

## METHOD OF DETERMINING THE REQUIRED NUMBER OF TECHNICAL BACKUP AREA POSTS

## METODA WYZNACZANIA WYMAGANEJ LICZBY STANOWISK ZAPLECZA TECHNICZNEGO

Klaudiusz Migawa<sup>1)</sup>, Maciej Woropay<sup>2)</sup>, Maciej Gniot<sup>1)</sup>,  
Monika Salamońska<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

<sup>2)</sup> University of Bydgoszcz, Poland

**Abstract:** *In complex operation systems, the processes of rendering technical objects roadworthy are carried out at specifically designed technical backup area posts. The article presents the method of defining the number of technical backup area posts required for appropriate functioning of assigned service and repair task. Then typical calculation results are presented in charts prepared on the basis of data obtained from tests at existing transport means operation system. The presented method makes it possible to analogically determine the minimum required number of posts for carrying out the assigned service and repair task for both a subsystem comprised of a group of units a given group of posts or an individual post in traffic maintenance and intervention subsystems.*

**Keywords:** *service and repair, number of posts, availability*

**Streszczenie:** *W złożonych systemach eksploatacji procesy uzdatniania obiektów technicznych realizowane są na specjalnie przeznaczonych do tego celu stanowiskach zaplecza technicznego. W artykule przedstawiono metodę wyznaczania liczby stanowisk zaplecza technicznego wymaganej do prawidłowej realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego. Następnie na wykresach przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń, wykonane na podstawie danych uzyskanych z badań rzeczywistego systemu eksploatacji środków transportu. Przedstawiona metoda umożliwia w analogiczny sposób wyznaczenie minimalnej liczby stanowisk do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego zarówno dla podsystemu złożonego z zespołów stanowisk, danego zespołu stanowisk lub pojedynczego stanowiska w podsystemach utrzymania ruchu i interwencyjnym.*

**Słowa kluczowe:** *podsystem obsługowo-naprawczy, liczba stanowisk, gotowość*

## **METHOD OF DETERMINING THE REQUIRED NUMBER OF TECHNICAL BACKUP AREA POSTS**

### **1. Introduction**

In systems of means of transport operation in order to achieve appropriate completion of assigned transportation tasks it is necessary to maintain a required number of means of transport in the state of availability for carrying out of transportation task (roadworthy and stocked). While carrying out the transportation tasks as a result of coercive factors the exhaustion of applied potential of the means of transport takes place (they undergo damage and/or stocking is necessary). From the point of view of the efficiency of the performance of transport system, unavailable vehicles should be rendered roadworthy at a possibly shortest time. As a result, most transport systems makes use of its own technical backup area equipped with an appropriate number of stationary service and repair posts as well as mobile units.

The problem of controlling processes carried out at complex technological objects operation systems has been presented in scientific publications, eg.: [2, 9, 11, 12]. Papers [3, 4, 5, 10] discuss issues connected with modeling and organization of technical objects service systems. The authors of papers [6, 15] suggested that the methods of shaping the availability of technical backup area posts, whereas papers [7, 13, 14] discuss the methods of the evaluation of the effectiveness and productivity of processes carried out at service and repair posts. Paper [1] discusses methods of defining the structure which may link posts at vehicle service systems, whereas the way of defining technically valid number of service and repair posts in transport systems was described in paper [8].

In general, the processes of rendering vehicles roadworthy are connected to supplying them with fuel and operational materials, carrying out services and repairs, condition diagnostics, transporting damaged technical objects, rearming in order to complete the assigned task. In the analyzed system of transport means operation, the processes are carried out in two separate subsystems: the TMS traffic maintenance subsystem (these are stationary posts located in the Service Station area) and the IS intervention subsystem (these are mobile posts – Technical Emergency units). The subsystems of the type may function properly only when appropriate availability and number of service and repair posts is granted. The paper presents the method of defining the number of technical backup area posts required for appropriate carrying out of assigned service and repair tasks.

## 2. Operational availability of the traffic maintenance subsystem and intervention subsystem in carrying out the assigned service and repair task

Availability of the TMS traffic maintenance subsystem as well as the IS intervention subsystem is understood as capability to carry out the assigned service and repair task. Each task assigned to TMS or IS is determined by the length of the time interval  $\tau$  devoted to the completion of the task, the size of the task (how many technical objects should be rendered roadworthy and/or stocked) as well as the scope of the task (what should be done). The measure of operational availability of TMS and IS posts in carrying out of the assigned task is the product of the probabilities of two events taking place:

- the event of TMS and IS posts being available at any point (roadworthy and stocked) to undertake the assigned task and will remain in this condition for the time interval  $\tau$  of the task duration; this probability is expressed through the value of operational availability of the analyzed subsystems  $G_o(\tau)$  (the way of defining the availability of TMS and IS posts was presented in paper [6]),
- the event of the task assigned at the posts of the subsystems in question will be carried out, i.e. in the time interval  $\tau$  the number of objects rendered technically roadworthy will be higher than  $k$ ; this probability is expressed through the value of the productivity index  $Z^{(k)}(\tau)$  of TMS and IS posts (the way of defining the productivity index is presented in paper [14]).

