



**MODEL OCENY GOTOWOŚCI POJAZDÓW SPECJALNYCH
W SYTUACJACH KRYZYSOWYCH**
***SPECIAL VEHICLES READINESS EVALUATION MODEL
AT CRISIS SITUATIONS***

Jan FIGURSKI, Artur KOŁOSOWSKI, Ewa STERNICZUK, Jarosław ZIÓLKOWSKI
Wydział Logistyki, Wojskowa Akademia Techniczna
Military University of Technology, Faculty of Logistics

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia związane z systemem zarządzania kryzysowego, w tym sposób informowania i reagowania w momencie wystąpienia nagłego i niepożądanego zdarzenia. Zdefiniowano pojęcie oraz rodzaje stanów gotowości (gotowość funkcjonalna, początkowa, operacyjna, zadaniowa, potencjalna) oraz zaproponowano ocenę gotowości pojazdów używanych przez służby w sytuacjach kryzysowych.

Słowa kluczowe: sytuacje kryzysowe, eksploatacja, gotowość pojazdu.

1. Wstęp

Państwo w aspekcie bezpieczeństwa wewnętrznego musi być przygotowane na zróżnicowane zagrożenia zarówno pochodzenia naturalnego, jak również wynikające z niepożądanych działań człowieka, np. powodzie, epidemie, susze, pożary, a także zakłócenia w dostawach paliw płynnych, energii elektrycznej, zagrożenia terrorystyczne, wojny, itp. Zazwyczaj są to przypadki, które nie były wcześniej prognozowane oraz powodują ogromne straty materialne i finansowe, dlatego określa się je jako kryzysowe. Pojawienie się zagrożenia wymaga podejmowania szybkich i trafnych decyzji przez organy państwowe i stosowne służby. Mają one na celu ochronę ludności, środowiska oraz zapewnienie sprawnego funkcjonowania organów administracji państwowej.

Abstract: Some issues of a crisis management system including ways of informing and reacting in case of a sudden and unwanted event are presented in the paper. Moreover the notion of categories of readiness statuses (initial, operational, task, potential and functional readiness) is defined together with a proposed evaluation of vehicles used by services at crisis situations.

Keywords: crisis situations, exploitation, vehicle readiness.

1. Introduction

The state in the aspect of internal security has to be prepared to different threats of both natural origin and those resulting from the undesirable activities of people e.g. floods, epidemics, draughts, fires and also disturbances in supplies of liquid fuels, electric energy, terroristic threats, wars, etc. Such cases are usually not predictable and as they cause huge material and financial loses they are named as crisis ones. The existence of threats requires making up rapid and appropriate decisions by state institutions and relevant services. They are designed to protect the population, environment and to provide efficient functionality of state administration institutions.

In order to react quickly and effectively

Aby szybko i sprawnie zareagować w chwili wystąpienia sytuacji kryzysowej, podmioty uczestniczące w akcjach ratunkowych muszą być w pełnej gotowości operacyjnej, którą tworzą ludzie i sprzęt służący do wykonywania założonych zadań. Jednym z elementów gotowości operacyjnej są pojazdy eksploatowane przez służby np. policję, straż pożarną, pogotowie ratunkowe, czy też wojsko. Ich gotowość wpływa na sprawność przebiegu akcji ratunkowej.

Aby ocenić gotowość pojazdów, należy określić zbiór możliwych stanów eksploatacyjnych, w jakich dany pojazd przebywa i na ich podstawie opracować model oceny gotowości. Umożliwi to uniknięcie sytuacji, kiedy w razie potrzeby będą one niezdadne do podjęcia i realizacji zadań.

2. System zarządzania kryzysowego

Sytuacje kryzysowe, zgodnie z ustawą dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, określa się jako zdarzenia wpływające negatywnie na poziom bezpieczeństwa ludzi i mienia w znacznych rozmiarach lub środowiska, wywołujące duże ograniczenia w działaniu właściwych organów administracji publicznej ze względu na adekwatność posiadanych sił i środków¹.

W Polsce z największym prawdopodobieństwem mogą wystąpić następujące sytuacje kryzysowe: powódź, protesty społeczne, śnieżyce, huragany. Natomiast w zbiorze tych, których skutki są najbardziej odczuwalne znajdują się: powodzie, epidemie, skażenia chemiczne i ograniczenia dostaw gazu (rys. 1).

Powyższe zdarzenia niosą za sobą ogromne szkody materialne i finansowe, często doprowadzając do pozbawienia obywateli państwa dorobku całego życia. Nie da się ich uniknąć całkowicie, ale można wprowadzić system działania, który określa sposób postępowania przed, w trakcie i po zaistnieniu danego zdarzenia kryzysowego. Z tego powodu wprowadzono działania, określone jako system zarządzania kryzysowego, do którego należą:

- zapobieganie zdarzeniom kryzysowym,
- przygotowywanie do przejmowania nad nimi

at crisis situations the subjects participating at rescue operations have to possess full operational readiness that is created by personnel and the equipment used to perform the assumed tasks. One of the components of operational readiness consists of the vehicles used by the police, fire rescue, ambulance service and also the military. Their readiness has direct impact into rescue operation.

In order to assess the standby level of vehicles the set of possible exploitation statuses has to be specified for a vehicle and basing on it a model evaluating the standby level may be prepared. It can help to avoid a situation when they are technically inefficient to undertake the performance of tasks.

2. Systems of crisis management

According to the law from 26 April, 2007 on crisis management the crisis situations are specified as the events which have significantly negative impact into the safety level of people, property and environment by causing serious restrictions of activities of relevant public administration institutions because of the adequacy of possessed assets and means³.

In Poland there are following most possible crisis situations: flood, social riots, heavy snow fall and cyclones. The set of those which results are the most perceptible includes: floods, epidemics, chemical pollutions and limitations of gas supplies (figure 1).

