



## GENEROVANIE STOCHASTICKÝCH ČINNOSTÍ V INTERMODÁLNEJ DOPRAVE

Ivo MILATA<sup>1)</sup>  
Jana MÜLLEROVÁ<sup>2)</sup>  
Vladislav KAŠPAR<sup>3)</sup>

### SUMMARY

*Great mass of operations of the intermodal transit is realized in the open space. That is one of the main reasons that the duration of these operations is to some degree fortuitous. For the mathematical solution of this problem is necessary to apply stochastic methods of the operational analyses. Most widely used is the mathematical simulation of the mass handling systems. This enables already in the system set-up time to find out the planned solution's quality and their limitations and defects to get ready the optimum strategy of the activities in advance. It also gives the possibility of a correct and quick reaction for the operative anomalies in the system activity period. The possibility of application is very extensive and the predicative ability is notable.*

### ÚVOD

Doprava má obrovský význam pre rozvoj hospodárstva štátu. Sprístupnila človeku svet, skrátila vzdialenosti, rozširuje spoločenské aktivity človeka. Stala sa nevyhnutnou súčasťou každodenného života. Zabezpečenie fungovania dopravného systému za akýchkoľvek podmienok je jedným z dôležitých aspektov priamo podmieňujúcich fungovanie hospodárstva a zabezpečenia sociálnych potrieb obyvateľstva.

Doprava patrí medzi najrizikovejšie odvetvia, to znamená s najvyšším stupňom výskytu mimoriadnych udalostí. Štatistika uvádza, že viac ako tretina všetkých nehôd v minulých rokoch bola spojená s dopravou. Pritom dopravné zabezpečenie krízových situácií je hlavnou podmienkou ich úspešného riešenia.

Dopravné systémy sú špecifické tým, že vznik mimoriadnej udalosti v tejto oblasti môže následne viesť do krízovej situácie aj iné objekty a systémy. To všetko kladie vysoké požiadavky na odbornosť, profesionalitu, rýchlosť a presnosť práce príslušníkov krízového manažmentu v čase odstraňovania následkov mimoriadnych udalostí ale aj pri príprave krízových plánov.

Odvetvie dopravy má oproti iným oblastiam výrazné špecifiká v príprave, organizácii, ako aj vo vlastnej prevádzke. Doprava sa realizuje vo veľkom nechránenom prostredí, má rozsiahlu a zložitú infraštruktúru, veľké množstvo zamestnancov a pod.

Významnosť a odlišnosti dopravy sú natoľko rozsiahle, že si zasluhujú zvláštnu pozornosť. Jednou z hlavných súčastí dopravy je intermodálna doprava.

1) doc. Ing. Ivo Milata, CSc. Tel.: 903 179330, e-mail: ivo.milata@gmail.com

2) doc. Ing. Jana Müllerová, PhD. Katedra požiarneho inžinierstva Fakulty špeciálneho inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline, Tel.: 041 5136799, e-mail: Jana.Mullerova@fsi.uniza.sk

3) Ing. Vladislav Kašpar, PhD. – Katedra technických vied a informatiky Fakulty špeciálneho inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline, Tel.: 041 5136861, e-mail: Vladislav.Kaspar@fsi.uniza.sk

## INTERMODÁLNA DOPRAVA (preprava)

Rozvoj dopravy vo svete je charakterizovaný maximálnou snahou zvyšovať rýchlosť, spoľahlivosť a presnosť dodania tovarov v nákladnej doprave, za pomoci moderných technických zariadení a výpočtovej techniky pri minimalizácii negatívnych dopadov na životné prostredie.

Intermodálna doprava je moderná dopravná metóda. Je to preprava viacerými druhmi dopravy pomocou jednej a tej istej nákladovej jednotky kombinovanej dopravy bez manipulácií s jej obsahom počas prepravy.