Taking the above discussion into consideration, the operational availability of the traffic maintenance subsystem and intervention subsystem in carrying out the assigned service and repair task in the time interval  $\tau$ , is defined as follows

$$G_{oz}^{(k)}(\tau) = G_o(\tau) \cdot Z^{(k)}(\tau), \quad (1)$$

where:

- $G_o(\tau)$  – operational availability of the posts of traffic maintenance subsystem and intervention subsystem defined as the probability of these subsystems being available at any point  $t$  and remaining in this condition over a required time interval  $\tau$ ,
- $Z^{(k)}(\tau)$  – probability of the number of technical objects rendered roadworthy at traffic maintenance subsystem and intervention subsystem posts in the time interval  $\tau$  being bigger than  $k$ .

## 3. Required availability of the traffic maintenance subsystem as well as intervention subsystem for carrying out the assigned service and repair task

Required operational availability of the traffic maintenance subsystem or intervention subsystem for carrying out of service and repair task (rendering  $k$  number of technical objects roadworthy in the time interval of  $\tau$  length), determined as product of required availability  $G_{o,wym}^{(k)}(\tau)$  as well as the required value of productivity index  $Z_{wym}^{(k)}(\tau)$  for analyzed posts in the time interval of  $\tau$  length is realized in the formula 2:

$$G_{OZ_{wym}}^{(k)}(\tau) = G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) \cdot Z_{wym}^{(k)}(\tau). \quad (2)$$

Service and repair task assigned to the subsystems of traffic maintenance and intervention is determined by the required number  $k = N_{U_{wym}}(\tau) = N_{U_{wym}}^{PUR}(\tau) + N_{U_{wym}}^{PI}(\tau)$  of technical objects which should be rendered roadworthy and/or stocked in the given time interval of  $\tau$  length, at posts for these subsystems. Whereas the required availability  $G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau)$  of traffic maintenance and intervention subsystems determined for number  $k$  of technical objects rendered roadworthy in the time interval of  $\tau$  length is described as follows

$$G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{T_{wym}^{(k)}(\tau)}{T_{wym}^{(k)}(\tau) + U_{wym}^{(k)}(\tau)}, \quad (3)$$

where:

$T_{wym}^{(k)}(\tau)$  – required availability time for TMS and IS posts for given  $k$  and  $\tau$ ,

$U_{wym}^{(k)}(\tau)$  – required unavailability time for TMS and IS posts for given  $k$  and  $\tau$ .

Assuming that for any time interval of  $\tau$  length the sum of required availability and unavailability times for traffic maintenance and intervention subsystems equals the time interval of  $\tau$  length, i.e.  $T_{wym}^{(k)}(\tau) + U_{wym}^{(k)}(\tau) = \tau$ , then formula (3) may be written as follows

$$G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{T_{wym}^{(k)}(\tau)}{\tau}. \quad (4)$$

Required availability time  $T_{wym}^{(k)}(\tau)$  for TMS and IS posts depends on the anticipated total time of rendering  $k$  number of technical objects (transport means) roadworthy in the time interval of  $\tau$  length as well as the  $q$  number of uniform posts of the analyzed subsystem (parallel channels for rendering roadworthiness) and is described by the condition

$$T_{wym}^{(k)}(\tau) = \frac{k \cdot \overline{U^{OT}}(\tau)}{q} \leq \tau, \quad (5)$$

where:

$\overline{U^{OT}}(\tau)$  – mean time of technological object remaining at traffic maintenance subsystem as well as intervention subsystem (mean time of rendering technical objects roadworthy).

When  $T_{wym}^{(k)}(\tau) > \tau$ , then in the time interval for the posts of the analyzed subsystem (MTS and IS) the rendering of the required  $k$  number of technical objects roadworthy is not possible.

#### 4. Determining the required number of posts of traffic maintenance posts and intervention posts in realization of the assigned service and repair task

Evaluation of operational availability of TMS traffic maintenance subsystem as well as intervention subsystem for carrying out the assigned task consists of determining the value of actual availability of the subsystems (for the required time interval of  $\tau$  length as well as required  $k$  number of technical objects which should be rendered roadworthy and/or stocked) and then comparing to the value of required availability the MTS and IS should have in order for the assigned task to be carried out according to the relation

$$G_{OZ}^{(k)}(\tau) = G_o(\tau) \cdot Z^{(k)}(\tau) \geq G_{OZ_{wym}}^{(k)}(\tau), \quad dla \quad k = N_{U_{wym}}(\tau), \quad (6)$$

where

$$Z^{(k)}(\tau) = P(k \geq N_{U_{wym}}(\tau)) \quad (7)$$

means the probability of the number of technical objects rendered roadworthy at posts of traffic maintenance subsystem as well as intervention subsystems in the time interval of  $\tau$  length is not lower than the required number  $N_{U_{wym}}(\tau)$  of technical objects which should be rendered roadworthy in this time interval. If the value of operational availability of the TMS and IS posts for carrying out the assigned task is lower than required, e.g.  $G_{OZ}^{(k)}(\tau) < G_{OZ_{wym}}^{(k)}(\tau)$ , the assigned task at TMS and IS posts may not be carried out properly (in the time interval of  $\tau$  length it is not possible to render the required number  $N_{U_{wym}}(\tau)$  of technical objects roadworthy). The presented method makes it possible to analogically determine and evaluate the availability for carrying out the assigned service and repair task for both a subsystem comprised of a group of units a given group of posts or an individual post in traffic maintenance and intervention subsystems.