The above events bear huge material and financial loses which often deprive the citizens of entire life work. It is not possible to eliminate them totally but an operating system may be implemented which specifies the system of actions prior, during and after particular crisis events. For this reason the following actions were implemented which are called as crisis management system:

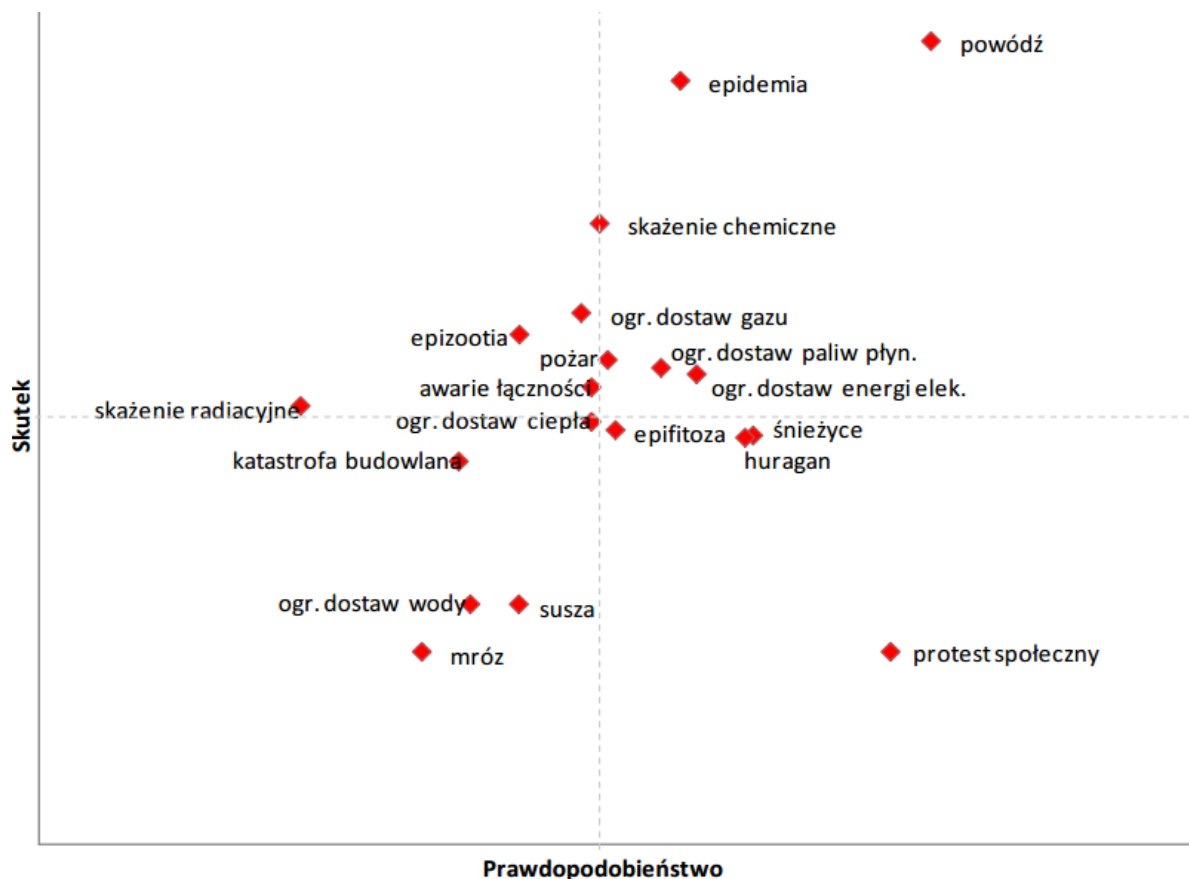
- Prevention of crisis events
- Preparation for taking control over

¹ Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym.

³ The law on crisis management from 26 April, 2007.

- kontroli w drodze zaplanowanych działań,
- reagowanie w przypadku wystąpienia takich sytuacji,
 - usuwanie ich skutków oraz odtwarzanie zasobów i infrastruktury krytycznej².

- them in the way of planned actions
- Reaction against these situations
 - Elimination of their results and reconstruction of resources and critical infrastructure⁴.



Rys. 1. Uśredniona ocena ryzyka zagrożeń spowodowanych siłami natury oraz awariami technicznymi w Polsce

[<http://rcb.gov.pl/wp-content/uploads/KPZK-cz.1.pdf>, (stan na 10.04.2014 r.).]

Figure 1. Average evaluation of the risk of threats caused by the forces of nature and technical failures in Poland

[<http://rcb.gov.pl/wp-content/uploads/KPZK-cz.1.pdf>, (status on 10.04.2014)].

The use of words - znaczenie wyrazów:

prawdopodobieństwo – *probability*, skutek – *effect*, powódź – *flood*, epidemia – *epidemic*, skażenie chemiczne – *chemical pollution*, ograniczenie dostaw gazu – *limitations of gas supply*, epizootia – *epizooties*, pożar – *fire*, ogr. dostaw paliw płynnych – *limitations of liquid fuels supply*, ograniczenie dostaw energii – *limitations of electric energy supply*, awarie łączności – *communication failures*, skażenie radiacyjne – *radioactive pollution*, ogr. dostaw ciepła – *limitations of heat supply*, epifitoza – *epifitoza*, śnieżyce – *snow storms*, huragan – *cyclone*, katastrofa budowlana – *building construction disasters*, ogr. dostaw wody – *limitations of water supply*, susza – *draught*, mróz – *freezing*, protest społeczny – *public riots*.

Szczegółowa procedura postępowania systemem zarządzania kryzysowego zawarta jest

The detailed procedure of action of the crisis management system is included in the National

² Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym.

⁴ The law on crisis management from 26 April, 2007

w Krajowym Planie Zarządzania Kryzysowego, który opracowany jest przez Rządowe Centrum Bezpieczeństwa (RCB). RCB zostało powołane zgodnie z ustawą z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym i jest organem podległym pod Radę Ministrów, Prezesa Rady Ministrów oraz Rządowy Zespół Zarządzania Kryzysowego (RZZK). Jednym z jego zadań jest zapewnienie obiegu informacji pomiędzy krajowymi i zagranicznymi organami. Ponadto na szczeblu krajowym, w momencie wystąpienia zdarzenia kryzysowego, odpowiada ono za sprawny przepływ informacji między wyżej wymienionymi podmiotami oraz między ministrem kierującym działem administracji rządowej (RZZK), wojewodą (WZZK – Wojewódzki Zespół Zarządzania Kryzysowego), starostą (PZZK – Powiatowy Zespół Zarządzania Kryzysowego) i wójtem, bądź burmistrzem (GZZK – Gminny Zespół Zarządzania Kryzysowego). Ponadto instytucje współpracujące ze sobą w tym zakresie mają obowiązek wskazania i utrzymywania dostępnych całodobowych numerów telefonicznych i adresów poczty elektronicznej własnych służb dyżurnych⁵.

