



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**PŘÍSPĚVEK KE STANOVENÍ ROZSAHU ZKOUŠKY
BEZPORUCHOVOSTI A ŽIVOTNOSTI**

Rudolf Holub¹

Frequently, a manufacturer will have to demonstrate that a certain product has met a goal of certain reliability at a given time with a specific confidence. Often, it will be desired to demonstrate that this goal has been met with a zero-failure test. In order to design and conduct such a test, something about the behaviour of the product will need to be known, e. g. the shape parameter of the product's life distribution. Beyond this, nothing more about the product and the test is known, and the engineer designing the test have to study the trade-offs between the number of units and amount of test time needed to demonstrate the desired goal. In cases like this, it is useful to show the possibilities of how a certain specification can be met. The methodology of such a demonstration requires not only the use of reasonable assumption of the distribution of the product lifetimes, but the distribution's shape parameter must be provided as well. Additional information that must be supplied include the reliability to be demonstrated, the confidence level at which the demonstration takes place, the acceptable number of failures, and either the number of available units or the amount of available test time. The output of this analysis can be the amount of time required to test the available units, or the required number of units that need to be tested during the available test time.

Klíčová slova: bezporuchovost, zkouška bezporuchovosti, rozsah zkoušky, confidence,

Některé vybrané pojmy a definice.

Bezporuchovost: schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

Životnost: schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do dosažení mezního stavu.

Objekt (Entita): jakákoliv část, součást, zařízení, část systému, funkční jednotka, přístroj nebo systém, se kterým je možné se individuálně zabývat.

Porucha: ukončení schopnosti objektu plnit požadované funkce. Po poruše je objekt v poruchovém stavu. Porucha je „jev“ ne rozdíl od „poruchového stavu“, což je stav, trvající určitou dobu.

Doba provozu do poruchy (time to failure): Celková doba provozu objektu od okamžiku jeho prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy, nebo od okamžiku obnovy do příští poruchy. Je hlavní pozorovanou (měřenou) veličinou v průběhu zkoušek bezporuchovosti.

¹ Prof. Ing. Rudolf HOLUB, CSc.: Katedra bojových a dopravních vozidel; Vojenská akademie Brno, Kounicova 65; 612 00 Brno; tel.: +420/5/41183385; fax.: +420/5/41182083; E-mail: rudolf.holub@vabo.cz.

Doba provozu mezi poruchami (operating time between failures): Celková doba provozu mezi dvěma po sobě jdoucími poruchami opravovaného objektu. Označuje se obvykle symbolem t_i , kde i označuje pořadí doby mezi poruchami od okamžiku prvního uvedení objektu do použitelného stavu.

Zkouška spolehlivosti: zkouška, prováděná za účelem experimentálního stanovení, ověření nebo porovnání ukazatelů spolehlivosti třídy zkušebních vzorků.

Zkouška bezporuchovosti: experiment prováděný za účelem měření, kvantifikace nebo klasifikace ukazatelů či vlastností bezporuchovosti objektu.

Rozsah zkoušky spolehlivosti: rozsahem zkoušky se rozumí stanovení vzájemných relací mezi veličinami : t , (T_C , t_{TEST}) , n , (r), C

kde : t je obecné označení doby trvání zkoušky;
 T_C , t_{TEST} je kumulovaná (ekvivalentní) doba trvání zkoušky všech objektů;
 npočet zkoušených výrobků v souboru (ve vzorku);
 rpočet poruch vzniklých na souboru n výrobků;
 Cpožadovaná konfidenční úroveň zkoušky.

Závorky u některých údajů znamenají, že je nutné rozlišovat charakter doby provozu a četnost a strukturu náhodných jevů (poruch) u souboru zkoušených objektů.

Prokazování (demonstrace) bezporuchovosti.