In the case of the traffic maintenance and intervention subsystems comprise  $i = 1, 2, \dots, p$  of groups containing  $j = 1, 2, \dots, q_i$  of posts linked to a given structure, it is possible to determine the required number of posts  $q_{i_{wym}}$  at individual groups.

Assuming that the  $i$ -th group comprises uniform posts, the required number of posts  $q_{i_{wym}}$  is assigned for given availability of individual post  $\overline{G}_{ij}(\tau) = G_{ij}$ :

– when posts are linked by parallel structure

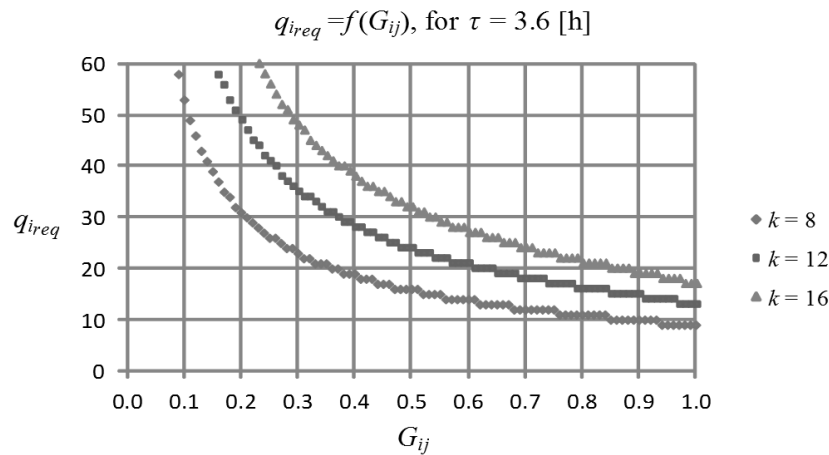
$$q_i = q_{i_{wym}} \Leftrightarrow G_{O_i}(\tau) = 1 - \prod_{j=1}^{q_i} [1 - G_{ij}] \geq G_{O_{i_{wym}}}(\tau), \quad (8)$$

– when posts are linked by threshold structure

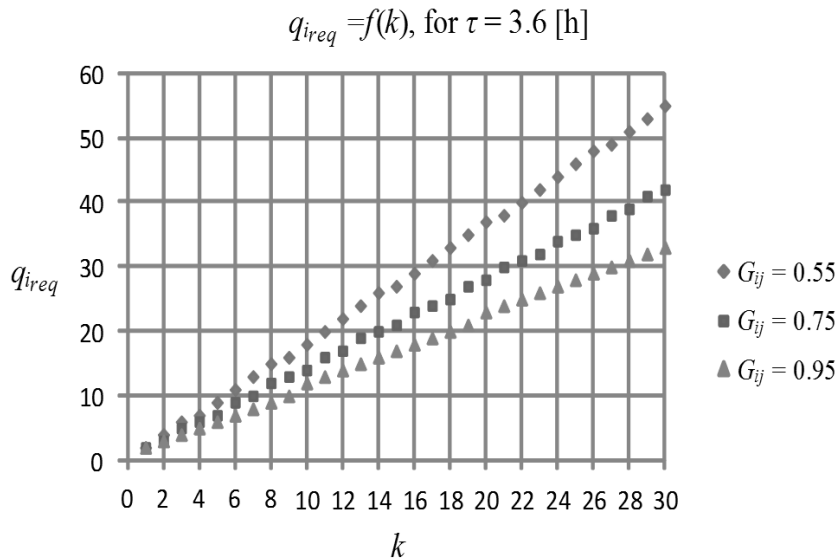
$$q_i = q_{i_{wym}} \Leftrightarrow G_{O_i}(\tau) = \sum_{c=k_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot [G_{ij}]^c \cdot [1 - G_{ij}]^{q_i - c} \geq G_{O_{i_{wym}}}(\tau). \quad (9)$$

*Method of determining the required number of technical backup area posts*  
*Metoda wyznaczania wymaganej liczby stanowisk zaplecza technicznego*

Figures 1 as well 2 present values of required number  $q_{i_{wym}}$  of posts at  $i$ -th group of traffic maintenance and intervention subsystems, determined in relation with availability value  $G_{ij}$  of individual post as well as the value of parameters determining the assigned service and repair task (number of objects as well as the time of rendering them roadworthy).



*Fig. 1 Required  $q_{i_{wym}}$  number of posts of the  $i$ -th group o group in availability function of the group in the function of availability  $G_{ij}$ , individual posts for any given objects rendered roadworthy  $k$  as well as time of rendering roadworthy*



*Fig. 2 Required  $q_{i_{wym}}$  number of posts of the  $i$ -th group of functions of the  $k$  number of objects rendered roadworthy for given values of availability  $G_{ij}$  of individual post as well as time of rendering roadworthy*

## 5. Conclusions

On the basis of the method presented in the paper, it is possible to select (determine) the minimum required number  $q_{i_{wym}}$  of posts of the  $i$ -th group at traffic maintenance and intervention subsystems so that the assigned service and repair tasks are carried out properly. It is completed on the basis of the selected criteria for evaluation when actual availability of  $i$ -th group of posts at traffic maintenance and intervention subsystem equals at least the required availability, e.g. for the number of objects rendered roadworthy  $k=8$ , time of rendering roadworthy  $\tau=3.6$  [h] and individual post availability  $G_{ij}=0.8$ , required number of posts of  $i$ -th group amounts to  $q_{i_{wym}} = 11$ , then  $G_i^{PUR} = 0.795 \geq G_{i_{wym}}^{PUR} = 0.762$  (figure 1).

