

Štefan Liščák \*

# VÝZNAM A FUNKCIA ÚROVNE INFORMÁCIÍ O SPOLAHLIVOSTI DOPRAVNÝCH PROSTRIEDKOV

## THE IMPORTANCE AND ESSENTIAL FUNCTION OF THE LEVEL OF INFORMATION ABOUT RELIABILITY OF MEANS OF TRANSPORT

*Vzrastajúce požiadavky na prevádzkovú spoľahlivosť dopravných prostriedkov vyžadujú interdisciplinárny postup.*

*Teoretické odhady spoľahlivosti závisia od hĺbky informácií, najmä od zákonitosti kumulácie poškodenia pri zložitých prevádzkových namáhaniach. Na základe kvality vstupných informácií o prevádzkovej spoľahlivosti dopravných prostriedkov, je možné teoretické úvahy o spoľahlivosti aplikatívne využívať v optimalizácii technologického procesu prepravy.*

### 1. Úvod do problematiky

Spoľahlivosť je súhrnný názov pre jednu z najdôležitejších skupín znakov kvality, vyjadrujúcich schopnosť výrobkov plniť požadované funkcie počas predpísanej doby a v predpísaných prevádzkových podmienkach.

Spoľahlivosť dopravného prostriedku opisuje nielen jeho jednorázovú schopnosť vyhovieť určeným požiadavkám, ale vyjadruje aj schopnosť tieto požiadavky dlhodobo plniť v závislosti od času prevádzky. Platí, že na spoľahlivosť akéhokoľvek výrobku, teda aj dopravného prostriedku, musíme vždy pozeráť z pohľadu užívateľa. Z užívateľského hľadiska je spoľahlivosť vnímaná predovšetkým ako súhrn integrálne pôsobiacich vlastností daných parametrami určenia (výkonnosť, funkčnosť, hospodárnosť a pod.), parametrami spoľahlivosti (životnosť, bezporuchovosť, udržiavateľnosť, opraviteľnosť a pod.), prípadne ďalšími vlastnosťami.

Zabezpečiť všestranne spoľahlivú prevádzku dopravného prostriedku je možné predovšetkým:

- vysokou inherentnou spoľahlivosťou
- diagnostikovateľnosťou porúch
- udržiavateľnosťou a opraviteľnosťou
- vypracovanými dokonalými informačnými systémami a informáciami o poruchách

V praxi sa môžeme stretnúť s rôzne chápanou právnou zodpovednosťou za dôsledky nespoľahlivosti dopravných prostriedkov z pohľadu užívateľa. Môžeme preto zhrnúť:

*Increasing requirements on the operation reliability of means of transport require interdisciplinary approach.*

*Theoretical estimations of reliability depend on the quality of information, mostly on the law of damage cumulation in the case of complicated operation strain. On the basis of the quality of the entry information about the operation reliability of means of transport, it is possible to use the theoretical considerations about reliability in the optimisation of the technological process of transportation.*

### 1. Introduction

The term of “reliability” names one of the most important groups of quality attributes conveying the ability of products to fulfil required functions at a given time and under specified conditions of operation.

Reliability of a means of transport does not describe only its single ability to meet defined demands, but it also conveys its long-term ability to fulfil these demands depending on the time of operation. We have to look at the reliability of any product, including a means of transport, from the user’s point of view. From this point of view, reliability is mostly considered a complex of the integrally acting attributes that are given by the parameters of their determination (performance, function, economy, etc.) and by the parameters of reliability (service life, no-failure operation, maintainability, reparability, or by other parameters, if there are any).

Provision of the versatile reliable operation of a means of transport can be achieved by:

- high inherent reliability
- ability to diagnose failures
- maintainability and reparability
- perfect information systems and perfect information about failures.

In practice, the legal responsibility for consequences of unreliability of means of etc.), transport from the user’s point of view is diverse in understanding. Therefore, we may conclude:

\* Doc. Ing. Štefan Liščák, CSc.

University of Žilina, Department of Road and City Transport, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications,  
E-mail: liscak@fpedas.utc.sk

- spoľahlivosť (podľa STN 010102) vyvoláva u užívateľa (dopravcu) dojem, že dopravný prostriedok zrealizuje prepravné úlohy v dohodnutých podmienkach a v určenom čase. Z toho je jasné, že doprava je dej nevratný.
- bezporuchovosť užívateľ chápe, že dopravný prostriedok plní bez poruchy požadované úlohy v určených prevádzkových podmienkach.
- opraviteľnosť užívateľ chápe, ako vlastnosť dopravného prostriedku v prípade vzniku poruchy možnosť nenáročného zistenia príčiny a miesta poruchy (diagnostikovateľnosť) a jej odstránenia opravou.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že spoľahlivosť je chápaná tak, že dopravný prostriedok zrealizuje úlohu v žiadanom čase a v určených podmienkach a že v čase realizácie sa nevyskytne porucha, alebo ak sa vyskytne, je možné ju rýchlo odstrániť, takže to nebude mať výrazne negatívny dôsledok na výsledný efekt prepravnej činnosti.

V prevádzke dopravného prostriedku významne platí „just in time“ teda snahou je prevádzkovať dopravný prostriedok so žiadanými resp. minimálnymi poruchami. Nachádzame sa teda v oblasti definovania bezporuchovoosti resp. jej zvyšovania. Z celého technologického procesu prevádzky dopravného prostriedku nemôžeme vylúčiť oblasť diagnostikovania (opraviteľnosti), pretože včasné a správne predikovanie možnosti vzniku poruchy ešte neznamená nedokončenie prepravnej činnosti, ale môže naopak zvýšiť úroveň pravdepodobnosti dokončenia technologického procesu prepravy.