Z pohľadu používateľa intermodálnej prepravy predstavuje tento dopravný-mechanizačný komplex, zabezpečujúci prepravu tovaru jednou a tou istou prepravnou jednotkou od odosielateľa k príjemcovi, neprerušený proces využívajúci počas celej prepravy kombináciu železničnej, cestnej, vodnej, prípadne leteckej dopravy.

Tento systém prepravy kladie v podmienkach SR hlavný dôraz práve na využívanie železničnej dopravy a je doplnený o pozitíva ostatných druhov dopravy. Kombinuje výhody flexibility a rýchleho premiestnenia tovaru s primeranou energetickou náročnosťou dopravy, vyzdvihuje ekologický rozmer dopravy, znižuje negatívne vplyvy dopravy na životné prostredie a spoločnosť zaťažuje racionálnymi ekologickými nákladmi.

## STOCHASTIČNOSŤ

V ľudskej činnosti a zvlášť v činnostiach systémov sa vyskytuje veľa druhov náhodných, stochastických faktorov. Zvlášť významné sú v dejoch, ktoré prebiehajú v nechránenom prostredí, ako je i doprava. Tým že sa v priebehu deja, alebo v činnosti systému, nepriaznivo pôsobiace nahodilosti nahromadia, v niektorom okamihu môžu spôsobiť také anomálie, že dôjde k mimoriadnej udalosti a následne ku krízovej situácii. Zvláštnou kapitolou sú krízové situácie, spôsobené zámernou alebo nezámernou ľudskou činnosťou.

Hore uvedené špecifiká dopravy sa výrazne vzťahujú aj na intermodálnu prepravu. Takmer všetky jednotlivé činnosti v tomto systéme majú výrazný náhodný charakter. Stochastičnosť sa najviac prejavuje v jazde a príprave dopravných a manipulačných prostriedkov a v manipulačných a skladových operáciách. Preto plánovanie činnosti v tomto systéme musí brať náhodné vplyvy do úvahy.

Stochastické metódy operačnej analýzy s nahodilosťami pracujú. Medzi ne patrí najviac využívaná *matematická simulácia*. Jedným z cieľov súčasnej vedy je rozpracovanie a praktická aplikácia metód, ktoré skúmajú činnosť predovšetkým tých zložitých systémov, ktoré sa dajú v prípravnom období riešiť iba teoreticky.

## MATEMATICKÁ SIMULÁCIA

Na presné zobrazenie reálnych dejov matematickou simuláciou je rozhodujúca správnosť generovania stochastických dejov. V tomto smere sa môžeme dopustiť chýb, ktoré vyplývajú z neexistencie odpovedajúcej databázy, z nemožnosti, alebo nepresnosti merania, zo skresleného alebo zlého kvalifikovaného odhadu a pod. Uvedené nepresnosti môžu spochybniť vierohodnosť použitej metódy. Pri bezchybných vstupoch najpresnejšie zobrazuje reálnu situáciu.

Matematické modelovanie (simulácia) poskytuje na riešenie podobných úloh komfortný aparát. Podstata matematickej simulácie spočíva v zostavení modelu, ktorý pomocou počítača popisuje správanie prvkov systému a ich vzájomné interakcie, pri rešpektovaní náhodných faktorov, ktoré na systém majú vplyv. Medzi prednosti tejto metódy patrí riešenie i zložitých systémov, možnosť reagovania na množstvo rôznych špecifik a náhodných vplyvov. Poskytuje veľké množstvo informácií o správaní jednotlivých častí systému vo zvolenom okamihu so spoľahlivým popisom dejov.

Jej aplikácia je takmer neobmedzená. Má možnosť postihovať širokú zložitú a rôznorodú problematiku. Správnosť, množstvo aj zameranie výstupov môže celkom odpovedať požiadavkám užívateľov. Presnosť je priamo úmerná presnosti matematického popisu stochasticky chápaných činností. Veľkou nevýhodou je však náročnosť prípravy počítačového programu.