Hovoříme-li o prokazování bezporuchovosti jako jedné z nejdůležitějších vlastností spolehlivosti máme z praktického hlediska na mysli vždy prokazování v technických specifikacích zadaných ukazatelů bezporuchovosti. Nejčastěji jde např. o ukazatele typu: $R(t)$, MTBF, MTTR, případně jiné. Často veškerý účel návrhu konkrétní zkoušky směřuje k tomu, aby buď bezporuchová zkouška nebo zkouška s určitým počtem poruch demonstrovala, že požadavek na bezporuchovost byl během určité doby trvání zkoušky, T_{DEMO} , prokázán prostřednictvím např. R_{DEMO} . S výjimkou exponenciálního rozdělení (a při zanedbání parametru posunutí počátku, parametru polohy) je funkce bezporuchovosti funkcí více než jednoho parametru, konkrétně pro Weibullovo rozdělení je funkcí doby provozu t , parametru tvaru β a měřítka η .

$$R_{DEMO} = \psi(t_{DEMO}, \beta, \eta, C) \quad (1)$$

kde: t_{DEMO} ...je taková doba provozu (zkoušky), během které má být bezporuchovost demonstrována, prokázána;
 βje parametr tvaru předpokládaného Weibullova zákona rozdělení pravděpodobnosti;
 ηje parametr měřítka téhož rozdělení;
 Cje požadovaná konfidenční úroveň výsledku zkoušky.

Protože požadované vstupní informace do procesu zkoušení zahrnují R_{DEMO} , t_{DEMO} , β a C , hodnota parametru měřítka η může být „vyjádřena“ explicitně z funkce bezporuchovosti uvažovaného zákona rozdělení pravděpodobnosti a bude potom použita při výpočtu ostatních parametrů bezporuchovosti, jako R_{TEST} (což je hodnota funkce bezporuchovosti na konci zkoušky) a která je těsně svázána s výpočtem kterékoliv hodnoty dalších parametrů bezporuchovosti. To, jak je takový výpočet proveden závisí na tom, zda je cílem stanovit počet prvků, potřebných pro pevně vymezenou dobu trvání zkoušky, nebo zda je cílem stanovit jak dlouho má zkouška trvat při pevně zadaném počtu zkoušených prvků.

Stanovení počtu prvků pro pevně danou dobu trvání zkoušky.

Jestliže je v požadavcích stanoveno, že zkouška bude trvat určitou dobu, t_{TEST} , musí být stanoveno, kolik prvků je nutné pro ověření specifikací zařadit do zkoušky. Prvním krokem je výpočet hodnoty R_{TEST} . To je poměrně snadný úkol, protože:

$$R_{\text{TEST}} = \Phi(t_{\text{TEST}}, \beta, \eta) \quad (2)$$

Protože veličiny t_{TEST} , β , η jsou před zahájením zkoušky známy (nebo předpokládány) hodnoty, je možné dosadit je do konkrétního vztahu pro funkci bezporuchovosti. Například pro Weibullův zákon bude:

$$R_{\text{TEST}} = e^{-\left(\frac{t_{\text{TEST}}}{\eta}\right)^\beta}$$

A nyní pro výpočet potřebného počtu zkoušených prvků již použijeme vztah pro kumulativní hodnotu pravděpodobnosti diskrétního Binomického rozdělení ve tvaru:

$$1 - C = \sum_{i=0}^r \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot (1 - R_{\text{TEST}})^i \cdot R_{\text{TEST}}^{(n-i)} \quad (3)$$

Kde: Cje požadovaná konfidenční úroveň výsledku zkoušky;
 rje přípustný (uvažovaný) počet poruch v průběhu zkoušky;
 nje celkový počet prvků, zařazených do zkoušky;
 R_{TEST} ...je hodnota funkce bezporuchovosti na konci zkoušky (pro $t = t_{\text{TEST}}$).

Protože C a r jsou požadované a známé vstupní hodnoty pro proces zkoušení a R_{TEST} byl již dříve určen, zbývá pouze řešit rovnici (3) vzhledem k parametru n , což je počet prvků, které je třeba zařadit do zkoušky k provedení průkazu bezporuchovosti. Vypočtená hodnota n musí být zaokrouhlena na celé nejbližší vyšší celé číslo (počet prvků). Příklad požadovaného počtu prvků n pro případ bezporuchové zkoušky a vybrané kombinace R a C ukazuje tabulka Tab.1.