## 2. Opis modelu prevádzkovej situácie.

Prípad, že diagnostika technického stavu dopravného prostriedku môže zvyšovať hodnoty pravdepodobnosti splnenia technologického procesu prepravy je možné interpretovať na jednoduchom modeli situácií v prevádzke:

1. Poznáme čas na realizáciu technologického procesu prepravy dopravným prostriedkom  $T_s$ , kde  $T_s = (0; t_s)$ . Uvažujeme, že čas je stály, nemení sa.
2. Poznáme čas nevyhnutný na realizáciu technologického procesu prepravy  $T_r$ , kde  $T_r = (0; t_r)$ , uvažujeme, že čas  $T_r$  je tiež stály a nemenný a že  $T_s \geq T_r$ .
3. Dopravný prostriedok podlieha náhodnému výskytu porúch s hustotou pravdepodobnosti  $f(t)$ , pričom

$$f(t) = \lambda(t) \cdot \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right), \quad (1)$$

kde  $\lambda(t)$  - intenzita prúdu.

4. Technický stav dopravného prostriedku je v priebehu realizácie technologického procesu prepravy sledovaný. V prípade poruchy je táto odstránená a preprava zrealizovaná.
5. Časová rezerva umožňujúca prípadnú diagnostiku a odstránenie poruchy je:

$$\Delta T = T_s - T_r$$

- For a user (a carrier), the reliability (by STN 010102) creates the impression that a means of transport will comply transport demands meeting the defined conditions and the time limits. It is therefore clear that transport is an irreversible action.
- For a user, no-failure operation means that a means of transport fulfils required tasks without a failure and under defined conditions of operation.
- For a user, reparability is a property of a means of transport which means that in case of failure it is possible to find the cause and the location of the failure (the ability to diagnose a failure) and to remove it.

From what has been mentioned above it follows that reliability means that a means of transport will carry out its task in a required time and under specified conditions, without a failure, and in case there will be a failure, it will be possible to remove it quickly so that it will not have a distinctly negative consequence on the finite effect of transportation.

The rule of “just in time” applies to the operation of a means of transport. That means that there is an effort to operate the means of transport with no or minimum failure. Now, this is an area of how to define a no-failure operation and its improvement. The area of ability to diagnose a failure (reparability) cannot be excluded from the whole technological process of operation of a means of transport as an early and correct prediction of the possible appearance of a failure does not necessarily mean abortion of the transportation. On the contrary, it can raise the probability of the completion of the technological process of transportation.

## 2. Description of the model of a situation of operation.

The case of the possibility of raising the probability of the completion of the technological process of transportation by the diagnostics of technical conditions may be represented by a simple model of situations in operation:

1. We know the time for the implementation of the technological process of transportation by a means of transport  $T_s$ , where  $T_s = (0; t_s)$ . We consider time constant.
2. We know the time needed for the implementation of the technological process of transportation  $T_r$ , where  $T_r = (0; t_r)$ , the time  $T_r$  is also constant and  $T_s \geq T_r$ .
3. The means of transport is liable to the random occurrence of failures with probability density  $f(t)$ , where

$$f(t) = \lambda(t) \cdot \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right), \quad (1)$$

where:  $\lambda(t)$  - current intensity

4. During the implementation of the technological process of transportation the technical condition of the means of transport is observed. In case of failure, the failure is removed and the transportation is implemented.
5. The time reserve which allows possible diagnostics and failure elimination is:  
 $\Delta T = T_s - T_r$

6. Maximálny prípustný počet diagnosticko-nápravných úkonov s ohľadom na danú časovú rezervu  $\Delta T$  je „ $n$ “.
7. Každá porucha prerušuje technologický proces prepravy a ohrozuje úspešný výsledok prepravy.
8. pravdepodobnosť dopravného prostriedku plniť prepravnú úlohu v čase  $t_x$  teda  $T_x = (0; t_x)$  vplyva na známy vzťah:

$$R(T) = \int_{t_x}^{\infty} f(t) dt. \quad (2)$$

#### Prípád 1

Časová rezerva  $\Delta T$  je taká malá, že  $n = 0$ . Dopravný prostriedok môže zrealizovať prepravnú úlohu iba vtedy, ak sú splnené tieto dve podmienky:

1. dopravný prostriedok je v čase začiatku prepravnej úlohy prevádzkyschopný (bez poruchy),
2. technologický proces prepravy zrealizuje bez poškodenia (bez poruchy).

Ak označíme:  $R_{(o)} \equiv R_o$  - pravdepodobnosť bezporuchového stavu dopravného prostriedku v čase  $t = 0$ ,  $R(T_r)$  - pravdepodobnosť bezporuchového stavu dopravného prostriedku v intervale  $(0; t_r)$ , pričom  $t_r$  - je čas uskutočnenia prepravnej úlohy

Pravdepodobnosť zrealizovania prepravnej úlohy v tomto prípade vyjadruje zápis:

$$P_o(T_r) = P_o^r = R_{(o)} \cdot R(T_r) = R_o \cdot \int_{t_z}^{\infty} f_o(t) \cdot dt, \quad (3)$$

kde:  $f_o(t)$  - hustota pravdepodobnosti v intervale  $(0; t_r)$ ,

$P_o^r$  - pravdepodobnosť zrealizovania technologického procesu prepravy, keď dopravný prostriedok v čase  $t = 0$  je bez poruchy a v priebehu prepravy sa porucha nevykysne.

#### Prípád 2

Časová rezerva  $\Delta T$  je taká, že  $n = 1$ . Dopravný prostriedok vykoná úlohu iba vtedy, ak bude splnená niektorá z týchto troch podmienok:

- a) dopravný prostriedok je bez poruchy v čase  $t = 0$  a ostane bez poruchy počas realizácie procesu prepravy  $T_r$ ,
- b) dopravný prostriedok je bez poruchy v čase  $t = 0$  a ostane bez poruchy počas realizácie procesu prepravy sa vyskytne jedna porucha, ktorá však bude odstránená v čase kratšom ako  $\Delta T$  a po odstránení bude dopravný prostriedok pokračovať v technologickom procese prepravy,
- c) dopravný prostriedok je v poruche v čase  $t = 0$ . Táto porucha sa odstránení v čase kratšom ako  $\Delta T$  a po odstránení bude dopravný prostriedok pokračovať v technologickom procese prepravy.

