWA K.: *The algorithm of the estimate of safety working of the road transport system.* 12th Internantional scientific seminar on developments in machinery design and control vol.10 (2008) Bydgoszcz Branch 2008.

[148] WOROPAY M., BOJAR P., WDZIĘCZNY A.: *Ocena wpływu uszkodzeń autobusów komunikacji miejskiej na bezpieczeństwo ludzi znajdujących się w systemie miejskiej komunikacji autobusowej.* Problemy jakościowe energetyczne i eksploatacyjne w maszynach cieplnych. Duszniki Zdrój 2006

[149] WOROPAY M., BOJAR P., WDZIĘCZNY A.: *Wpływ infrastruktury drogi na bezpieczeństwo ruchu drogowego.* Zeszyty naukowe Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2008

[150] WOROPAY M., BOJAR P., WDZIĘCZNY A.: *Zastosowanie drzewa zdarzeń do analizy zagrożeń w systemie Człowiek-Obiekt Techniczny-Otoczenie.* Postępy w konstrukcji i sterowaniu. Bydgoszcz 2005

[151] WOROPAY M., BOJAR P.: *Analiza i ocena uszkodzeń wybranych podsystemów autobusów oraz ich wpływu na zagrożenia w miejskim systemie transportowym.* Archiwum motoryzacji 2/2007

[152] WOROPAY M., BOJAR P.: *Analiza przyczyn powstawania zagrożeń w systemach transportu drogowego.* Zeszyty naukowe problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych. Wydawnictwo Politechniki Swiętokrzyskiej. Kielce 2008. Kielce 2006

[153] WOROPAY M., BOJAR P.: *Analiza zawodności bezpieczeństwa systemów transportowych.* Postępy w konstrukcji i sterowaniu. Bydgoszcz 2005

[154] WOROPAY M., BOJAR P.: *Evaluation of the effects of weather conditions on the transport system safety.* KONBIN 2006

[155] WOROPAY M., BOJAR P.: *Ocena stopnia ryzyka w komunikacji miejskiej.* Materiały konferencji Diagnostyka maszyn roboczych i pojazdów. Borówno 2005

[156] WOROPAY M., BOJAR P.: *Ocena wpływu oddziaływań ludzi usytuowanych w systemach transportu drogowego na bezpieczeństwo ich działania.* Zimowa Szkoła Nizawodności. Szczyrk 2009

[157] WOROPAY M., BOJAR P.: *Structuring of the safety evaluation model for the road transport system.* International scientific congress on powertrain and transport means. European Kones 2008

[158] WOROPAY M., BOJAR P.: *Vehicle operator as a threat source.* International scientific congress on powertrain and transport means European Kones 2007.

[159] WOROPAY M., MUŚLEWSKI Ł.: *Jakość w ujęciu systemowym.* Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Bydgoszcz – Radom 2005

[160] WOROPAY M., SZUBARTOWSKI M., MIGAWA K.: *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu wykonawczego w systemie transportowym.* ITE, Bydgoszcz – Radom 2003

[161] WOROPAY M., ŻUREK J., MIGAWA K.: *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym.* ITE, Bydgoszcz – Radom 2003

[162] Zielińska A.: CARE – *Europejska Baza Danych o Wypadkach Drogowych.* Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego nr 3/2004 – kwartalnik motoryzacyjny Instytutu Transportu Samochodowego Warszawa 2004.

[163] ŻÓŁTOWSKI B. - *Seminarium dyplomowe: zasady pisania prac dyplomowych.* Wydawnictwo Uczelniane ATR Bydgoszcz 1997

Biblioteka Główna UTP w Bydgoszczy
D 355