## ROZDELENIE DÔB TRVANIA DEJOV

Najvýznamnejšie vstupy informácií v týchto metódach sú údaje o dejoch, s ktorými sa v matematickej simulácii bude uvažovať ako stochastickými. To býva v celej metóde najprácejšie. Získané údaje o jednotlivých dejoch je potrebné spracovať ako štatistický súbor. Počítačový program matematickej simulácie môže pracovať s ľubovoľným, ale presne zadánym rozdelením. Preto je prvoradé zistenie typu rozdelenia a vyrátanie hlavných parametrov skúmaných súborov.

V prírode a činnosti človeka sa vyskytuje najviac dejov s normálnym (Gauss-Laplaceovým) rozdelením. Často používané normálne, exponenciálne a rovnomerné rozdelenie ale nie je pre intermodálnu dopravu vhodné, vyskytuje sa len zriedka. Rozloženie dôb trvania činností obvyklých v intermodálnej doprave (ložné práce, preprava materiálu, skladovanie atd.), je šikmé vľavo. Tieto deje sa

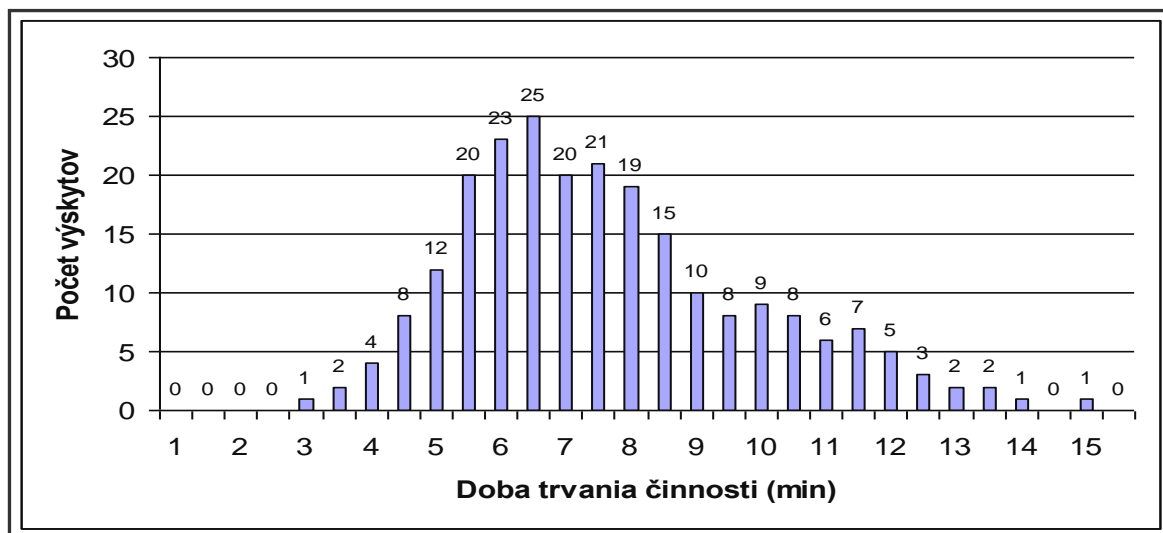
dajú takmer vo všetkých prípadoch popísať veľmi pružným Erlangovým rozdelením.

Pre posúdenie sú uvedené reálne namerané časy prekládky kontajnerov v žilinskom termináli SKD INTRANS s.r.o. Rozloženie dôb trvania činností uvedených v tabuľke 1 je uvedené na obr. 1.

Tab. 1.