Pravdepodobnosť realizácie technologického procesu prepravy sa rovná počtu pravdepodobnosti uvedených troch prípadov:

$$P_1(T_r) = P_o^r + P_1^r + P_1^N \quad (4)$$

6. The maximum allowable number of diagnostic-corrective operations with respect to the given time reserve  $\Delta T$  is „ $n$ “.
7. Every failure interrupts the technological process of transportation and endangers successful result of transportation.
8. The probability of fulfilling the transportation task by the means of transport in time  $t_x$ , that is  $T_x = (0; t_x)$ , influences the known formula:

$$R(T) = \int_{t_x}^{\infty} f(t) dt \quad (2)$$

#### Case 1

The time reserve  $\Delta T$  is so small, that  $n = 0$ . A means of transport can implement the transportation task only if these two conditions are met:

- 1) In the time of the beginning of the transportation task, the means of transport is able to perform transportation (without a failure),
- 2) It will perform the technological process without any damage (without a failure).

If we denote:  $R_{(o)} \equiv R_o$  - probability of failure-free state of the means of transport in time  $t = 0$ ,  $R(T_r)$  - probability of failure-free state of the means of transport during the interval of  $(0; t_r)$ , when:  $t_r$  - is time of implementation of the transportation task

In this case, the probability of the implementation of the technological process is expressed by the following formula:

$$P_o(T_r) = P_o^r = R_{(o)} \cdot R(T_r) = R_o \cdot \int_{t_z}^{\infty} f_o(t) \cdot dt, \quad (3)$$

where:  $f_o(t)$  - probability density in the interval of  $(0; t_r)$ ,

$P_o^r$  - probability of the implementation of the technological process of transportation, when, in time  $t = 0$ , the means of transport is without a failure and no failure occurs during the transportation.

#### Case 2

The time reserve  $\Delta T$  is when  $n = 1$ . A means of transport will perform its task only if one of these three conditions is met:

- a) In time  $t = 0$ , a means of transport is without a failure and will remain without a failure during the implementation of the process of transportation  $T_r$ ,
- b) In time  $t = 0$ , a means of transport is without a failure but one failure will occur during the time of the implementation of the process of transportation. However, this failure will be removed in time shorter than  $\Delta T$  and the means of transport will continue in the technological process of transportation afterwards,
- c) In time  $t = 0$ , a means of transport has a failure. This failure will be removed in time shorter than  $\Delta T$ , and the means of transport will continue in the technological process of transportation afterwards.

The probability of the implementation of the technological process of transportation is equal to the sum of probabilities of the following cases:

$$P_1(T_r) = P_o^r + P_1^r + P_1^N \quad (4)$$

Pravdepodobnosť  $P_o^r$  je daná vzťahom [5]. Pravdepodobnosť  $P_1^r$  je daná:

$$P_1^r = R_o \cdot R_{x_1+y} \int_0^{t_r} f_1(x_1) \cdot \int_{t_r-x_1}^{\infty} f_2(t) \cdot dt \cdot d_{x_1}, \quad (5)$$

kde:  $R_{x_1+y}$  - pravdepodobnosť pozitívneho výsledku, keď sa jedna vyskytujúca porucha odstráni v čase kratšom ako  $\Delta T$ ,

$x_1$  - čas prvej poruchy dopravného prostriedku

$f_1(x_1)$  - hustota porúch v časovom intervale (0;  $x_1$ )

$f_2(t)$  - hustota porúch v časovom intervale ( $x$ ;  $\infty$ )

Tretí člen rovnice  $P_1^N$  je daný výrazom:

$$P_1^N = (1 - R_o) \cdot R_{x_1+y} \int_{t_r}^{\infty} f_0(t) \cdot dt \quad (6)$$

Výsledná pravdepodobnosť realizácie technologického procesu prepravy má potom tvar:

$$P_1(T_r) = R_o \left[ \int_{t_r}^{\infty} f_0(t) \cdot dt + R_{x_1+y} \int_0^{t_r} f_1(x_1) \int_{t_r-x_1}^{\infty} f_2(t) \cdot dt \cdot d_{x_1} + (1 - R_o) \cdot R^{x_1+y} \int_{t_r}^{\infty} f_0(t) \cdot dt \right] \quad (7)$$

kde:  $P_1^r$  - pravdepodobnosť realizácie prepravnej úlohy v čase  $t = 0$ , na začiatku je dopravný prostriedok bez poruchy a v čase realizácie je prípustná jedna porucha

$P_1^N$  - pravdepodobnosť realizácie prepravnej úlohy, keď v čase  $t = 0$ , je dopravný prostriedok v poruche, ale je možnosť odstránenia poruchy.

### Prípád 3

Časová rezerva  $\Delta T$  umožňuje  $N$  odstránení porúch (opráv), teda  $n = N$ . Dopravný prostriedok zrealizuje prepravnú úlohu iba vtedy, ak sa vyskytne niektorý z  $2N + 1$  prípadov:

- dopravný prostriedok je v čase  $t = 0$  bez poruchy a v tomto stave ostane po celý čas realizácie prepravnej úlohy ( $T_r$ )
- dopravný prostriedok je bez poruchy v čase  $t = 0$  a v čase realizácie prepravnej úlohy ( $T_r$ ) sa vyskytne jedna alebo až  $N$  porúch, ktoré sa odstránia jednou resp. až  $N$  opravami. Odstránenie porúch sa musí realizovať v časovej rezerve  $\Delta T$ . Po vykonaní opráv dopravný prostriedok pokračuje v realizácii prepravnej úlohy.
- dopravný prostriedok je v čase  $t = 0$  v poruchovom stave, táto sa odstráni a pokračuje proces prepravy. V čase realizácie prepravy sa vyskytne jedna alebo až  $N - 1$  porúch, ktorá je vždy následne odstránená, avšak v časovej rezerve  $\Delta T$ . Po opravě dopravný prostriedok pokračuje v realizácii prepravnej úlohy.