Providing the required availability of traffic maintenance and intervention subsystems is possible due to:

- adjusting the number and structure of traffic maintenance and intervention subsystem posts,
- adjusting the equipment at posts in order to, when necessary, facilitate carrying out of particular tasks at posts in various groups,
- implementation (exchange) of posts (devices and tools) of higher reliability, durability, and productivity.

## 6. References

- [1] Gołabek A.: Metoda określania struktury systemu obsługi pojazdu samochodowego, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, zeszyt nr 3-4, 1984.
- [2] Jaźwiński J. Grabski F.: Niektóre problemy modelowania systemów transportowych, Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa-Radom, 2003.
- [3] Kopociński B.: Zarys teorii odnowy i niezawodności, PWN, Warszawa, 1973.
- [4] Kosten L.: Stochastic theory of service systems, Pergamon Press, London, 1973.
- [5] Koźniewska J. Włodarczyk M.: Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi, PWN, Warszawa, 1978.
- [6] Migawa K.: The evaluation of availability of the serviceability assurance subsystem posts, Journal of KONBiN, 1(21), 2012.
- [7] Migawa K.: The method of the evaluation of the efficiency of the processes carried out at traffic maintenance subsystem posts, Archives of Transport, Vol. 24(4), 2012.
- [8] Okulewicz J. Smalko Z.: Wyznaczanie technicznie uzasadnionej liczby stanowisk obsługowo-naprawczych, Instytut Transportu Politechniki Warszawskiej, zeszyt 28, 1988.
- [9] Oziemski S.: Efektywność eksploatacji maszyn, Podstawy techniczno-ekonomiczne, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 1999.
- [10] Piasecki S.: Zagadnienia organizacji obsługi technicznej maszyn i środków transportowych, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Warszawa-Lublin, 1996.
- [11] Smalko Z.: Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998.
- [12] Smalko Z.: Modelowanie eksploatacyjne systemów transportowych, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 1996.

- [13] Szubartowski M.: Efficiency of repairs performed within the emergency repair subsystem of municipal bus transportation system, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 19(3), 2012.
- [14] Woropay M. Migawa K. Bojar P.: The model of defining the efficiency of logistics subsystem posts in the transport system, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 17, No. 4, 2010.
- [15] Woropay M. Żurek J. Migawa K.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 2003.



**Assoc. Prof. Klaudiusz Migawa, Ph.D. Eng.**, member of the Faculty of Mechanical Engineering of the UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz. In his academic studies, he is preoccupied with the problems of evaluation and control of the level of efficiency, reliability, availability as well as safety of the complex systems of technical objects operation. He is the author of scientific papers in the field of modeling of systems and operation processes of means of transport with the implementation of stochastic processes (Share 30%).



**Professor Maciej Woropay, Ph.D. Eng.** His academic studies include the problems of system theory, reliability and safety theory as well as of operation processes control in complex biotechnical systems, in particular control of these processes in municipal transport systems. He is the author and co-author of over 160 scientific papers published in Poland and internationally as well as academic textbooks and lecture collections, the supervisor of more than 180 master's and engineer's theses as well as doctoral dissertations (Share 30%).



**Maciej Gniot, M.Sc. Eng.**, member of the Department of Operation and Transport at the Department of Mechanical Engineering of the UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz. In his academic studies, he deals with the issues connected to the modeling of the process of machines and devices operation as well as the issues connected to the testing and modeling of the process of flat surface grinding, and, most of all, the method of abrasive dosage during grinding process (Share 20%).



**Monika Salamońska, Eng.**, a graduate of the Faculty of Mechanical Engineering of the UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz with major in Biomedical Engineering and Technical Medical Counselor specialization. She is currently a graduate student with major in Machine Mechanics and Construction with Polymer Material Technology specialization as well as the major of Biomedical Engineering with Telemedical Engineering specialization (Share 20%).



## **METODA WYZNACZANIA WYMAGANEJ LICZBY STANOWISK ZAPLECZA TECHNICZNEGO**

### **1. Wstęp**

W systemach eksploatacji środków transportu, do prawidłowej realizacji przydzielonych zadań przewozowych, konieczne jest utrzymywanie wymaganej liczby środków transportu w stanie gotowości do realizacji zadania przewozowego (zdalnych i zaopatrzonych). W trakcie realizacji zadań przewozowych, w wyniku oddziaływania czynników wymuszających, następuje wyczerpanie potencjału użytkowego środków transportu (ulegają uszkodzeniom lub/i konieczne jest ich zaopatrzenie). Z punktu widzenia efektywności działania systemu transportowego, niegotowe pojazdy powinny zostać uzdatnione w możliwie najkrótszym czasie. Z tego powodu większość systemów transportowych dysponuje własnym zapleczem technicznym wyposażonym w odpowiednią ilość stacjonarnych stanowisk obsługowo-naprawczych oraz jednostek mobilnych.