**Reálne doby trvania prekládky kontajnerov (min).**

9,20	8,38	3,60	5,51	11,42	9,56	4,65	7,92	3,50	11,33	9,65	4,45
7,23	4,00	7,47	5,02	6,18	8,63	5,09	8,70	7,94	4,70	4,90	7,59
5,99	4,10	9,61	12,80	4,50	9,84	7,86	10,29	8,89	4,20	5,26	9,24
6,29	4,10	5,09	5,13	11,40	8,48	11,26	8,29	5,21	2,55	6,19	10,79
13,40	6,60	7,64	10,10	7,36	7,50	5,78	7,25	7,76	5,10	4,15	5,58
12,95	6,79	12,17	10,61	6,44	5,40	9,49	5,86	5,27	8,94	6,72	10,14
7,08	6,19	5,24	7,42	6,76	5,81	8,36	7,19	9,28	10,27	6,13	6,61
10,66	6,77	5,88	12,21	6,57	4,80	8,45	9,09	8,31	5,37	3,30	10,12
11,11	5,66	7,75	9,62	9,04	6,42	3,10	5,82	6,32	7,74	7,40	8,81
11,55	8,97	10,72	11,90	6,04	4,95	6,06	7,72	7,41	11,66	5,59	4,55
12,00	5,30	7,06	8,97	7,90	6,78	5,77	12,40	9,20	5,94	7,67	9,83
12,45	10,54	8,71	11,14	13,75	5,45	4,50	11,50	8,00	6,44	7,49	13,05
12,89	9,93	7,47	8,01	8,14	11,15	10,91	6,16	6,40	8,77	8,46	5,90
13,34	8,39	7,07	5,96	7,49	7,00	7,46	10,12	8,60	4,80	6,78	6,20
13,79	6,20	5,35	6,15	6,18	14,55	3,75	7,36	5,99	10,22	7,71	9,00
14,23	8,30	8,98	4,05	5,23	6,85	11,73	7,24	8,31	6,17	5,85	5,24
14,68	6,66	7,86	5,82	11,11	5,13	7,68	4,60	7,30	5,76	5,74	9,03
15,13	7,76	5,77	8,23	10,87	7,78	9,12	6,91	6,79	8,17	6,06	5,99
15,57	6,55	6,03	9,96	9,51	6,76	11,98	7,82	4,35	6,25	5,96	5,20
5,84	6,10										



Obr. č. 1. Rozloženie dôb trvania prekládky kontajnerov

Podľa tvaru rozloženia dôb trvania činností, sa dá odhadnúť rozdelenie súboru. Uvažovanú hypotézu je potrebné verifikovať testom dobrej zhody.

Testy dobrej zhody overujú, či získaný súbor je zhodný s predpokladaným rozdelením. Najviac používaný je  $\chi^2$  (chikvadrát) test dobrej zhody [1]. Názov  $\chi^2$  preto, že na určenie miery zhodnosti medzi skúmaným a očakávaným (teoretickým) súborom sa používa rozdelení  $\chi^2$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - Np_i)^2}{Np_i} \quad \{1\}$$

kde:

- $n_i$  je počet pozorovaní (prvkov) v danom intervale
- $Np_i$  je očakávaný počet pozorovaní
- $N$  je rozsah súboru.

Z tabuliek  $\chi^2$  rozdelení potom prečítame  $\chi^2_\alpha$  pre zvolenú hladinu významnosti  $\alpha$  a patričný

stupeň voľnosti  $m$ . Hypotézu je možné prijať, keď je splnená nerovnosť  $\chi^2_\alpha > \chi^2$  [1],

kde:

- $\chi^2_\alpha$  tabulková hodnota
- $\chi^2$  vypočítaná hodnota

Bez použitia tabuliek sa na overenie hypotézy používa **Bersteinovo kritérium** [1].

$$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - Np_i)^2}{Np_i} < 1 \quad \{2\}$$

Pri splnení tejto podmienky je možné hypotézu prijať.

Hypotéza, že hodnoty uvedené v tabuľke č.1. majú Erlangovo rozdelenie, bola verifikovaná  $\chi^2$  testom (obr. 2). Testy dobrej zhody ďalších rozdelení vyšli negatívne.