System zarządzania kryzysowego w Polsce ma charakter wieloszczeblowy. W jego skład wchodzi następujące elementy:

- organy zarządzania kryzysowego,
- organy opiniodawczo-doradcze,
- centra zarządzania kryzysowego, utrzymujące 24-godzinną gotowość do podjęcia działań⁶.

Obieg informacji w systemie zarządzania kryzysowego został przedstawiony na rys. 2.

W momencie, kiedy zaistnieje zdarzenie kryzysowe, instytucja, która je wykryła, ma obowiązek poinformować o tym wyższe i niższe szczeble zarządzania kryzysowego oraz przekazać informację o działaniach, jakie zostały podjęte, w celu zniwelowania jego skutków.

Na każdym szczeblu administracji państwowej znajduje się podmiot monitorujący infrastrukturę krytyczną, który obejmuje dany teren, tj.:

Crisis management Schedule that is developed by the Government Security Centre (Rządowe Centrum Bezpieczeństwa - RCB). RCB was created according to the law from 26 April, 2007 on crisis management and is an agency subjected to the Board of Ministers, the Prime Minister and the Government Crisis Management Board (Rządowy Zespół Zarządzania Kryzysowego - RZZK). Securing the data run between the national and foreign agencies is one of its tasks. Moreover in the level of the state when the crisis situation occurs it is responsible for the efficient exchange of information between the above mentioned bodies and between the minister who controls the government administrative department (RZZK), the governor of province (WZZK – Wojewódzki Zespół Zarządzania Kryzysowego – Province Crisis Management Board), the chief official of a district (PZZK – Powiatowy Zespół Zarządzania Kryzysowego – District Crisis Management Board) and the chief officer of a group of villages or the mayor (GZZK – Gminny Zespół Zarządzania Kryzysowego – Community Crisis Management Board). Moreover the institutions working together in this domain are obliged to indicate and maintain a system of telephone numbers and emails for own accessible round-the-clock duty system⁸.

The crisis management system has a multilayer character in Poland. It comprises following components:

- Crisis management institutions
- Opinion and advisory institutions
- Crisis management centres operating in 24 hours standby for actions⁹.

The circulation of information in the crisis management system is presented in figure 2.

At the moment of any crisis event happening the institution that detects it will be obliged to inform higher and lower levels of crisis management about it with the information about the steps which were undertaken to liquidate its consequences.

At each level of state administration there is a subject monitoring the critical infrastructure within a specific area i.e.:

- The government - Government Security Centre (RCB)

⁵ <http://rcb.gov.pl>, (stan na 10.04.2014 r.).

⁶ Ibidem.

⁸ <http://rcb.gov.pl>, (status on 10.04.2014).

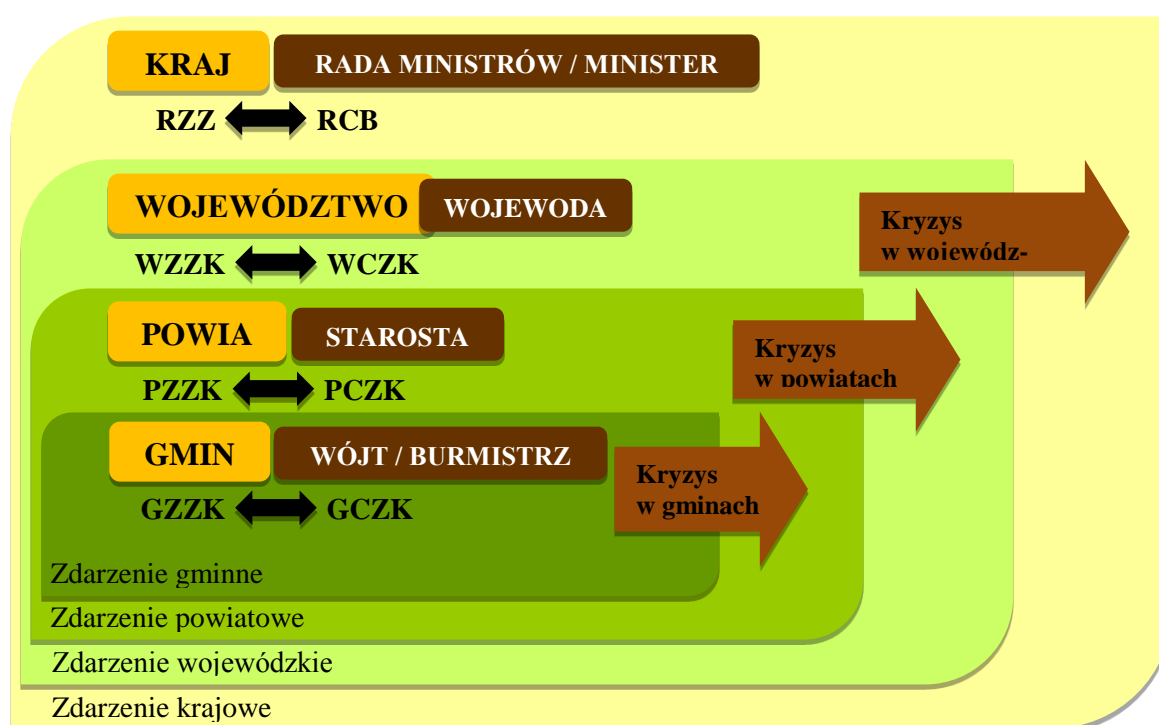
⁹ Ibidem.

- rząd – Rządowe Centrum Bezpieczeństwa (RCB),
- wojewoda – Wojewódzkie Centrum Zarządzania Kryzysowego (WCZK),
- starosta – Powiatowe Centrum Zarządzania Kryzysowego (PCZK),
- wójt/burmistrz – Gminne Centrum Zarządzania Kryzysowego (GCZK).