Problematyka sterowania procesami realizowanymi w złożonych systemach eksploatacji obiektów technicznych prezentowana jest w wielu publikacjach naukowych, np.: [2, 9, 11, 12]. W pracach [3, 4, 5, 10] przedstawiono zagadnienia dotyczące modelowania i organizacji systemów obsługi obiektów technicznych. Autorzy prac [6, 15] zaproponowali metody kształtowania gotowości stanowisk zaplecza technicznego, natomiast w pracach [7, 13, 14] przedstawiono metody oceny skuteczności i wydajności procesów realizowanych na stanowiskach obsługowo-naprawczych. W pracy [1] przedstawiono metodę określania struktury jaką mogą być sprzężone stanowiska w systemach obsługi pojazdów, natomiast sposób wyznaczania technicznie uzasadnionej liczby stanowisk obsługowo-naprawczych w systemach transportowych opisano w pracy [8].

W ogólności procesy uzdatniania pojazdów dotyczą zaopatrywania w paliwo i materiały eksploatacyjne, realizacji obsług i napraw, diagnozowania stanu, transportowania uszkodzonych obiektów technicznych, przezbierania do realizacji przydzielonego zadania. W analizowanym systemie eksploatacji środków transportu procesy te realizowane są w dwóch wydzielonych podsystemach: w podsystemie utrzymania ruchu PUR (są to stanowiska stacjonarne znajdujące się na terenie Stacji Obsługi) i w podsystemie interwencyjnym PI (są to stanowiska mobilne – jednostki Pogotowia Technicznego). Podsystemy tego typu mogą funkcjonować prawidłowo jedynie wówczas, gdy zapewniona jest odpowiednia ich gotowość oraz liczba stanowisk obsługowo-naprawczych.

W pracy przedstawiono metodę wyznaczania liczby stanowisk zaplecza technicznego wymaganej do prawidłowej realizacji przydzielonych zadań obsługowo-naprawczych.

## **2. Gotowość operacyjna podsystemu utrzymania ruchu i podsystemu interwencyjnego do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego**

Gotowość podsystemu utrzymania ruchu PUR oraz podsystemu interwencyjnego PI, rozumiana jest jako zdolność do zrealizowania przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego. Każde zadanie przydzielone PUR i PI określone jest długością przedziału czasu  $\tau$  przeznaczanego na realizację zadania, wielkością zadania (ile obiektów technicznych powinno zostać uzdatnionych lub/i zaopatrzonych) oraz zakresem zadania (co należy zrobić). Miarą gotowości operacyjnej stanowisk PUR oraz PI, do realizacji przydzielonego zadania jest iloczyn prawdopodobieństw zajścia dwóch zdarzeń:

- zdarzenia polegającego na tym, że stanowiska PUR oraz PI w dowolnej chwili są gotowe (zdatne i zaopatrzone) do podjęcia przydzielonego zadania i pozostaną w tym stanie na czas  $\tau$  trwania zadania; prawdopodobieństwo to wyrażone jest wartością gotowości operacyjnej stanowisk analizowanych podsystemów  $G_o(\tau)$  (sposób wyznaczania gotowości stanowisk PUR i PI przedstawiono w pracy [6]),
- zdarzenia polegającego na tym, że zadanie przydzielone stanowiskom rozpatrywanych podsystemów zostanie zrealizowane, tzn. w przedziale czasu  $\tau$  liczba uzdatnionych obiektów technicznych będzie większa od  $k$ . Prawdopodobieństwo to wyrażone jest wartością wskaźnika wydajności  $Z^{(k)}(\tau)$  stanowisk PUR oraz PI (sposób wyznaczania wskaźnika wydajności przedstawiono w pracy [14]).

Uwzględniając powyższe rozważania, gotowość operacyjna podsystemu utrzymania ruchu oraz podsystemu interwencyjnego do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego w przedziale czasu  $\tau$ , określona jest następująco

$$G_{oz}^{(k)}(\tau) = G_o(\tau) \cdot Z^{(k)}(\tau), \quad (1)$$

gdzie:

- $G_o(\tau)$  – gotowość operacyjna stanowisk podsystemu utrzymania ruchu oraz podsystemu interwencyjnego, wyznaczana jako prawdopodobieństwo tego, że w dowolnej chwili  $t$  stanowiska tych podsystemów będą w stanie zdatności i przetrwają w tym stanie przez wymagany przedział czasu  $\tau$ ,

$Z^{(k)}(\tau)$  – prawdopodobieństwo tego, że liczba obiektów technicznych uzdatnionych na stanowiskach podsystemu utrzymania ruchu oraz podsystemu interwencyjnego w przedziale czasu  $\tau$  jest większa od  $k$ .