Tab. 1

R	Konfidenční úroveň: C						
	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,975	0,99
0,99	69	138	160	229	298	367	459
0,975	23	45	53	76	99	121	151
0,95	14	27	31	45	58	72	90
0,9	7	13	15	22	29	35	44
0,8	3	6	7	11	14	17	21
0,75	2	4	5	7	9	11	13
0,5	1	2	3	4	5	6	7

Příklad 1. určení potřebného počtu prvků pro zadanou dobu zkoušky:

V demonstračním příkladu je cílem navrhnout zkoušku pro průkaz (demonstraci) 90%-ní bezporuchovosti, R_{DEMO} pro $t_{\text{DEMO}} = 100$ hodin, s 90%-ní konfidencí C . Budeme předpokládat Weibullův zákon s parametrem tvaru $\beta = 1,5$. V průběhu

zkoušky budeme předpokládat, že nenastane žádná porucha. Víme, že příslušné zařízení můžeme zkoušet po dobu $t_{\text{TEST}} = 48$ hodin. Je třeba rozhodnout (určit), jaký počet prvků je nutné zařadit do zkoušky aby ve vymezené době byly ověřeny zadané požadavky na bezporuchovost.

První krok spočívá v určení parametru měřítka η Weibullova zákona.

$$R = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Protože známe hodnoty t_{DEMO} , R_{DEMO} , a β můžeme z rovnice (4) vypočítat η :

$$\eta = \frac{t_{\text{DEMO}}}{(-\ln(R_{\text{DEMO}}))^{\frac{1}{\beta}}} = \frac{100}{(-\ln(0,9))^{\frac{1}{1,5}}} = 448,3$$

A nyní již hodnota R_{TEST} bude:

$$R_{\text{TEST}} = e^{-(t_{\text{TEST}} / \eta)^\beta} = e^{-(48 / 448,3)^{1,5}} = 0,966 = 96,6\%$$

Posledním krokem výpočtu je stanovení potřebného počtu prvků pro zkoušku, což provedeme pomocí rovnice (3) takto:

$$1 - C = \sum_{i=0}^{i=r} \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot (1 - e^{-(t_{\text{TEST}} / \eta)^\beta})^i \cdot (e^{-(t_{\text{TEST}} / \eta)^\beta})^{(n-i)} \quad (5)$$

Pro bezporuchovou zkoušku, kdy $r = 0$ a zadané hodnoty bude potom:

$$1 - C = \left[e^{-(t_{\text{TEST}} / \eta)^\beta} \right]^n ;$$

a odtud:

$$n = \frac{\ln(1 - C)}{-(t_{\text{TEST}} / \eta)^\beta} = \frac{\ln(1 - 0,95)}{-(48 / 448,3)^{1,5}} = 85,5$$

Toto číslo musí být zaokrouhleno na nejbližší vyšší celé číslo, takže potřebný počet prvků pro zkoušku je za daných podmínek zkoušky $n = 86$.

Pro $C = 0,8$ bude $n = 50$; Pro $C = 0,5$ bude $n = 23$.

Stanovení doby trvání zkoušky pro pevně daný počet prvků ve zkoušce.

Způsob, jak určit minimální dobu zkoušky pro případ, kdy je zadán pevně počet zkoušených prvků je podobný jako v předešlém případě. Výchozí vztahy jsou shodné. Dopředu je zadán počet zkoušených prvků n , předpokládaný počet poruch ve zkoušce r , a požadovaná konfidenční úroveň zkoušky C . Na základě těchto vstupních informací (podmínek) můžeme řešit rovnici (3) pro R_{TEST} . Na základě této vypočtené hodnoty můžeme dále určit t_{TEST} .

Příklad 2. určení doby trvání zkoušky pro zadaný počet zkoušených prvků:

Praktický příklad tento postup demonstruje. Uvažujme tedy, že máme pro zkoušku k dispozici pevně dáno $n = 20$ prvků a požaduje se určit potřebnou dobu trvání zkoušky, t_{TEST} . V předchozím příkladu byl určen parametr η . Protože vedle toho známe další hodnoty: n , C , r , a β , zbývá z rovnice (5) určit t_{TEST} .

Pro bezporuchovou zkoušku bude potom potřebná doba zkoušky určena ze vztahu:

$$(1 - C) = \exp \left[- \left(\frac{t_{\text{TEST}}}{\eta} \right)^\beta \right]^n$$

Odtud doba zkoušky t_{TEST} pro zadané vstupní hodnoty bude:

$$t_{\text{TEST}} = \left[-\eta^\beta \cdot \ln(1 - C)^{1/n} \right]^{1/\beta} = \left[-448,3^{1,5} \cdot \ln(1 - C)^{\frac{1}{20}} \right]^{1,5} = 126,44 \text{..hodin}$$

Případy neparametrických zkoušek.