V Ý S L E D K Y četnost=130      průměr =7,461								
I OPRAVENÉ OKRAJE								
TRÍDA	HRANICE	ČETNOST	TEOR.ČET.	I	ČET.	TEOR.ČET.	OMEGA	
001	0003,10 - 0004,05	005	0005,203	I	005	0005,203	0000,008	
002	0004,05 - 0005,01	008	0011,854	I	008	0011,854	0001,253	
003	0005,01 - 0005,96	025	0018,294	I	025	0018,294	0002,458	
004	0005,96 - 0006,92	027	0023,775	I	027	0023,775	0000,437	
005	0006,92 - 0007,87	020	0020,862	I	020	0020,862	0000,036	
006	0007,87 - 0008,83	012	0017,371	I	012	0017,371	0001,661	
007	0008,83 - 0009,78	010	0012,853	I	010	0012,853	0000,633	
008	0009,78 - 0010,73	008	0008,646	I	008	0008,646	0000,048	
009	0010,73 - 0011,69	007	0005,378	I	007	0005,378	0000,490	
010	0011,69 - 0012,64	003	0003,132	I	008	0005,763	0000,869	
011	0012,64 - 0013,60	003	0001,725	I				
012	0013,60 - 0014,55	002	0000,906	I				
TESTOVÁNO Erlangovo rozdění      A = 10,    B = 1,3403								
*OMEGA PRO CHI^2 = 7,893    Kontrola: 1,000								
POZNAMKA:								
*Omega srovnaj s ch^2 tab. (vyhovuje,když vypočítaná omega je menší než tabulková, pro zvolenou hladinu významnosti a 07 stupňů volnosti.)								
BERSTEJNOVO KRITERIUM								
*B= ,658    -hypotézu je možné přijmout								

Obr. 2.  $\chi^2$  test dobrej zhody. [vlastný program]

Tab. 2

Výsledky  $\chi^2$  testov

TESTOVÁNO Gaussovo rozdelení *Štandardná odchýlka = 2,3661 *OMEGA PRO $\chi^2$ = 21,894 Kontrola: 1,000 BERSTEJNOVO KRITERIUM *B= 1,825 -prijmuti hypotézy se nedoporučuje	TESTOVÁNO exponenciální rozdelení Parametr = ,134 *OMEGA PRO $\chi^2$ = 203,041 Kontrola: 1,000 BERSTEJNOVO KRITERIUM *B= 16,92 -prijmuti hypotézy se nedoporučuje	TESTOVÁNO rovnoměrné rozdelení *OMEGA PRO $\chi^2$ = 75,046 Kontrola: 1,000 BERSTEJNOVO KRITERIUM *B= 6,254 -prijmuti hypotézy se nedoporučuje
--	---	---

Boli testované aj ďalšie súbory nameraných hodnôt: Doby jazdy dopravných prostriedkov, doby trvania skladových a manipulačných operácií a prípravné práce technických prostriedkov v prekladacích termináloch. Vo všetkých prípadoch testy dobrej zhody preukázali, že matematické popísanie je možné **Erlangovým rozdelením**. (Obr. 2., Tab. 2.)

Distribučná funkcia Erlangovho rozdelenia. [1, 3, 7]

$$F(y) = \int_{y_0}^y \frac{b^a (y - y_0)^{a-1}}{(a-1)!} e^{-b(y-y_0)} dy \quad \{3\}$$

Priemer súboru  $\mu = \frac{a}{b} \quad \{4\}$

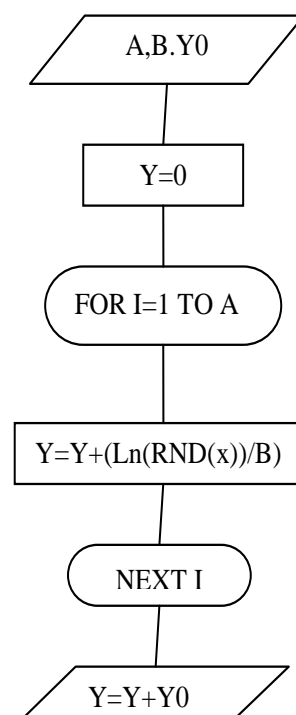
Rozptyl súboru  $\sigma^2 = \frac{a}{b^2} \quad \{5\}$