### 3. Gotowość wymagana podsystemu utrzymania ruchu i podsystemu interwencyjnego do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego

Wymagana gotowość operacyjna podsystemu utrzymania ruchu lub podsystemu interwencyjnego do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego (uzdatnienia liczby  $k$  obiektów technicznych w przedziale czasu o długości  $\tau$ ), określona jako iloczyn wymaganej gotowości  $G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau)$  oraz wymaganej wartości wskaźnika wydajności  $Z_{wym}^{(k)}(\tau)$  stanowisk analizowanych podsystemów w przedziale czasu o długości  $\tau$ , przedstawiona jest wzorem

$$G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) = G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) \cdot Z_{wym}^{(k)}(\tau). \quad (2)$$

Zadanie obsługowo-naprawcze przydzielone podsystemom utrzymania ruchu i interwencyjnemu, określone jest wymaganą liczbą  $k = N_{U_{wym}}(\tau) = N_{U_{wym}}^{PUR}(\tau) + N_{U_{wym}}^{PI}(\tau)$  obiektów technicznych, które powinny być uzdatnione lub/i zaopatrzone w danym przedziale czasu o długości  $\tau$ , na stanowiskach tych podsystemów. Natomiast wymagana gotowość  $G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau)$  stanowisk podsystemu utrzymania ruchu lub podsystemu interwencyjnego, wyznaczana dla liczby  $k$  uzdatnionych obiektów technicznych w przedziale czasu o długości  $\tau$ , opisana jest następująco

$$G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{T_{wym}^{(k)}(\tau)}{T_{wym}^{(k)}(\tau) + U_{wym}^{(k)}(\tau)}, \quad (3)$$

gdzie:

$T_{wym}^{(k)}(\tau)$  – wymagany czas gotowości stanowisk PUR i PI dla danych  $k$  i  $\tau$ ,

$U_{wym}^{(k)}(\tau)$  – wymagany czas niegotowości stanowisk PUR i PI dla danych  $k$  i  $\tau$ .

Przyjmując założenie, że dla dowolnego przedziału czasu o długości  $\tau$ , suma wymaganych czasów gotowości i niegotowości stanowisk podsystemów utrzymania ruchu i interwencyjnego jest równa przedziałowi czasu o długości  $\tau$ , tzn.  $T_{wym}^{(k)}(\tau) + U_{wym}^{(k)}(\tau) = \tau$ , wówczas wzór (3) można zapisać następująco

$$G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{T_{wym}^{(k)}(\tau)}{\tau}. \quad (4)$$

Wymagany czas gotowości  $T_{wym}^{(k)}(\tau)$  stanowisk PUR i PI zależy od przewidywanego sumarycznego czasu uzdatniania liczby  $k$  obiektów technicznych (środków transportu), w przedziale czasu o długości  $\tau$  oraz od liczby  $q$  jednorodnych stanowisk analizowanego podsystemu (równoległych kanałów uzdatniania) i opisany jest warunkiem

$$T_{wym}^{(k)}(\tau) = \frac{k \cdot \overline{U^{OT}}(\tau)}{q} \leq \tau, \quad (5)$$

gdzie:

$\overline{U^{OT}}(\tau)$  – średni czas przebywania obiektu technicznego w podsystemie utrzymania ruchu oraz podsystemie interwencyjnym (średni czas uzdatniania obiektu technicznego).

W przypadku, gdy  $T_{wym}^{(k)}(\tau) > \tau$ , oznacza to, że w przedziale czasu o długości  $\tau$ , na stanowiskach analizowanego podsystemu (PUR lub PI) nie jest możliwe uzdatnienie wymaganej liczby  $k$  obiektów technicznych.

#### **4. Wyznaczenie wymaganej liczby stanowisk podsystemu utrzymania ruchu i podsystemu interwencyjnego do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego**

Ocena gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu PUR oraz podsystemu interwencyjnego PI do realizacji przydzielonego zadania, polega na wyznaczeniu wartości gotowości rzeczywistej tych podsystemów (dla wymaganego przedziału czasu o długości  $\tau$  oraz wymaganej liczby  $k$  obiektów technicznych, które należy uzdatnić lub/i zaopatrzyć), a następnie porównaniu z wartością wymaganej gotowości jaką PUR oraz PI powinny posiadać, aby przydzielone zadanie zostało prawidłowo zrealizowane, zgodnie z zależnością

$$G_{OZ}^{(k)}(\tau) = G_o(\tau) \cdot Z^{(k)}(\tau) \geq G_{OZ_{wym}}^{(k)}(\tau), \quad \text{dla } k = N_{U_{wym}}(\tau), \quad (6)$$

gdzie:

$$Z^{(k)}(\tau) = P(k \geq N_{U_{wym}}(\tau)) \quad (7)$$

oznacza prawdopodobieństwo tego, że liczba obiektów technicznych uzdatnionych na stanowiskach podsystemu utrzymania ruchu oraz podsystemu interwencyjnego w przedziale czasu o długości  $\tau$ , jest nie mniejsza niż wymagana liczba  $N_{U_{wym}}(\tau)$  obiektów technicznych, które należy uzdatnić w tym przedziale czasu.

Jeśli wartość gotowości operacyjnej stanowisk PUR i PI do realizacji przydzielonego zadania jest mniejsza od wymaganej, tzn.  $G_{OZ}^{(k)}(\tau) < G_{OZ_{wym}}^{(k)}(\tau)$ , oznacza to, że przydzielone zadanie stanowiskom PUR i PI nie może zostać prawidłowo zrealizowane (w przedziale czasu o długości  $\tau$  nie jest możliwe uzdatnienie wymaganej liczby  $N_{U_{wym}}(\tau)$  obiektów technicznych).

Przedstawiona metoda umożliwia w analogiczny sposób wyznaczenie i ocenę gotowości do realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego zarówno dla podsystemu złożonego z zespołów stanowisk, danego zespołu stanowisk lub pojedynczego stanowiska w podsystemach utrzymania ruchu i interwencyjnym.