Pravdepodobnosť realizácie prepravnej úlohy je v tomto prípade súčtom pravdepodobností jednotlivých možností:

$$P_N(T_r) = P_o^r + P_1^r + P_2^r + \dots + P_N^r + P_1^N + P_2^N + \dots + P_N^N \quad (8)$$

The probability  $P_o^r$  is given by the formula [5]. The probability  $P_1^r$  is given by:

$$P_1^r = R_o \cdot R_{x_1+y} \int_0^{t_r} f_1(x_1) \cdot \int_{t_r-x_1}^{\infty} f_2(t) \cdot dt \cdot d_{x_1}, \quad (5)$$

where:  $R_{x_1+y}$  - probability of a positive result when one failure is removed in time shorter than  $\Delta T$

$x_1$  - time of the first failure of the means of transport

$f_1(x_1)$  - frequency of failures in the time period of (0;  $x_1$ )

$f_2(t)$  - frequency of failures in the time period of ( $x$ ;  $\infty$ )

The third term of  $P_1^N$  equation is given by the following expression:

$$P_1^N = (1 - R_o) \cdot R_{x_1+y} \int_{t_r}^{\infty} f_0(t) \cdot dt \quad (6)$$

Hence, the resultant probability of the implementation of the technological process of transportation is:

where:  $P_1^r$  - probability of the implementation of the transportation task in time  $t = 0$ , the means of transport is without a failure at the beginning of transportation and during the time of transportation, one failure is allowable

$P_1^N$  - probability of the implementation of the transportation task, when, in time  $t = 0$  the means of transport does have a failure but there is a possibility of its removal.

### Case 3

The time reserve  $\Delta T$  makes  $N$  removals of failures (repairs) possible, i.e.  $n = N$ . A means of transport will perform its transportation task only if one of the following  $2N + 1$  cases occurs.

- In time  $t = 0$ , the means of transport is without a failure and will remain in this condition for the time of the implementation of the transportation task ( $T_r$ ).
- In time  $t = 0$ , the means of transport is without a failure and in time of the implementation of the transportation task ( $T_r$ ), one or  $N$  failures will occur. These will be removed by one or  $N$  repairs. The removals of the failures must take place within the time reserve  $\Delta T$ . After the repairs are done, the means of transport continues implementing its transportation task.
- In time  $t = 0$ , the means of transport has a failure which will be removed and the process of transportation will continue. During the transportation, one or  $N - 1$  failures will occur which will always be repaired within the time reserve  $\Delta T$ . After a repair, the means of transport will continue implementing its transportation task.

Probability of the implementation of the transportation task in this case, is the sum of probabilities of the different possibilities:

$$P_N(T_r) = P_o^r + P_1^r + P_2^r + \dots + P_N^r + P_1^N + P_2^N + \dots + P_N^N \quad (8)$$

### 3. Úroveň informácie o stave dopravného prostriedku a pravdepodobnosti jeho bezporuchovosti

Prijatie racionálneho rozhodnutia sa na realizáciu prepravnej úlohy je nevyhnutná vstupná informácie o stave objektu. Táto môže byť daná pravdepodobnosťou bezporuchového stavu  $R_o$ . Stav dopravného prostriedku v prevádzke je možné zistiť diagnostikou. Najčastejší výsledok diagnostiky technického stavu dopravného prostriedku je dvojstavový model (0; 1), teda stav bezporuchový alebo poruchový.

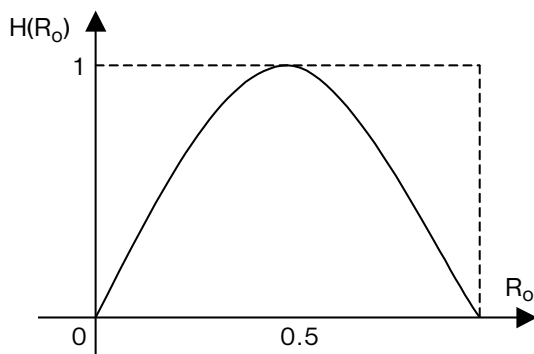
Ak vychádzame z interpretácie podľa Shannona o neohraničení bezporuchového stavu, pre dopravný prostriedok platí:

$$H(P(\epsilon = \epsilon')) = -R_o \log_2 R_o - (1 - R_o) \log_2 (1 - R_o) \quad (9)$$

Úroveň informácie  $I$  o jeho stave, akú umožňuje diagnostika v prevádzke dopravného prostriedku je daná rovnicou:

$$I(P(\epsilon = \epsilon')) = I(R_o) = 1 - H(R_o) \quad (10)$$

Podľa tejto rovnice závisí vzťah entropie od pravdepodobnosti bezporuchovosti stavu dopravného prostriedku ako aj pravdepodobnosť jeho bezporuchovosti od úrovne informácie v prípade dvojstavového modelu.



Obr. 1. Vzťah entropie od pravdepodobnosti bezporuchového stavu dopravného prostriedku ako aj pravdepodobnosti bezporuchového stavu od kvality informácie o jeho stave pri dvojstavovom modeli

Fig. 1. The dependence of entropy on the probability of no-failure state of a means of transport, and the dependence of the probability of no-failure state on the quality of information about its condition at the double-state model

Ako vyplýva z obrázku 1 všetkým hodnotám intonácie  $I > 0$  prislúchajú dve hodnoty pravdepodobnosti bezporuchového stavu. Takouto informáciou môže byť napríklad informácia z vykonanej diagnostiky.

V prevádzkovej praxi pri realizácii technologického procesu prepravy dopravné prostriedky dosahujú vysokú produktivitu, vysoký súčiniteľ využitia vozidlového parku, pričom pri hodnotení je možné použiť viacstavový model. Takto je možné sledovať vzniknuté poruchy v závislosti od kilometrických priebehov a štatisticky ich vyhodnotiť.