Toto rozdelenie má tri parametre  $a$ ,  $b$ ,  $y_0$ , a preto je veľmi pružné a tým dobre využiteľné. Parameter  $y_0$  je posunutie, ľahko zistiteľné z meraní a použiteľné vo výpočtoch. Parametre  $a$ ,  $b$ , sa musia z nameraných veličín vyrátať. Podľa vzťahov {4} a {5}.

### GENEROVANIE PSEUDONÁHODNÉHO ERLANGOVHO ROZDELENIA

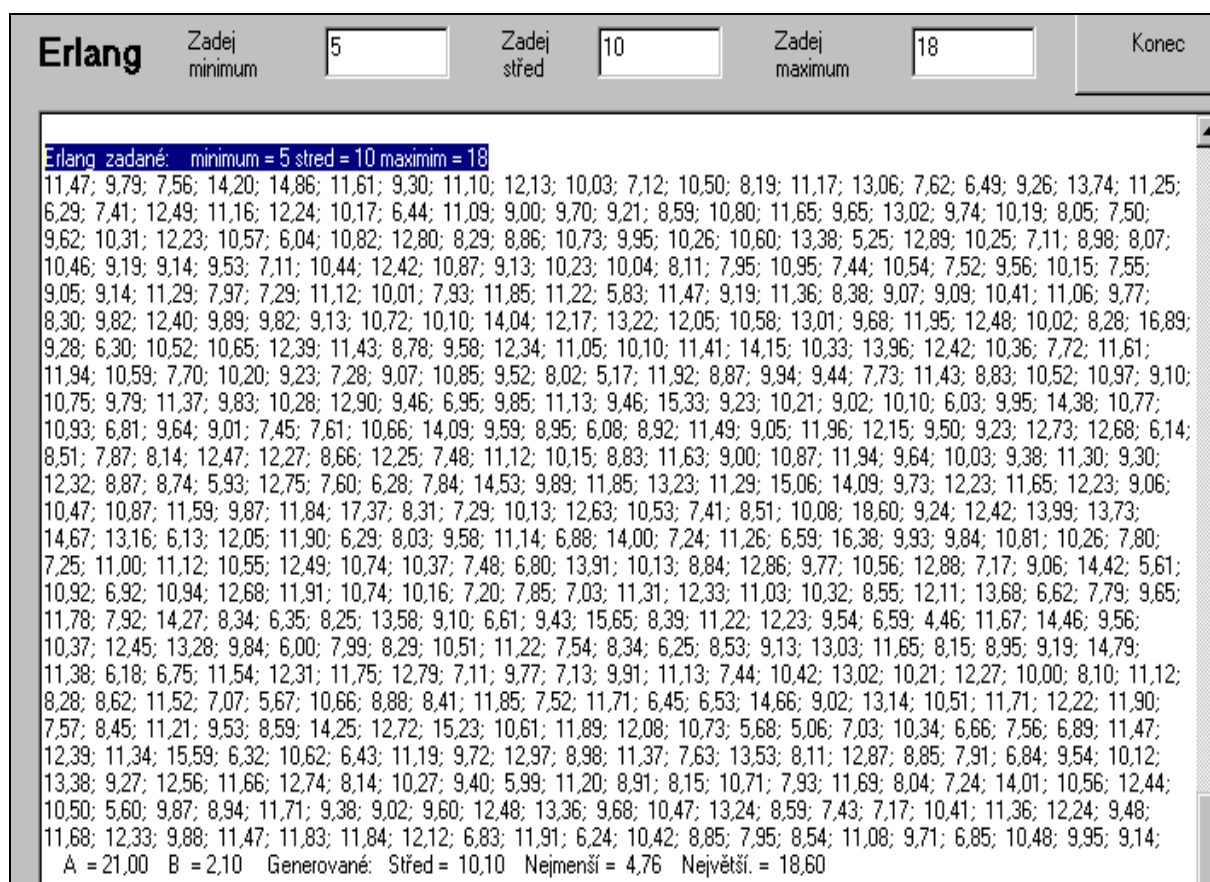
V matematickej simulácii sa používajú náhodne doby trvania stochastických dejov. Každá doba je vygenerovaná podľa algoritmu, ktorý zodpovedá prijatým hypotézam.