W przypadku, gdy podsystemy utrzymania ruchu oraz interwencyjny złożone są z  $i=1,2,\dots,p$  zespołów złożonych z  $j=1,2,\dots,q_i$  stanowisk sprzężonych daną strukturą, możliwe jest wyznaczenie wymaganej liczby stanowisk  $q_{i_{wym}}$  w poszczególnych zespołach. Przy założeniu, że  $i$ -ty zespół złożony jest z jednorodnych stanowisk, wymagana liczba stanowisk  $q_{i_{wym}}$  wyznaczana jest dla danej gotowości pojedynczego stanowiska  $\overline{G_{ij}}(\tau) = G_{ij}$ :

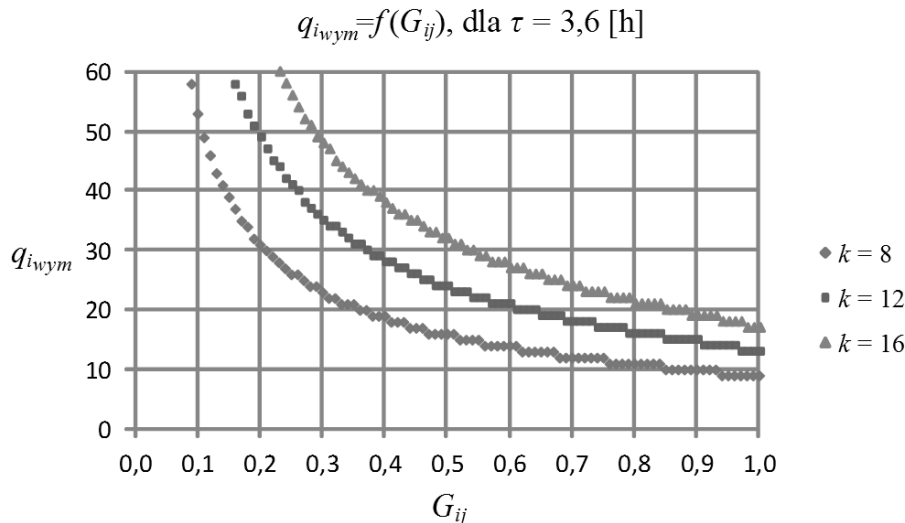
– gdy stanowiska sprzężone są strukturą równoległą

$$q_i = q_{i_{wym}} \Leftrightarrow G_{O_i}(\tau) = 1 - \prod_{j=1}^{q_i} [1 - G_{ij}] \geq G_{O_{i_{wym}}}(\tau), \quad (8)$$

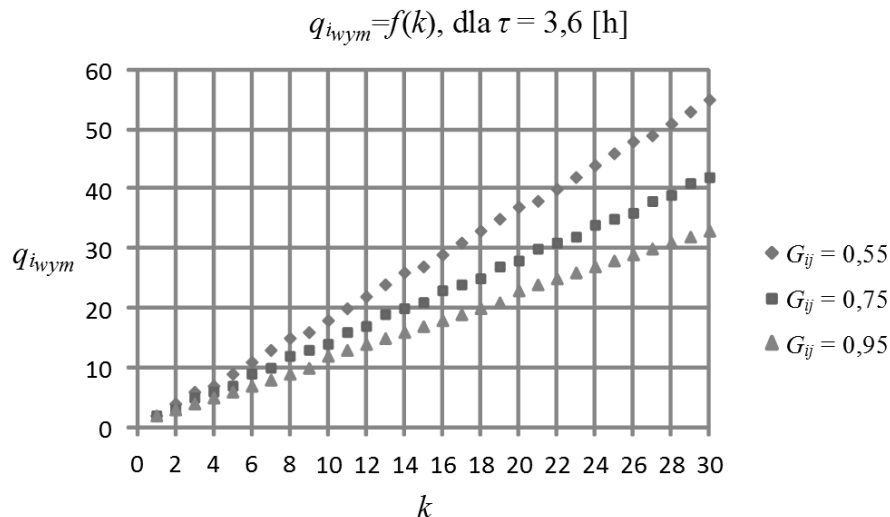
– gdy stanowiska sprzężone są strukturą progową

$$q_i = q_{i_{wym}} \Leftrightarrow G_{O_i}(\tau) = \sum_{c=k_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot [G_{ij}]^c \cdot [1 - G_{ij}]^{q_i - c} \geq G_{O_{i_{wym}}}(\tau). \quad (9)$$

Na rysunkach 1 oraz 2 przedstawiono wartości wymaganej liczby  $q_{i_{wym}}$  stanowisk w  $i$ -tym zespole podsystemów utrzymania ruchu i interwencyjnego, wyznaczone w zależności od wartości gotowości  $G_{ij}$  pojedynczego stanowiska oraz wartości parametrów opisujących przydzielone zadanie obsługowo-naprawcze (liczby obiektów uzdatnianych oraz czasu uzdatniania).