Neparametrické zkoušky jsou vybudovány na tom, že u nich apriory nepředpokládáme (nebo neznáme) zákon rozdělení pravděpodobnosti vzniku poruch. Pokud ovšem známe (nebo můžeme odhadnout) před zahájením zkoušky pravděpodobnost poruchy zkoušeného prvku, můžeme pro návrh neparametrické zkoušky použít i rovnici (3). Vhodnější ovšem je použít pro návrh takové zkoušky vlastností rozdělení chí-kvadrát. Rozsahem zkoušky opět rozumíme stanovení relací mezi veličinami: n , T , C , resp. při uvážení r , t . Dále o návrhu zkoušky rozhoduje očekávaný (resp. skutečný) charakter intenzity poruch.

Výpočtové vztahy pro odhad rozsahu zkoušky vychází ze vztahů pro konfidenční meze exponenciálního rozdělení (homogenní Poissonův proces) pro skutečnou intenzitu poruch $\lambda(T)$, případně MFBBF(T) a pro zvolenou konfidenční úroveň $C = 1 - \gamma$. Východní vztahy jsou následující, (hodnoty rozdělení chí-kvadrát jsou tabelovány):

Odhad konfidenčních mezí pro intenzitu:

Jednostranný konfidenční interval s horní mezí pro λ :

$$\lambda \leq \lambda_{\chi^2_{C;(2r+2)}}; \quad \text{nebo} \quad \lambda \leq \frac{\chi^2_{C;(2r+2)}}{2T} \quad (6)$$

Dvoustranný konfidenční interval pro λ se vypočte ze vztahu:

$$\lambda_{\chi^2_{(1-\gamma/2);2r}} \leq \lambda \leq \lambda_{\chi^2_{\gamma/2;(2r+2)}} \quad (7)$$

Nebo

$$\frac{\chi^2_{(1-\gamma/2);(2r)}}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi^2_{\gamma/2;(2r+2)}}{2T} \quad (8)$$

Zde λ je bodový odhad kumulativního nebo okamžitého parametru bezporuchovosti (zde intenzity poruch), určený alternativní metodou z předchozích vztahů. Není-li ve

zkoušeném období pozorována žádná porucha, může se stanovit pouze jednostranný konfidenční odhad s dolní mezí pro MTBF, nebo horní mezí pro intenzitu.

Odhad konfidenčních mezí pro parametr $m = MTBF$:

Jednostranný konfidenční interval s dolní mezí pro m :

$$m \geq \bar{m} \frac{2r}{\chi^2_{c;(2r+2)}}; \quad \text{nebo} \quad m \geq \frac{2T}{\chi^2_{c;(2r+2)}} \quad (9)$$

Dvoustranný konfidenční interval pro m se vypočte ze vztahu:

$$\bar{m} \frac{2r}{\chi^2_{\gamma/2;(2r+2)}} \leq m \leq \bar{m} \frac{2r}{\chi^2_{(1-\gamma/2);(2r)}} \quad (10)$$

nebo

$$\frac{2T}{\chi^2_{\gamma/2;(2r+2)}} \leq m \leq \frac{2T}{\chi^2_{(1-\gamma/2);(2r)}} \quad (11)$$

Zde $\bar{m}$ je bodový odhad parametru bezporuchovosti (MTBF), určený metodou maximální věrohodnosti pro daný zkušební plán. Není-li ve zkoušeném období pozorována žádná porucha, může se stanovit pouze jednostranný konfidenční odhad tohoto parametru s dolní mezí pro MTBF. T je celková doba trvání zkoušky.

Za předpokladu Weibullova rozdělení s parametrem tvaru β (nehomogenní Poissonův proces) lze všechny vztahy vhodně upravit.

Pro ukázkou je upraven např. vztah (9):

$$MTBF_D^\beta \equiv m^\beta \geq \frac{2T^\beta}{\chi^2_{c;(2r+2)}} \quad , \text{ analogicky i ostatní vztahy} \quad (12)$$

Zde index D značí „dolní konfidenční mez parametru“

Uvedený vztah v sobě zahrnuje všechny veličiny, rozhodné pro stanovení rozsahu zkoušky bezporuchovosti.

Volba konkrétní neparametrické zkoušky:

Z praktického hlediska bude vhodné zabývat se nejdříve případem bezporuchové zkoušky, protože většina vysoce spolehlivých výrobků ukončí zkoušku bez poruchy. Teprve potom je vhodné uvážit vliv případných poruch na průběh a rozsah zkoušky.