Vývojový diagram programu na generovanie Erlangovho rozdelenia je uvedený na obrázku 3.



Obr. 3. Vývojový diagram generovania pseudonáhodného rozdelenia [3]

Na verifikáciu uvedených matematických metód bol vytvorený program, ktorý zobrazuje 200 simulácií v intenciách zadaných hodnôt (obr. 4.). Prvý riadok uvádza zadané hodnoty a posledný hodnoty vygenerované. Vygenerované hodnoty sú blízke zadaným. Pri veľkom počte simulácií by rozdiely boli ešte menšie. Tým bola overená správnosť použitého algoritmu.



Obr. 4. Generovanie hodnôt pseudonáhodného Erlangovho rozdelenia [vlastný program]

Generované hodnoty vyhovujú  $\chi^2$  testu a preto algoritmus uvedený na obrázku č. 3. môže byť použitý pri programovaní v rámci matematickej simulácie systémov intermodálnej dopravy.

## ZÁVER

Stochastické metódy sa v súčasnosti ukazujú ako najvýhodnejšie pre plánovanie činnosti zložitých systémov, najmä tých, ktoré nemôžu byť overené experimentom, ako napríklad prírodné katastrofy, sabotáže, teroristické činy a pod. Z hľadiska nákladov, bezpečnosti, dostupnosti, presnosti a ďalších hľadísk sú jednoznačne nevýhodnejšími metódami, preto

je ich využívanie v praxi časté. Pri správnom použití dávajú veľmi cenné a hodnoverné výstupy. Sú cenným nástrojom práce zložiek krízového manažmentu.

Uvedené matematické postupy a testy tvoria vstup do programovania matematickej simulácie systémov intermodálnej dopravy. Na tomto základe vytvorené programy by mali veľmi presne popisovať skutočnú situáciu, pretože vstupy vyšli z reálneho merania a hypotézy vyhovel matematickým testom.

## LITERATURA

- [1] VORLÍČEK, M.: Vybrané kapitoly matematické statistiky. *Učební pomůcka*. MNO Praha, 1968.
- [2] KOŽÍŠEK, J.: Matematická statistika a statistická analýza. *Skriptum*. Ediční středisko ČVUT Praha, 1981.
- [3] BRANDALÍK, F., KLUVÁNEK, P.: Operační analýza v železniční dopravě. ALFA, Bratislava, 1986.
- [4] PETROUTSOS, E.: Visual basic 6. Průvodce zkušeného programátora. GRADA Praha 1998. ISBN 80-7169-802-4.
- [5] LINCZÉNYI, A.: Inžinierska štatistika. ALFA Bratislava 1974 SADOWSK. I, W.: Matematická štatistika. ALFA Bratislava 1975.
- [6] UNČOVSKÝ, L.: Stochastické metódy operačnej analýzy. Alfa, Bratislava, 1980. ISBN 63-557-80.
- [7] NOVÁK, L.: Modelovanie a matematická simulácia železničnej premávky – nástroj práce krízového manažmentu ŽSR. In: Zborník z 4. vedecko-odbornej konferencie s medzinárodnou účasťou „LOG VD - 2001 – Logistika vo vojenskej doprave na prahu 21. storočia“. Žilina, FŠI ŽU 2001, s. 68 – 74. ISBN 80-88829-66-6.
- [8] MILATA, I.: Habilitačná práca, 1981.