Bez względu na to, na jakim terenie kraju zostanie wykryte zagrożenie, wszystkie raporty spływają do Rządowego Centrum Bezpieczeństwa⁷.

- The governor – Province Crisis Management Centre (Wojewódzkie Centrum Zarządzania Kryzysowego - WCZK)
- The chief official of a district – District Crisis Management Centre (Powiatowe Centrum Zarządzania Kryzysowego - PCZK)
- The chief officer of a group of villages/ the mayor – Community Crisis Management Centre (Gminne Centrum Zarządzania Kryzysowego - GCZK).

Regardless where any threat is detected in the country all reports go to the Government Security Centre¹⁰.



Rys. 2. Model organizacji powiadamiania i reagowania kryzysowego

Źródło: http://rcb.gov.pl/?page_id=489, (stan na 10.04.2014 r.)

Figure 2. Model of crisis information circulation and reaction

Source: http://rcb.gov.pl/?page_id=489, (status on 10.04.2014)

The use of words - znaczenie wyrazów:

Kraj – Rada Ministrów / State – Board of Ministers/ Minister of Internal Affairs

Województwo – wojewoda - kryzys w województwach / Province – Governor – Crisis in Provinces

Powiat- starosta – kryzys w powiatach / District – the Chief Official of District – Crisis in Districts

Gmina – wójt/burmistrz – kryzys w gminach / Community – the Chief Officer of Group of Villages / Mayor – Crisis in Communities

Zdarzenie gminne / Community event

Zdarzenie powiatowe / District event

Zdarzenie wojewódzkie / Province event

Zdarzenie krajowe / State event

⁷ <http://rcb.gov.pl>, (stan na 10.04.2014 r.).

¹⁰ <http://rcb.gov.pl>, (status on 10.04.2014).

3. Pojęcie i rodzaje gotowości

Gotowość, w odniesieniu do pojazdów wykorzystywanych przez służby w sytuacjach kryzysowych, definiuje się jako zdolność do wykonania danego zadania w czasie losowym. Gotowość ta jest tym większa, im krótszy jest czas przystąpienia do realizacji zadania. W kontekście ilościowym gotowość pojazdów wyznacza się w oparciu o odpowiednie miary, pozwalające przeprowadzić jej ocenę do realizacji danego zadania¹¹.

Niski poziom gotowości to skutek m.in. występowania różnego typu uszkodzeń oraz związana z tym potrzeba wykonywania napraw, co wpływa negatywnie na przebieg realizacji zadania, poprzez nieterminowe wykonanie, aż do całkowitego jego niezrealizowania. Tym samym przekłada się to na straty (często nieodwracalne) ludzkie, materialne, bądź finansowe. Dlatego tak ważne jest, aby utrzymać gotowość możliwie na najwyższym poziomie, nawet kosztem trwałości czy niezawodności.

Miary gotowości umożliwiają ocenę stopnia przebywania pojazdu w stanie zdadności funkcjonalnej, dzięki której pojazd jest w stanie wykonać powierzone mu zadanie w losowej chwili. W tym celu wyodrębnia się szereg różnych stanów eksploatacyjnych, w których znajduje się pojazd¹². Jednakże należy pamiętać, iż w danym czasie może on przebywać tylko w jednym z wyróżnionych stanów.

Stany eksploatacyjne umownie dzieli się na dwie podstawowe grupy, tj.:

- stany gotowości – zbiór stanów, w których pojazd jest zdolny do podjęcia zleconego mu zadania w ustalonym czasie,
- stany niegotowości – zbiór stanów, w których dany pojazd jest niezdolny do rozpoczęcia powierzonego mu zadania w ściśle określonym czasie.

Analizując pojęcie gotowości można wyróżnić następujące jej rodzaje, takie jak:

3. The notion and types of the standby

The standby that concerns the vehicles used at crisis situations by the services is defined as the ability for performing a specific task in the random time. The standby level is higher when the time of undertaking the action is shorter. In the quantitative context the standby of vehicles is determined on the base of relevant measures which enable its assessment for the performance of a particular task¹⁴.

The low level of the standby may result of different defects which have to be repaired what has a negative impact to the fulfilment of the task by causing the delays and even complete failures. Finally it is transformed into the losses (often irreversible) of personnel, material or financial character. This is why the maintenance of the possibly high level of the standby is important even at the cost of durability or reliability.

The measures of the readiness provide the assessment of the vehicle's functional efficiency status needed for the vehicle to perform a designated task at the random moment of time. For this reason a number of different exploitation statuses are discerned for the vehicle¹⁵. It has to be kept in mind that it can possess only one discerned status in the moment.

The exploitation statuses are usually divided on two main groups i.e.:

- Standby statuses – the set of statuses for which the vehicle is able to undertake the commissioned task within the established time
- Off standby statuses – the set of statuses for which the vehicle is unable to start the execution of any assigned task within the strictly specified time.

Analysing the notion of the standby the following ins types may be discerned:

¹¹ M., Woropay, J., Żurek, K., Migawa, *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz – Radom 2003, s. 11.

¹² Ibidem, s.11-12.

¹⁴ M., Woropay, J., Żurek, K., Migawa, *Model of evaluation and forming the operational standby for traffic maintenance subsystem in the transport system* Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz – Radom 2003, s. 11.

¹⁵ Ibidem, s.11-12.

- gotowość początkowa,
- gotowość funkcjonalna,
- gotowość zadaniowa,
- gotowość potencjalna,
- gotowość operacyjna.

Wymienione powyżej rodzaje gotowości składają się na model oceny gotowości operacyjnej systemu transportowego. Jednakże, aby go dokładnie zdefiniować należy wcześniej wyjaśnić co to jest gotowość operacyjna, która opiera się na gotowości zadaniowej i potencjalnej, a te z kolei na gotowości funkcjonalnej i początkowej. Charakterystyka poszczególnych stanów oraz miar gotowości została przedstawiona poniżej¹³.