### 3. The level of information about the condition of a means of transport and the probability of its no-failure operation.

A rational decision of the implementation of a transportation task is an inevitable entry information about the condition of an object. It may be given by the probability of no-failure operation condition  $R_o$ . The condition of a means of transport during operation may be found out by diagnostics. The most frequent result of diagnostics of the technical condition of a means of transport is the double-state model (0; 1), i.e. a failure free or a failure condition.

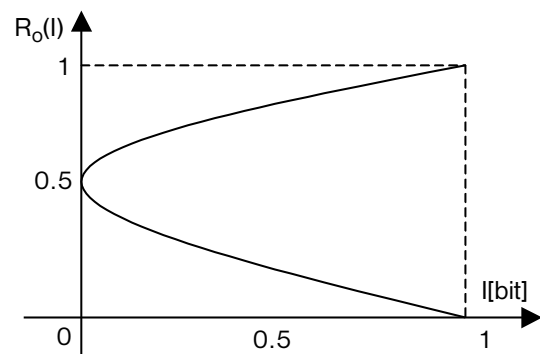
If we start with the Shannon's interpretation of unlimitation of no-failure operation condition, the following is true:

$$H(P(\epsilon = \epsilon')) = -R_o \log_2 R_o - (1 - R_o) \log_2 (1 - R_o) \quad (9)$$

The level of information  $I$  about the condition of the means of transport, which is provided by diagnostics during the operation of the means of transport, is given by the following formula:

$$I(P(\epsilon = \epsilon')) = I(R_o) = 1 - H(R_o) \quad (10)$$

From this formula, the entropy relationship depends on the probability of no-failure operation state of the means of transport; and the probability of no-failure operation state depends on the level of information in case of the double-state model.



From Figure 1, it may be concluded that two values of the probability of no-failure condition ascribe to all values of intonation  $I > 0$ . An information resulting from diagnostics done may be an example of such an information.

In operation practice, during the implementation of the technological process of transportation, means of transport reach high productivity, high coefficient of the exploitation of the vehicle park, and, when evaluating, it is possible to use a multi-state model. This way, it is possible to observe occurring failures in dependence on the kilometeric course and evaluate them statistically.

Pre účely analýzy poruchovosti je možné využiť model fenomenologickej teórie spoľahlivosti, ktorý spočíva na trvalých informačných systémoch o prevádzkovej spoľahlivosti, ktorá sa dá analyzovať podľa zvolených štatistických modelov. Praktické skúsenosti z hodnotenia spoľahlivosti (bezporuchovosti) dopravných prostriedkov preukázali, že optimálnym štatistickým modelom je trojparametrický Weibullovo model.

Tento pri zovšeobecnení prakticky pokrýva väčšinu možných priebehov náhodných veličín (napr. porúch). Weibullovo trojparametrický model má tvar distribučnej funkcie

$$F(x, b, d, c) = \frac{1}{0} - \exp[-(t - c/d)^b], \quad \begin{matrix} x \geq c \\ x < c \end{matrix}, \quad b > 0, \quad d > 0, \quad c \geq 0 \quad (11)$$

alebo

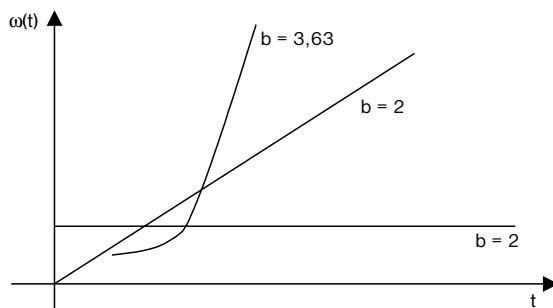
or

$$F(x, b, d, c) = \frac{1}{0} - \exp[-(t - c/a)^b], \quad \begin{matrix} t \geq c \\ t < c \end{matrix}, \quad b > 0, \quad a > 0, \quad c \geq 0 \quad (12)$$

kde:  $b$  - parameter tvaru  
 $d$  - parameter mierky  
 $c$  - parameter polohy (prahová hodnota výskytu náhodnej veličiny, tiež parameter počiatku a v teórii spoľahlivosti sa tiež nazýva „zaručený čas života“),  
 $a$  - parameter rozptylu

where:  $b$  - parameter of a shape  
 $d$  - parameter of a measuring criterion  
 $c$  - parameter of position (threshold value of the occurrence of the random variable, also the parameter of the beginning, and, in the reliability theory it is also called the “guaranteed lifetime”),  
 $a$  - parameter of a variance

Vychádza sa pritom z predpokladu, že štatistický model je iba jeden a pri praktickom použití sa bližšie špecifikuje konkrétnymi hodnotami parametrov  $b, d, a, c$ . Vhodnou aproximáciou môže Weibullovo rozdelenie prejsť na exponenciálne rozdelenie ( $b = 1$ ), normálne rozdelenie ( $b = 3,63$ ) a Ragleighovo rozdelenie ( $b = 2$ ).



Obr. 2 Priebeh parametra  $b$  pre Weibullovo rozdelenie  
 Fig. 2. Parameter of the flow of failures  $b$  for the Weibull's distribution

It is assumed that there is only one statistical model which is, in practical use, specified by particular values of parameters  $b, d, a, c$ . By appropriate approximation, the Weibull's distribution may turn into the exponential distribution ( $b = 1$ ), normal distribution ( $b = 3.63$ ) and Ragleigh's distribution ( $b = 2$ ).