Zkoušku je opět možné provést dvěma způsoby:

1. Máme pevně zadán počet zkoušených prvků (objektů) n a stanovíme dobu zkoušky t_{DEMO} , potřebnou k ověření zadaných hodnot ukazatelů bezporuchovosti (např. $MTBF_D$);
2. Máme pevně zadánu disponibilní dobu trvání zkoušky t_{TEST} a musíme určit potřebný počet prvků (objektů) n , které musí být podrobeny zkoušce pro ověření zadaných hodnot ukazatelů bezporuchovosti (např. $MTBF_D$);

Při řešení obou úloh vyjdeme z rovnice (9), resp. (12).

Pro případ ad 1) upravíme rovnici formálně na tvar:

$$K = \frac{t_{\text{TEST}}}{\text{MTBF}_D} = \frac{\chi_{C;(2r+2)}^2}{2n} \quad (13)$$

Zde K je „násobek“ potřebné doby trvání zkoušky vzhledem k zadanému požadavku na ukazatel bezporuchovosti (zde „dolní konfidenční mez MTBF na zadané konfidenční úrovni C “);

n je počet zkoušených objektů;

r je počet poruch na n objektech v průběhu zkoušky;

C je požadovaná konfidenční úroveň zkoušky

Hodnoty K se stanoví pro vybrané kombinace C , n , r . Tabulka 2 uvádí hodnoty K jak pro bezporuchovou zkoušku, kdy $(2r+2) = 2$, tak pro případ, kdy na n zkoušených objektech dochází postupně k poruchám ($r = 1, 2, 3, 4, \dots$). Z tabulky je zřejmý vliv n , r , a C na celkovou dobu trvání zkoušky t_{TEST} . Z výsledků je zřejmé, že t_{TEST} je náhodnou veličinou a proto se nedá před zahájením zkoušky nikdy dopředu jednoznačně určit.

Pro případ ad 2) upravíme rovnici formálně na tvar:

$$n = \frac{\text{MTBF}_D}{t_{\text{TEST}}} \cdot \frac{\chi_{C;(2r+2)}^2}{2} \quad (14)$$

Zjednodušíme-li řešení na případ, kdy zkouška potrvá právě tak dlouho, jaká je požadovaná hodnota ukazatele bezporuchovosti, tedy $t_{\text{TEST}} = \text{MTBF}_D$, budou hodnoty potřebného počtu zkoušených objektů dány tabulkou Tab.3.

Tabulka 2.

$K_{r=0,1,2,3,\dots}$						
n	r	$C = 1-\gamma$				
		0,5	0,8	0,9	0,95	0,975
1	0	0,70	1,61	2,31	3,00	3,69
	1	1,51	2,99	3,90	4,73	5,54
	2	2,68	4,28	5,30	6,29	7,20
	3	3,67	5,51	6,71	7,76	8,75
2	0	0,34	0,81	1,15	1,50	1,85
	1	0,74	1,50	1,95	2,37	2,77
	2	1,32	2,11	2,65	3,15	3,60
	3	1,81	2,75	3,36	3,88	4,37
3	0	0,23	0,54	0,77	1,00	1,23
	1	0,50	1,00	1,30	1,58	1,85
	2	0,89	1,43	1,77	2,10	2,40
	3	1,22	1,84	2,23	2,58	2,92

Tabulka 3.

r	n				
	C				
	0,5	0,8	0,9	0,95	0,975
0	1	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
2	3	4	6	7	8
3	4	6	7	8	9

Rozsah zkoušek bezporuchovosti obnovovaných objektů.

Při zkouškách obnovovaných objektů registrujeme nejčastěji posloupnost po sobě následujících poruch na jednom nebo i více objektech a veličin s poruchami spojených. Takto získaná posloupnost náhodných údajů je obvykle cenzurovaným souborem, který se použije k odhadu ukazatelů bezporuchovosti.

Před vlastním zpracováním takových údajů potřebujeme však i v tomto případě dopředu odhadnout očekávaný rozsah zkoušky a to v pojmech minimální doba trvání zkoušky $T_{\min}$ a maximální počet poruch ve zkoušce $r_{\max}$. Dále bychom měli umět prognózovat budoucí vývoj zkoušky a odhadnout rizika splnění/nesplnění požadavků na spolehlivost. K tomu účelu poslouží diagram pro znázornění průběhu zkoušky bezporuchovosti.