Rys. 1 Wymagana liczba  $q_{i_{wym}}$  stanowisk  $i$ -tego zespołu w funkcji gotowości  $G_{ij}$  pojedynczego stanowiska, dla danych liczb obiektów uzdatnianych  $k$  oraz czasu uzdatniania



Rys. 2. Wymagana liczba  $q_{i_{wym}}$  stanowisk  $i$ -tego zespołu w funkcji liczby obiektów uzdatnianych  $k$ , dla danych wartości gotowości  $G_{ij}$  pojedynczego stanowiska oraz czasu uzdatniania

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionej w pracy metody możliwy jest dobór (wyznaczenie) minimalnej wymaganej liczby  $q_{i_{wym}}$  stanowisk  $i$ -tego zespołu w podsystemach utrzymania ruchu i interwencyjnym, w taki sposób, aby zapewnić prawidłową realizację przydzielonych zadań obsługowo-naprawczych. Realizowane jest to na podstawie przyjętego kryterium oceny, gdy gotowość rzeczywista  $i$ -tego zespołu stanowisk w podsystemie utrzymania ruchu lub interwencyjnym jest co najmniej równa gotowości wymaganej, np. dla liczby obiektów uzdatnianych  $k = 8$ , czasu uzdatniania  $\tau = 3,6$  [h] i gotowości pojedynczego stanowiska  $G_{ij} = 0,8$ , wymagana liczba stanowisk  $i$ -tego zespołu wynosi  $q_{i_{wym}} = 11$ , wówczas

$$G_i^{PUR} = 0,795 \geq G_{i_{wym}}^{PUR} = 0,762 \text{ (rysunek 1).}$$

Zapewnienie wymaganej gotowości podsystemów utrzymania ruchu i interwencyjnego możliwe jest przez:

- dostosowanie liczby i struktury stanowisk podsystemów utrzymania ruchu i interwencyjnego,
- dostosowanie wyposażenia stanowisk w taki sposób, aby w razie konieczności, możliwa była realizacja określonych zadań na stanowiskach różnych zespołów,
- zastosowanie (wymianę) stanowisk (urządzeń i narzędzi) o wyższej niezawodności, trwałości i wydajności.

## **6. Literatura**

- [1] Gołąbek A.: Metoda określania struktury systemu obsługi pojazdu samochodowego, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, zeszyt nr 3-4, 1984.
- [2] Jaźwiński J. Grabski F.: Niektóre problemy modelowania systemów transportowych, Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa-Radom, 2003.
- [3] Kopociński B.: *Zarys teorii odnowy i niezawodności*, PWN, Warszawa, 1973.
- [4] Kosten L.: *Stochastic theory of service systems*, Pergamon Press, London, 1973.
- [5] Koźniewska J. Włodarczyk M.: *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*, PWN, Warszawa, 1978.
- [6] Migawa K.: The evaluation of availability of the serviceability assurance subsystem posts, *Journal of KONBiN*, 1(21), 2012.
- [7] Migawa K.: The method of the evaluation of the efficiency of the processes carried out at traffic maintenance subsystem posts, *Archives of Transport*, Vol. 24(4), 2012.
- [8] Okulewicz J. Smalko Z.: Wyznaczanie technicznie uzasadnionej liczby stanowisk obsługowo-naprawczych, Instytut Transportu Politechniki Warszawskiej, zeszyt 28, 1988.
- [9] Oziemski S.: *Efektywność eksploatacji maszyn, Podstawy techniczno-ekonomiczne*, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 1999.
- [10] Piasecki S.: *Zagadnienia organizacji obsługi technicznej maszyn i środków transportowych*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Warszawa-Lublin, 1996.
- [11] Smalko Z.: *Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998.
- [12] Smalko Z.: *Modelowanie eksploatacyjne systemów transportowych*, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 1996.
- [13] Szubartowski M.: Efficiency of repairs performed within the emergency repair subsystem of municipal bus transportation system, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 19(3), 2012.
- [14] Woropay M. Migawa K. Bojar P.: The model of defining the efficiency of logistics subsystem posts in the transport system, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 17, No. 4, 2010.
- [15] Woropay M. Żurek J. Migawa K.: *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym*, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 2003.



**Dr hab. inż. Klaudiusz Migawa, prof. nadzw. UTP**, pracownik Wydziału Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problematyką oceny i sterowania poziomem efektywności, niezawodności, gotowości oraz bezpieczeństwa złożonych systemów eksploatacji obiektów technicznych. Autor prac naukowych z zakresu modelowania systemów i procesów eksploatacji środków transportu (Udział 30%).



**Prof. dr hab. inż. Maciej Woropay**, w pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi teorii systemów, teorii niezawodności i bezpieczeństwa oraz sterowania procesami eksploatacji w złożonych systemach biotechnicznych, a w szczególności sterowaniem tymi procesami w systemach transportu miejskiego. Jest autorem ponad 160 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą, a także podręczników i skryptów akademickich, promotorem ponad 180 prac magisterskich i inżynierskich oraz rozpraw doktorskich (Udział 30%).



**Mgr inż. Maciej Gniot**, pracuje w Zakładzie Eksploatacji i Transportu na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi modelowania procesu eksploatacji maszyn i urządzeń, a także zagadnieniami związanymi z badaniem i modelowaniem procesu docierania powierzchni płaskich, a przede wszystkim sposobem dozowania ścierniwa podczas procesu docierania (Udział 20%).



**Inż. Monika Salamońska**, absolwentka Wydziału Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy na kierunku Inżynieria Biomedyczna o specjalności Techniczny Doradca Medyczny. Obecnie studentka studiów II stopnia na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn o specjalności Technika Tworzyw Polimerowych oraz na kierunku Inżynieria Biomedyczna o specjalności Inżynieria Telemedyczna (Udział 20%).