The estimation of the  $b, d, c$  parameters is done by the method of the smallest squares from the conditions:

Odhad parametrov  $b, d, c$  sa uskutočňuje metódou najmenších štvorcov z podmienok:

$$\frac{dF}{db} = 0, \quad \frac{dF}{dd} = 0, \quad \frac{dF}{dc} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{dF}{db} = 0, \quad \frac{dF}{dd} = 0, \quad \frac{dF}{dc} = 0 \quad (13)$$

Z praktického spracovania náhodných veličín pri hodnotení poruchovosti je možné až 98 % ich priebehov do 1. celkovej resp. veľkej opravy aproximovať Weibulloým rozdelením. Toto rozdelenie pravdepodobností majú časy života (časy do poruchy) mnohé strojové súčiastky i technické systémy, pre ktoré nevyhovuje exponenciálny model a zvlášť také, u ktorých sa prejavuje mechanické opotrebenie a únava materiálu. Taktiež mechanické vlastnosti materiálov, ako je napr. pevnosť, je popísaná Weibulloým modelom rozdelenia pravdepodobnosti:

From the practical processing of the random variables when evaluating the failure rate, 98 % of their courses, before the first total (overall) repair, may be approximated by the Weibull's distribution. The “lifetimes” (time before a repair) of many machine components and technical systems; for which the exponential model is not suitable, and especially those, that are mechanically worn out and have the signs of the fatigue; have the Weibull's probability distribution. The mechanical properties of materials, e.g. strength, are also described by the Weibull's probability distribution model:

Stredná hodnota tohto rozdelenia je určená vzťahom:

The mean of this distribution is given by the formula:

$$E(x) = c + \Gamma(1/b + 1) \quad (14)$$

$$E(x) = c + \Gamma(1/b + 1) \quad (14)$$

a rozptyl

$$D(x) = \Gamma(2/b + 1) - \Gamma^2(1/b + 1) \quad (15)$$

V teórii pravdepodobnosti a matematickej štatistike je ústredným pojmom Normálne rozdelenie pravdepodobnosti. Jeho hustota je vyjadrená vzťahom

$$f(x, \mu, \sigma) = 1/(\sigma \sqrt{2\pi}) \exp(-(x - \mu)^2/2\sigma^2) \quad (16)$$

kde:  $E(x) = \mu$ ; stredná hodnota

$D(x) = \sigma$ ; rozptyl

Zhodu medzi empirickým histogramom a zvoleným teoretickým modelom testujeme dvoma kritériami, a to buď kritériom Chi-kvadrát, alebo kritériom Kolmogorova.

Kritérium Kolmogorova má tvar:

$$\lim P \{(\sqrt{N} \max |F_e(x_j) - F_t(x_j)| < y)\} = \begin{matrix} K(y) & y = 0 \\ 0 & \text{inak} \end{matrix} \quad (17)$$

kde:  $N$  - je počet pozorovaní

$F_e$  - je empirická distribučná funkcia

$F_t$  - je teoretická distribučná funkcia

Hodnoty funkcie  $K(y)$  sú buď tabelované, alebo sa dajú určiť zo vzťahu:

$$K(y) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^{ke - 2kkyy} \quad (18)$$

Pri testovaní zhody teoretického modelu s empirickým histogramom treba uvažovať s tzv. stupňami voľnosti pre kritérium Chi-kvadrát. Počet stupňov voľnosti je v tabuľke č. 1

Tabuľka počtu stupňov voľnosti

Tab. 1

Typ rozdelenia	Stupne voľnosti	Stupne voľnosti + 1 param.
Normálne	$N - 3$	
Exponenciálne	$N - 2$	$N - 3$ 2 param.
Weibullovo	$N - 3$	$N - 4$ 3 param.

Zhodu medzi empirickými a teoretickým rozdelením považujeme za veľmi dobrú, ak je:

$$1 - y = 0,95 \text{ až } 0,99 \quad (19)$$

za vyhovujúcu, ak

$$1 - y = 0,9 \text{ až } 0,95 \quad (20)$$

V technickej praxi automobilovej prevádzky sa uspokojujeme so zhodou 0,6 - 0,7. Pre doplnenie štatistických charakteristík boli pri vyhodnocovaní urobené odhady 10 % a 90 % kvantilov. Kvantil je definovaný vzťahom:

The variance is given by the formula:

$$D(x) = \Gamma(2/b + 1) - \Gamma^2(1/b + 1) \quad (15)$$

The main term of the probability theory and the mathematical statistics is the term of the Normal Probability Distribution. Its density is expressed by the formula:

$$f(x, \mu, \sigma) = 1/(\sigma \sqrt{2\pi}) \exp(-(x - \mu)^2/2\sigma^2) \quad (16)$$

where:  $E(x) = \mu$ ; mean

$D(x) = \sigma$ ; variance

The coincidence between the empirical histogram and chosen theoretical model is tested by two criteria, either by the Chi-square criterion, or by the Kolmogorov's criterion.

The Kolmogorov's criterion is:

$$\lim P \{(\sqrt{N} \max |F_e(x_j) - F_t(x_j)| < y)\} = \begin{matrix} K(y) & y = 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{matrix} \quad (17)$$

where:  $N$  - number of observations

$F_e$  - empirical distribution function

$F_t$  - theoretical distribution function

The values of function  $K(y)$  are either tabulated, or derived from the following formula:

$$K(y) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^{ke - 2kkyy} \quad (18)$$

When testing the coincidence of the theoretical model and the empirical histogram, so called degrees of freedom for the Chi-square need to be considered. The number of the degrees of freedom is shown in Table 1.

Table of the number of the degrees of freedom

Tab. 1

Type of Distribution	Degree of Freedom	Degree of Freedom + 1 Parameter
Normal	$N - 3$	
Exponential	$N - 2$	$N - 3$ 2 param.
Weibull's	$N - 3$	$N - 4$ 3 param.

We consider the coincidence of the empirical and the theoretical distribution: very good, if

$$1 - y = 0.95 \text{ to } 0.99 \quad (19)$$

convenient, if

$$1 - y = 0.9 \text{ to } 0.95 \quad (20)$$

In the technical practice of the motorcar operation, we are satisfied when the coincidence is 0.6 - 0.7. During the evaluation, assessments of 10 % and 90 % quantiles have been made in order to complete the statistical characteristics. A quantile is defined by the formula:

$$Q(x) = c \cdot (-\log(x)^{1/b} - d) \quad (21)$$

10 % kvantil ( $Q(x)_{10}$ ) udáva vlastne kilometrický priebeh, pri ktorom nastane porucha na 10 % sledovaného súboru. Výsledky parametrov tohto modelu sú uvedené na obrázku 4 spolu s 10 a 90 % kvantilmi.