Gotowość początkowa G_p pojazdów jest to jego zdolność do natychmiastowego przystąpienia do realizacji zadania w losowym czasie T_p (nie dłuższym niż rezerwa czasowa t_g) i w losowym punkcie, będącym w zasięgu jego działania. Przejście z dowolnego stanu eksploatacyjnego pojazdu na stan funkcjonalności możliwe jest jedynie po procesie uzdatniania pojazdu, tj. rozruch, naprawa, obsługa czy zaopatrywanie. Miarą gotowości początkowej jest prawdopodobieństwo zajścia sytuacji polegającej na tym, iż system techniczny po otrzymaniu zadania przystąpi do jego realizacji we właściwym czasie $T_p < t_g$ i w odpowiednim miejscu (przestrzeni), zgodnie z zależnością (1):

$$G_p(t_g) = P(T_p \leq t_g) \quad (1)$$

gdzie:

- $G_p(t_g)$ – gotowość początkowa,
- t_g – określona rezerwa czasowa,
- T_p – czas realizacji zadania.

Gotowość funkcjonalna (techniczna) pojazdu jest to stan, kiedy pojazd jest zdalny, zaopatrzony i może realizować powierzone mu zadanie, bez wcześniejszej prognozy dotyczącej dostatecznie wysokiego poziomu zasobów oraz zachowania zdalności do chwili ukończe-

- Initial standby
- Functional standby
- Assignment standby
- Potential standby
- Operational standby.

Types of the standby listed above create the model of transport system operational standby assessment. In order to define it more precisely earlier a bit more clarification has to be provided for the operational standby which is based on the assignment and potential standbys and they for the turn on the functional and initial standbys. The characteristics of particular statuses and measures of the standby are presented below¹⁶.

The initial standby G_p of vehicles is the ability of immediate start to perform the assignment at the random time T_p (not longer than the time reserve t_g) and in a random site that is within its operational range. The transition from any exploitation status of the vehicle to the status of functionality is only possible after the process of vehicle activation i.e. starting-up, repairing, maintenance servicing or filling. The measure of initial standby is the probability of the situation when the technical system after receiving the assignment starts to the performance of it within the relevant time $T_p < t_g$ and in the relevant site (space) according to the dependence (1):

where:

- $G_p(t_g)$ – initial standby,
- t_g – specified time reserve,
- T_p – assignment performance time.

Functional (technical) standby of the vehicle is the status when the vehicle is efficient, filled and it can perform the assignment without any prior prognosis concerning a suitable level of resources and preserving the efficiency to the moment of

¹³ M., Woropay, M., Szubartowski, K., Migawa, *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu wykonawczego w systemie transportowym*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz – Radom 2003, s. 9-16.

¹⁶ M., Woropay, M., Szubartowski, K., Migawa, *Model of evaluation and forming the operational standby for executive subsystem in the transport system*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz – Radom 2003, s. 9-16.

nia zadania. Oblicza się ją na podstawie współczynnika gotowości technicznej, który wyznacza się wykorzystując poniższy wzór (2):

$$K_{gt} = \frac{T_g(t)}{T_g(t) + \sum_{i \in E_o} T_n(t)} \quad (2)$$

gdzie:

K_{gt} – współczynnik gotowości technicznej,
 $T_g(t)$ – sumaryczny czas użytkowania pojazdu w przedziale czasu t ,

$T_n(t)$ – czasy zaopatrywania, obsługiwanie, napraw oraz przestojów organizacyjnych pojazdu w przedziale czasu t ,

E_o – podzbiór stanów eksploatacyjnych zaopatrywania, obsługiwanie, napraw oraz przestojów organizacyjnych pojazdu.

Gotowość zadaniowa pojazdu jest to zdolność do zrealizowania zadania lub utrzymania stanu zdadności pojazdu, w danym przedziale czasu. Określa się ją za pomocą prawdopodobieństwa, że pojazd będzie zdadny do wykonania zadania w dowolnej chwili oraz posiada potencjał umożliwiający jego wykonanie. Powyższe założenie można obliczyć dzięki następującemu wzorowi (3):

$$G_z(t_z) = P_z(T \geq t_z) \quad (3)$$

gdzie:

$G_z(t_z)$ – gotowość zadaniowa pojazdu,

T – czas zdadności pojazdu,

t_z – prognozowany czas zrealizowania zadania

Gotowość potencjalna $G_{pot}(t_g)$ pojazdu jest uzależniona od wielu jego cech, takich jak np.: nieuszkodzalność, trwałość, naprawialność czy podatność obsługowa. Oblicza się ją na podstawie iloczynu gotowości funkcjonalnej $G_f(t)$ i gotowości początkowej $G_p(t_g)$, przy założeniu, że $t \rightarrow \infty$, zgodnie z zależnością (4):

$$G_{pot}(t_g) = G_f(t) \cdot G_p(t_g) \quad (4)$$

gdzie:

$G_{pot}(t_g)$ – gotowość potencjalna pojazdu,

t_g – określona rezerwa czasowa,

$G_f(t)$ – gotowość funkcjonalna,

$G_p(t_g)$ – gotowość początkowa.

task fulfilment. It is calculated on the base of the technical standby rate by using the below formulae (2):

where:

K_{gt} – coefficient of technical standby,

$T_g(t)$ – aggregated time of using the vehicle within the time period t ,

$T_n(t)$ – times of supplying (filling), maintenance, repairs, and organisational pauses for the vehicle within the period of time t ,

E_o – the subset of exploitation statuses for supplying, maintenance, repairs, and organisational pauses of the vehicle.

The assignment standby of the vehicle is the ability for performing the task or maintaining vehicle's efficiency status within the specific time. It is determined by the probability that the vehicle is able to perform the assignment at any moment of time and has a potential for its performance. The above assumption may be calculated by the following formulae (3):

where:

$G_z(t_z)$ – vehicle assignment standby,

T – vehicle efficiency time,

t_z – prognostic assignment performance time

The potential standby $G_{pot}(t_g)$ of the vehicle depends on many its characteristics such as e.g.: failure resistance, durability, reparability or maintenance susceptibility. It is calculated on the base of the product of the functional standby $G_f(t)$ and the initial standby $G_p(t_g)$, assuming that $t \rightarrow \infty$, according to expression (4):

where:

$G_{pot}(t_g)$ – vehicle potential standby,

t_g – specific time reserve,

$G_f(t)$ – functional standby,

$G_p(t_g)$ – initial standby.