Vztah (9) umožňuje i grafickou interpretaci tím, že lze sestrojit „Diagram zkoušky spolehlivosti“, který je v log-log souřadnicích znázorněn na Obr.1. Diagram je sestrojen pro jednu zvolenou konfidenční úroveň C . Průběh zkoušky je v daném případě vymezen těmito okrajovými veličinami :

1. maximální zadanou disponibilní dobou pro zkoušku $T_{c \max}$ (na vodorovné ose),
2. hodnotou požadovaného ukazatele bezporuchovosti $\bar{t}_0 = MTBF_D$ (na svislé ose) daného v TP.

Těmito veličinami je v obrázku vymezen obdélník OACD a úsečka BC vycházející z bodu C. Rovnoběžné přímky vyhovují rovnici (9) s parametrem r . Skutečná zkouška pak probíhá za kompromisních podmínek, které vyplývají z obrázku Obr.1.

Postup zkoušení:

1. Zkouška je zahájena v čase $T_c = 0$;
2. Započitatelné poruchy postupně vynášíme do připraveného diagramu.
3. Okamžitá hodnota kumulativní doby trvání zkoušky T_c na vodorovné ose v Obr.1 a její průsečík s přímkou , odpovídající počtu dosud vzniklých poruch $r = 0, 1, 2, \dots$ udává bod P_j , který definuje hodnotu „právě prokázané“ úrovně ukazatele spolehlivosti $\bar{t}_{cj}$.
4. Do diagramu je vynesena i požadovaná hodnota ukazatele bezporuchovosti z technických podmínek (TP) $\bar{t}_0$.
5. Zkouška končí dosažením některého z bodů E_j , případně protnutím spojnice $BC = r_{\max}$ (překročením přípustného počtu poruch).

v plném rozsahu. Záleží na tom, jakou kombinací doby zkoušení a počtu zkoušených výrobků tuto součtovou dobu realizujeme.

Možnosti jsou v podstatě dvě :

1. Při malém počtu výrobků musíme zkoušet déle (v reálném čase). Postup však umožňuje zkoušet i pouze jeden výrobek a zkoušku úspěšně ukončit i při bezporuchovém provozu.
2. Při větším počtu výrobků ve zkoušce můžeme celkovou potřebnou dobu zkoušení zkrátit rozložením T_c na n výrobků podle vztahu :

$$T_c = \sum_{i=1}^n T_{ci} \quad (15)$$

Tyto dvě možnosti můžeme uvážit jen za podmínky platnosti principu ergodičnosti náhodného procesu poruchovosti (homogenní Poissonův náhodný proces).

Závěr

Z teorie, povahy a průběhu každé zkoušky spolehlivosti vyplývá, že některé parametry určující rozsah zkoušky jsou náhodnými veličinami a proto v žádné její variantě nelze před zahájením zkoušky jednoznačně vymezit rozsah zkoušky v diskrétní podobě. Vždy bude možné rozsah zkoušky určit jen ve stochastických pojmech, přičemž některé parametry rozsahu mohou být určeny dopředu deterministicky a některé bude možné pouze odhadnout a o jejich skutečných hodnotách bude rozhodnuto až podle skutečného průběhu zkoušky. Tato stochastická povaha zkoušek spolehlivosti je jejich neodstranitelným znakem a je nutné s touto skutečností vždy při sestavování plánu zkoušek počítat.

Použitá literatura

- [1] HOLUB, R.: Zkoušky spolehlivosti (stochastické metody). Skripta S-1590, VA Brno, 1992
- [2] HOLUB, R.: Zkoušky spolehlivosti vojenské techniky. Metodika. Skripta S-618, VA Brno, 1994.
- [3] LIPSON, CH.; SHETH, N.J.: Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments; Mc Graw Hill, N.Y., 1973.
- [4] MANN, N.R.; SCHAFER, R.E.; SIGPURWALLA, N.D.: Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data, John Wiley and Sons, N.Y. 1974.
- [5] NELSON, V.: Applied Life Date Analysis, John Wiley and Sons, N.Y. 1982.
- [6] DODSON, B.; NOLAN, D.: Reliability Engineering Handbook, QA Publishing, LLC, New York, 1999, ISBN 0-8247-0364-2.

Tento příspěvek vznikl jako součást řešení projektu Grantové agentury ČR reg. č. 101/00/0225.