Priebeh poruchovosti za celú životnosť dopravného prostriedku je možné určiť pomocou parametra prúdu porúch.

$$\omega = \frac{\sum_{i=0}^n p_i}{N(L_2 - L_1)} \left[ \frac{\text{porúch}}{1000 \text{ km}} \right] \quad (22)$$

$\sum p_i$  - počet poruch v danom intervale

$N$  - počet sledovaných vozidiel v danom intervale

$L_2 - L_1 = \Delta L$  - daný interval, na ktorom boli poruchy sledované

Prúdy porúch, ich vlastnosti a zákonitosti sú dôležitou zložkou teórie spoľahlivosti v prevádzke dopravných prostriedkov. Poruchovosť ako ukazovateľ technického stavu dopravného prostriedku je možné hodnotiť pomocou regresnej analýzy. Empirické hodnoty parametra prúdu porúch v závislosti od kilometrického priebehu sa aproximuje vhodnou krivkou, čím sa určí trend parametra prúdu porúch.

K voľbe regresnej čiary je potrebné pristupovať z dvoch hľadísk:

1. matematické-spočívajú v tom, že pre empirické údaje sa zvolí krivka, ktorej počet parametrov závisí od počtu hodnôt premennej veličiny,
2. technicko - interpretačné - spočívajú v tom, že musíme zvoliť taký druh čiary, ktorý dobre opisuje skúmané javy a jej jednotlivé parametre dokážeme interpretovať.

Na obrázku 4 je znázornený priebeh parametra prúdu porúch dopravných prostriedkov Š MTS 24 pre skupinu „motor“. Pre určenie trendu bola vybraná exponenciála prvého stupňa uvádzaná vo všeobecnom tvare:

$$y = a_0 \cdot [\exp(a_1 x) \dots] \quad (23)$$

Pre vzájomnú porovnateľnosť informácie o poruchách dopravných prostriedkov je potrebné používať rovnako definovanú krivku (funkciu).

#### 4. Záver

Z vyššie opísaných faktorov vyplýva, že bezporuchovosť dopravného prostriedku chápaná ako pravdepodobnosť realizo-

$$Q(x) = c \cdot (-\log(x)^{1/b} - d) \quad (21)$$

10 % quantile ( $Q(x)_{10}$ ) sets the kilometrical course during which, a failure of 10 % of the observed file will occur. The results of the parameters of this model are shown in Figure 3, together with the 10 and the 90 % quantiles.

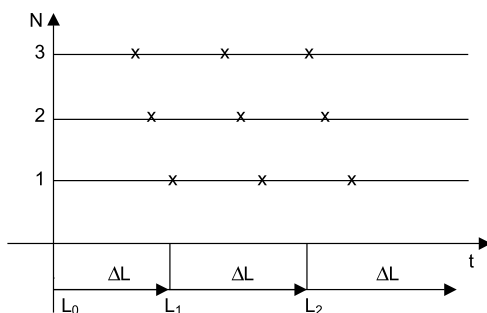
The course of failure rate during the lifetime of a means of transport may be derived using the parameter of the flow of failures.

$$\omega = \frac{\sum_{i=0}^n p_i}{N(L_2 - L_1)} \left[ \frac{\text{failures}}{1000 \text{ km}} \right] \quad (22)$$

$\sum p_i$  - number of failures in a given interval

$N$  - number of observed vehicles in a given interval

$L_2 - L_1 = \Delta L$  - given interval, during which, the failures are observed



Obr. 3. Výskyt porúch  
Fig. 3. Occurrence of failures

The flows of failures, their properties and regularities, are an important part of the theory of reliability of the operation of means of transport. The failure rate, as an indicator of the technical condition of a means of transport, may be evaluated by the regression analysis. The empirical values of the parameter of the flow of failures in dependence on the kilometrical course are approximated by appropriate curve which

will define tendency of the parameter of the flow of failures.

An approach from two views is needed in order to select a regression line:

1. mathematical point of view - the selection of a curve for the empirical data is based on the number of parameters dependent on the number of values of the variable
2. technical and interpretative point of view - the type of line that needs to be chosen has to describe observed phenomena well, and we must be able to interpret its particular parameters

The Figure 4 shows the course of the parameter of the flow of failures of Š MTS 24 type of means of transport, for the "motor" group. For the definition of tendency, the exponential curve of the first degree, in the general form, has been selected:

$$y = a_0 \cdot [\exp(a_1 x) \dots] \quad (23)$$

For the mutual comparability of the information about failures of means of transport, usage of an equally defined curve (function) is required.

#### 4. Conclusion

From the above described factors results, that no-failure operation of a means of transport, understood as the probability of

vania prepravnej úlohy je funkciou úrovne informácií o jeho stave na základe diagnostických informácií. V praxi ide o prakticky o minimalizáciu časov na realizáciu technologického procesu prepravy a na odstraňovanie poruchy.

the implementation of a transportation task, is a function of the level of information about its condition, based on diagnostic information. In practice, it is the minimisation of times needed for the implementation of the technological process of transportation and for removal of a failure.