Gotowość operacyjna pojazdu określa jego zdolność do podjęcia wykonania zadania w losowej chwili t oraz dysponuje zasobami niezbędnymi do jego zakończenia w określonym przedziale czasu t . Wyznacza się ją w oparciu o iloczyn gotowości funkcjonalnej G_f oraz gotowości zadaniowej G_z . Należy również wziąć pod uwagę, iż gotowość zadaniowa w niektórych przypadkach jest równa niezawodności pojazdu w czasie realizacji zadania ($G_z = R(t_z)$), zgodnie ze wzorem (5):

$$G_o(t) = G_f(t) \cdot G_z(t) \quad \text{lub} \quad G_o(t) = G_f(t) \cdot R(t) \quad (5)$$

gdzie:

$G_o(t)$ - gotowość operacyjna w dowolnej chwili t ,
 $G_f(t)$ - gotowość funkcjonalna w dowolnej chwili t ,
 $G_z(t)$ - gotowość zadaniowa w przedziale czasu t ,
 $R(t)$ - niezawodność pojazdu w przedziale czasu t .

4. Matematyczny model oceny gotowości pojazdów

Model opisu eksploatacji pojazdów wykorzystywanych w sytuacjach kryzysowych, może być zbudowany w oparciu o analizę przestrzeni stanów eksploatacyjnych. Stany S , w których w danym czasie znajduje się pojazd, tworzą zbiór skończony. Należy jednak pamiętać, iż w danej chwili pojazd może znajdować się tylko w jednym stanie eksploatacyjnym S_i . Model ten jest procesem losowym $X(t)$, w związku z tym, jeżeli $X(t) = S_i$, to badany pojazd w czasie t znajduje się w stanie S_i . Przykładowe stany eksploatacyjne przedstawiono poniżej w formie grafu procesu eksploatacji pojazdu (rys. 3), który obrazuje ruch pojazdu po wyróżnionych stanach¹⁷.

Podczas tworzenia grafu procesu eksploatacji pojazdu należy określić:

- liczbę stanów eksploatacyjnych (S_i),
- empiryczną liczbę przejść pomiędzy poszczególnymi stanami eksploatacyjnymi (dyskretny model Markowa), tj. p_{ij} ,
- średnie czasy przebywania w poszczególnych stanach, tj. średni czas przebywania w stanie S_i przed przejściem do stanu S_j lub

The operational standby of the vehicle describes its ability to start up the performance of the assignment at the random time t at the resources for its completing within a specific period of time t . It is determined by the product of the functional standby G_f and the assignment standby G_z . Moreover it has to be noticed that the assignment standby in some cases is equal to the reliability of the vehicle during the performance of the task ($G_z = R(t_z)$) according to expression (5):

where:

$G_o(t)$ – operational standby at random moment t ,
 $G_f(t)$ – functional standby at random moment t ,
 $G_z(t)$ – assignment standby within time period t ,
 $R(t)$ – vehicle reliability within time period t .

4. Mathematical model of vehicle standby evaluation

Model describing the use of vehicles at crisis situations may be created on the base of analysis of exploitation statuses space. The statuses S which describe the condition of the vehicle at the moment create a finite set. It has to be noted that at the moment the vehicle may be only in one status of exploitation S_i . This model is a random process $X(t)$ and if $X(t) = S_i$ then the tested vehicle is in status S_i in time t . Some exemplary exploitation statuses are presented below in the form of the graph of vehicle exploitation process (figure 3) that shows the move of the vehicle through the specified statuses¹⁸.

During preparation of the vehicle exploitation process the following matters have to be specified:

- Number of exploitation statuses (S_i)
- Empirical number of transitions between particular exploitation statuses (discrete Markow model) i.e. p_{ij} ,
- Average times of staying in particular statuses i.e. the average time of staying

¹⁷ S., Niziński, B., Żółtowski, *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*, MAKAR BZ., Bydgoszcz-Sulejówek 2002, s. 140-143.

¹⁸ S., Niziński, B., Żółtowski, *Modelling equipment exploitation processes*, MAKAR BZ., Bydgoszcz-Sulejówek 2002, s. 140-143.

intensywności przejść λ_{ij} .

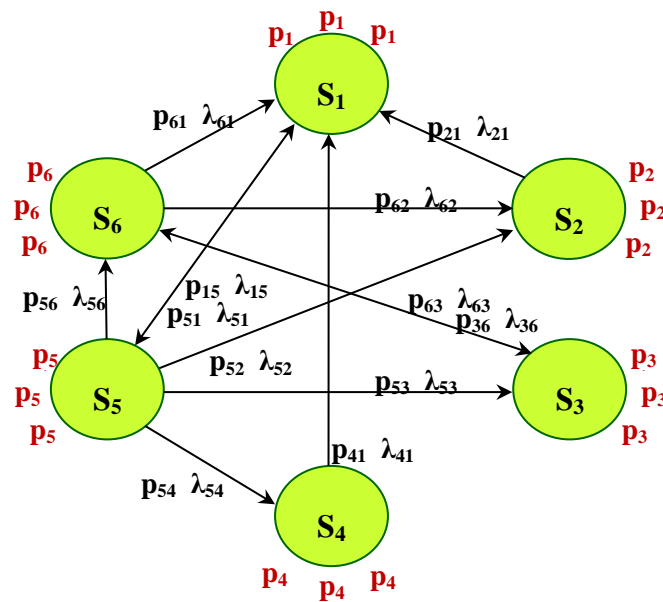
Do przykładowego zbioru stanów opisujących proces eksploatacji pojazdu można zaliczyć następujące rodzaje:

- S_1 – wykonywanie zadania,
- S_2 – dyżurowanie,
- S_3 – naprawa,
- S_4 – obsługiwanie,
- S_5 – zaopatrywanie,
- S_6 – diagnozowanie.

in status S_i prior passing to status S_j or the intensity of transitions λ_{ij} .

The exemplary set of statuses describing the vehicle exploitation process may be built from following types:

- S_1 – performance of assignment,
- S_2 – standby,
- S_3 – repair,
- S_4 – servicing,
- S_5 – supplying (filling),
- S_6 – diagnostics.



Rys. 3. Graf procesu eksploatacji pojazdu (opracowanie własne)
Figure 3. Graph of the vehicle exploitation process (own proposal)

Powyższy graf (rys. 3), w którym przedstawiony jest proces eksploatacji pojazdu wykorzystywanego w sytuacjach kryzysowych, należy interpretować następująco:

- ze stanu wykonywania zadania (S_1) pojazd przechodzi do stanu zaopatrywania (S_5) z prawdopodobieństwem p_{15} ,
- pojazd, znajdujący się w stanie dyżurowania (S_2), trafia bezpośrednio do stanu wykonywania zadania (S_1) z prawdopodobieństwem p_{21} ,
- pojazd, będący w stanie naprawy (S_3), przechodzi do stanu diagnozowania (S_6) z prawdopodobieństwem p_{36} ,
- ze stanu obsługiwania (S_4) pojazd dostaje się do stanu wykonywania zadania (S_1) z prawdopodobieństwem p_{41} ,
- ze stanu S_5 pojazd trafia do następujących stanów:

The above graph (figure 3) presenting the process of exploitation of the vehicle used at crisis situations has to be interpreted in the following way:

- the vehicle passes from the status of assignment performance (S_1) to the supplying status (S_5) at the probability p_{15} ,
- the vehicle staying in the standby status (S_2) passes directly to the assignment performance status (S_1) at the probability p_{21} ,
- the vehicle staying in the repair status (S_3) passes to the diagnostic status (S_6) at the probability p_{36} ,
- from the status of servicing (S_4) the vehicle gets to the status of assignment performance (S_1) at the probability p_{41} ,
- from the status S_5 the vehicle gets to following statuses:

- S_1 z prawdopodobieństwem p_{51} ,
- S_2 z prawdopodobieństwem p_{52} ,
- S_3 z prawdopodobieństwem p_{53} ,
- S_4 z prawdopodobieństwem p_{54} ,
- S_6 z prawdopodobieństwem p_{56} ,
- pojazd znajdujący się w stanie S_6 , trafia do:
- S_1 z prawdopodobieństwem p_{61} ,
- S_2 z prawdopodobieństwem p_{62} ,
- S_3 z prawdopodobieństwem p_{63} ,
- p_1^* , p_1^0 , p_1 oznaczają prawdopodobieństwa graniczne przebywania obiektów w pierwszym stanie,
- λ_{ij} oznacza intensywność przejść między stanami¹⁹.

Wykorzystując łańcuch Markowa tworzy się model dyskretny w stanach i czasie. Macierz prawdopodobieństwa przejść procesu eksploatacji pojazdu przyjmuje postać:

- S_1 at the probability p_{51} ,
- S_2 at the probability p_{52} ,
- S_3 at the probability p_{53} ,
- S_4 at the probability p_{54} ,
- S_6 at the probability p_{56} ,
- the vehicle staying in the status S_6 gets to:
- S_1 at the probability p_{61} ,
- S_2 at the probability p_{62} ,
- S_3 at the probability p_{63} ,
- p_1^* , p_1^0 , p_1 describe the extreme probabilities for objects staying in the first status,
- λ_{ij} means the intensity of transitions between the statuses²⁰.

The discrete model of statuses and times is created by using Markow's chain. The matrix of transitions in the process of vehicle exploitation takes a shape:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & p_{15} & 0 \\ p_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{36} \\ p_{41} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & 0 & p_{56} \\ p_{61} & p_{62} & p_{63} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Z macierzy (6) wynika, że:

It results from the matrix (6) that:

$$\begin{aligned} p_{15} &= 1 \\ p_{21} &= 1 \\ p_{36} &= 1 \\ p_{41} &= 1 \\ p_{51} + p_{52} + p_{53} + p_{54} + p_{56} &= 1 \\ p_{61} + p_{62} + p_{63} &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Na podstawie grafu (rys. 3), równania stanów granicznych mają postać:

Basing on the graph (figure 3) the equations of border statuses take the shape:

$$\begin{aligned} p_1^* &= p_{21} + p_{41} + p_{51} + p_{61} \\ p_2^* &= p_{52} + p_{62} \\ p_3^* &= p_{53} + p_{63} \\ p_4^* &= p_{54} \\ p_5^* &= p_{15} \\ p_6^* &= p_{36} + p_{56} \\ p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 + p_4^0 + p_5^0 + p_6^0 &= 1 \end{aligned} \quad (8)$$

¹⁹ S., Niziński, K., Ligier, *Model procesu eksploatacji pojazdów mechanicznych*, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa nr 6/2004, PAN, Lublin 2004, s. 209.

²⁰ S., Niziński, K., Ligier, *Model of exploitation process for mechanical vehicles*, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa nr 6/2004, PAN, Lublin 2004, s. 209.

Równania stanów granicznych w układzie macierzowym mają postać:

The equations of border statuses in the matrix approach have the form:

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & p_{54} & 0 \\ p_{15} & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_1^* \\ p_2^* \\ p_3^* \\ p_4^* \\ p_5^* \\ p_6^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Powyższy układ macierzowy można zapisać w postaci:

The above system of matrixes may be recorded in form:

$$A \cdot B = C \quad (10)$$

Rozwiązanie równań (10) określa wzór:

The solution of equations (10) is expressed by:

$$B = A^{-1} \cdot C \quad (11)$$

Na podstawie powyższych równań i wzorów oblicza się prawdopodobieństwo graniczne, tj. prawdopodobieństwo wejść do poszczególnych stanów eksploatacyjnych pojazdu wykorzystywanego w sytuacjach kryzysowych. Otrzymane prawdopodobieństwo określa granicę liczby (np. 0,2) wystąpienia stanu S_i w danym roku badanego pojazdu.

Basing on the above equations and expressions the border probability is calculated i.e. the probability of getting into particular statuses of exploitation of the vehicle used at crisis situations. The received probability describes the limit (e.g. 0.2) of occurring status S_i for analysed vehicle within a given year.