Output of data processing group „motor“ Š MTS 24

Exponential function  $y = A(0)\exp[A < 1 > x + A < 2 > x^2 + \dots + A < M > x^M]$

DET <A> = 1685625.0000

M = 1.0000

M = 1.0

A(i)	Regression coefficients		Standard fault reg.coefficients.	Statistics t
	Central format	E-format		
A(0) =	0.62886	6.288573268270E-01	s(0)= 0.12745	t(0)= 3.6394
A(1) =	0.01146	1.145664597910E-02	s(1)= 0.00144	t(1)= 7.9790
				t(kr.)=2.0552

Fisher\_s general F-test

Source of variability	degree of freedom df	sum of square SS	average square MS	statistics F
Regression	1	7.3749	7.3749	61.4691
Residual	28	3.3594	0.1200	0.3464
Total	29	10.7342		

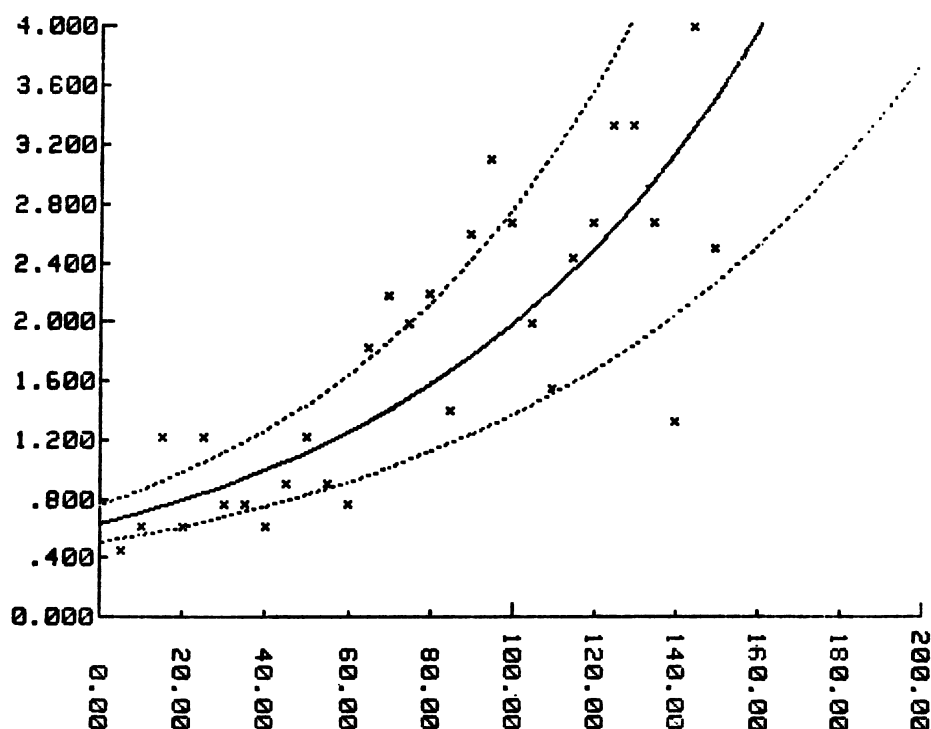
r(x,y) = 0.8289

df (N-M)= 29.0000

N = 30.0000

r(kr.) = 0.3465

A(i)	Regression coefficients	95 % CONFIDENCE INTERVAL	
		Lower-bound	Upperbound
A(0) =	0.62886	0.57936	0.67836
A(1) =	0.01146	0.01090	0.01201



Obr. 4. Parameter prúdu porúch

Fig. 4. The parameter of failure course

## Literatúra - References

- [1] SMALKO, Z.: *Monitorowanie statystyczne jako metoda ostrzegania przed niebezpiecznymi sytuacjami w systemie: czlowiek - obiekt - otoczenie*. Materiały Sympozjum „Bezpieczeństwo systemów”, Kiekrz 94.
- [2] LIŠČÁK, Š.: *Reliability of operation of conveyance*. Konstrukcia badania, eksploatacja, technologia pojazdow samochodnych i silnikow spalinowych. zeszyt 17, PAN, Krakow 1999
- [3] BÍLY, M. SEDLÁČEK, J.: *Spoľahlivosť mechanických konštrukcií*, VEDA, Bratislava 1983

### Call for Papers

5<sup>th</sup> International Scientific Conference

## Digital Signal Processing and Multimedia Communications DSP-MCOM 2001

November 27-29, 2001, Košice, Slovakia  
in conjunction with DIGIT@L exhibition

<http://www.tuke.sk/fei-kemt/dsp-mcom2001>  
e-mail: [dsp-mcom@tuke.sk](mailto:dsp-mcom@tuke.sk), [dspmcom@tuke.sk](mailto:dspmcom@tuke.sk)

DSP-MCOM 2001 is organized by Department of Electronics and Multimedia Communications at the University of Technology in Košice, Slovakia. Besides discussions on traditional scientific topics and a broad spectrum of recent achievements it seems appropriate to analyse the past and look ahead, specifying the main trends and future developments of Digital Signal Processing and Multimedia Communications.

DSP-MCOM 2001 scientific conference will be accompanied by DIGIT@L exhibition organized by 1 . KVS (1 . košická výstavná a stavebná spoločnosť s r.o., [www.kvs.sk](http://www.kvs.sk))

#### Topics of interest

Topics of interest include, however are not limited to:

- digital signal processing
- digital filtering
- image compression
- image enhancement
- speech processing
- neural networks
- pattern recognition
- digital video broadcasting
- multimedia signal processing
- multimedia applications
- multimedia conferencing
- mobile networks
- spread spectrum communications
- e-learning

#### Instructions to authors

Extended abstract should not exceed two pages, 10 pt Times New Roman letter size. Detailed instructions for paper submission are available on DSP-MCOM web site [www.tuke.sk/fei-kemt/dsp-mcom2001](http://www.tuke.sk/fei-kemt/dsp-mcom2001). All extended abstracts will be peer-reviewed. After paper acceptance authors are required to complete the contribution. Final paper should not exceed four pages. Paper form of final contribution is identical with paper form of extended abstract. At least one author of each accepted paper is required to register. Accepted papers will be published in the conference proceedings.

#### Important dates

Submission of two-page extended abstract:	<b>May 15, 2001</b>
Notification of acceptance:	<b>June 15, 2001</b>
Final (camera-ready) paper:	<b>October 15, 2001</b>
Conference registration:	<b>November 27, 2001</b>