W celu wyznaczenia czasu rzeczywistego stosuje się intensywności przejść λ_{ij} , czyli model dyskretny w stanach i ciągły w czasie (procesy Markowa).

In order to determine the real time the intensities of transitions λ_{ij} are used i.e. the model discrete in statuses and continuous in time (Markow's processes).

Przejście z czasu dyskretnego na czas rzeczywisty jest możliwe za pomocą układu równań opisujących proces eksploatacji pojazdu (rys. 3).

The transition from the discrete time to the real time is possible through the system of equations describing the process of vehicle exploitation (figure 3).

$$\begin{aligned} -\lambda_{15}p_1^0 + \lambda_{21}p_2^0 + \lambda_{41}p_4^0 + \lambda_{51}p_5^0 + \lambda_{61}p_6^0 &= 0 \\ -\lambda_{21}p_2^0 + \lambda_{52}p_5^0 + \lambda_{62}p_6^0 &= 0 \\ -\lambda_{36}p_3^0 + \lambda_{53}p_5^0 + \lambda_{63}p_6^0 &= 0 \\ -\lambda_{41}p_4^0 + \lambda_{54}p_5^0 &= 0 \\ -\lambda_{51}p_5^0 - \lambda_{52}p_5^0 - \lambda_{53}p_5^0 - \lambda_{54}p_5^0 - \lambda_{56}p_5^0 + \lambda_{15}p_1^0 &= 0 \\ -\lambda_{61}p_6^0 - \lambda_{62}p_6^0 - \lambda_{63}p_6^0 + \lambda_{36}p_3^0 + \lambda_{56}p_5^0 &= 0 \\ p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 + p_4^0 + p_5^0 + p_6^0 &= 1 \end{aligned} \quad (12)$$

W zapisie macierzowym układ równań (12) przyjmuje postać:

In the matrix recording the system of equations (12) has a form:

$$\begin{pmatrix} -\lambda_{15} & \lambda_{21} & 0 & \lambda_{41} & \lambda_{51} & \lambda_{61} \\ 0 & -\lambda_{21} & 0 & 0 & \lambda_{52} & -\lambda_{62} \\ 0 & 0 & -\lambda_{36} & 0 & -\lambda_{53} & -\lambda_{63} \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{41} & -\lambda_{54} & 0 \\ -\lambda_{15} & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{51}-\lambda_{52}-\lambda_{53}-\lambda_{54}-\lambda_{56} & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_1^0 \\ p_2^0 \\ p_3^0 \\ p_4^0 \\ p_5^0 \\ p_6^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Układ macierzowy (13) można zapisać w postaci:

The matrix system (13) may be recorded in the form:

$$A_1 \cdot B_1 = C_1 \quad (14)$$

Prawdopodobieństwa graniczne wyróżnionych stanów oblicza się ze wzoru:

The border probabilities are calculated from the expression:

$$B_1 = A_1^{-1} \cdot C_1 \quad (15)$$

Po obliczeniu prawdopodobieństw granicznych przebywania pojazdu w danych stanach, można przeprowadzić symulację komputerową, w celu uzyskania przybliżonych wartości prawdopodobieństw oraz sprawdzenia stopnia stabilności/niestabilności badanego procesu.

After calculating the border probabilities for vehicle staying in particular statuses the computer simulation may be carried out in order to get the approximate values of probabilities and to examine the level of stability/instability of analysed process.

5. Wnioski

W sytuacji nagłego i niepożądanego zdarzenia (np. powódź, pożar), służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo muszą być w pełnej gotowości do podjęcia akcji ratunkowej. Aby wszystko przebiegało sprawnie stworzono system zarządzania kryzysowego, który określa sposób postępowania w celu zapobiegania, przygotowania, reagowania i usuwania skutków takiego wydarzenia.

Sprawny przebieg akcji w dużym stopniu jest uzależniony od gotowości technicznej pojazdów wykorzystywanych przez służby. Z tego powodu dąży się do utrzymania jej na jak najwyższym poziomie, co pozwoli ograniczyć ryzyko niezrealizowania danego zadania w chwili losowej, a tym samym zmniejszyć straty powstałe w wyniku sytuacji kryzysowej.

Przydatnym narzędziem do określenia gotowości technicznej pojazdów są stochastyczne procesy Markowa, które umożliwiają stworzenie modelu matematycznego stosowanego do oceny gotowości pojazdów. W tym celu należy określić liczbę stanów eksploatacyj-

5. Conclusions

In the case of a sudden and unexpected event (e.g. flood, fire) the services responsible for security have to be in full standby to undertake the rescue operations. In order to secure the efficient environment the crisis management system has been created that describes the procedures for preventing, preparing, reacting and liquidating the consequences of such event.

The efficient course of the action depends in significant degree on technical readiness of vehicles used by services. For this reason there is a tendency to keep it on the highest possible level what eliminates the risk of assignment failure at any random moment and to reduce the losses occurring at the crisis situation.

The stochastic Markow's processes are the usable tools for determination the vehicle technical standby as they permit to create a mathematical model used for vehicle standby evaluation. For this reason the number of exploitation statuses has to be

nych, empiryczną liczbę przejść pomiędzy poszczególnymi stanami eksploatacyjnymi (dyskretny model Markowa) oraz średnie czasy przebywania w poszczególnych stanach, tj. średni czas przebywania w stanie S_i przed przejściem do stanu S_j lub intensywności przejść λ_{ij} .

determined with the empirical number of transitions between particular exploitation statuses (discrete Markow's model) and average times of staying in particular statuses i.e. the average time of staying in status S_i prior passing to status S_j or the intensity of transitions λ_{ij} .

Literatura / Literature

- [1] Niziński S., Ligier K., *Model procesu eksploatacji pojazdów mechanicznych*, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa nr 6/2004, PAN, Lublin 2004,
- [2] Niziński S., Żółtowski B., *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*, MAKAR BZ., Bydgoszcz-Sulejówek 2002,
- [3] Woropay M., Szubartowski M., Migawa K., *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu wykonawczego w systemie transportowym*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz – Radom 2003,
- [4] Woropay M., Żurek J., Migawa K., *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz – Radom 2003,
- [5] Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym,
- [6] <http://rcb.gov.pl>.

