VYUŽITÍ TEORIE HROMADNÉ OBSLUHY PŘI SIMULOVÁNÍ MIMOŘÁDNÝCH UDÁLOSTÍ

Peterková Andrea *)

ABSTRAKT

Článek se zabývá teorií hromadné obsluhy a jejím využití při simulacích mimořádných události pro odhad potřebných sil na zvládnutí mimořádné situace. Modelem pro aplikaci teorie hromadné obsluhy byla nehoda autobusu, u nichž se dá předpokládat větší počet cestujících a tím i větší počet zasahujícího záchranného personálu.

Klíčová slova:
teorie hromadné obsluhy, mimořádná událost, Integrovaný záchranný systém.

ABSTRACT

The paper deals with queuing theory and its use in emergency events simulations to estimate the forces to handle emergency situations. The model for the application of queuing theory has been a bus accident, which can assume a greater number of passengers, thereby affecting a greater number of rescue personnel.

Key words:
Queuing Theory, Emergency event, Integrated Rescue System.

ÚVOD

Každý den jsme díky mediím informováni o počtu dopravních nehod. Bohužel se čím dál častěji stává účastníkem dopravní nehody i vozidlo hromadné dopravy - tramvaj, trolejbus, autobus, vlak aj. Jelikož tato vozidla přepravují větší počet osob, jsou následky nehody většinou horší a vyžadují více zasahujících personálu Integrovaného záchranného systému (IZS).

Po tragických událostech jako bylo například železniční neštěstí v Eschede (Německo,1998), nehoda autobusu u Nažidel (Česká republika, 2003), srážka tramvají v Ostravě (Česká republika, 2008), nehoda rychlíku u Studénky (Česká republika,

*) Andrea Peterková, Ing. , Fakulta špeciálneho inžinierstva, Katedra krízového manažmentu, Žilinská univerzita v Žiline, ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, e-mail: Andrea.Peterkova@fsi.uniza.sk

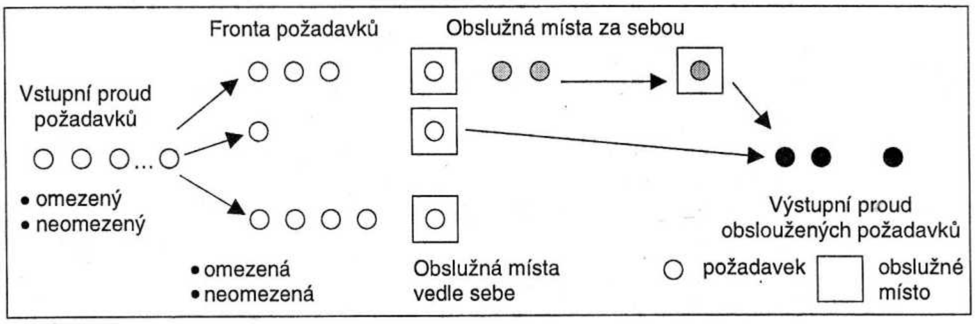
2008) či nehoda autobusu a vlaku u Polomky (Slovenská republika, 2009) se zvýšila nutnost cvičení zásahu složek IZS při mimořádných situacích, které mají charakter hromadné havárie, kde se počítá počet „zasáhnutých" lidí na desítky, kde je více jak jedna záchranná skupina s odpovídajícím vybavením. Tato cvičení jsou však finančně náročná a tak je není možné organizovat pro všechny příslušníky IZS a v pravidelných intervalech.

Řešením tohoto problému je využití více typů matematických modelů a simulací. Tyto modely mohou mít variabilní vstupní parametry a využívat různé matematické nástroje. Jednou z možností simulace počtu potřebného záchranného personálu na zvládnutí mimořádné události, mající charakter hromadné havárie, je modelování pomocí teorie hromadné obsluhy.

1 TEORIE HROMADNÉ OBSLUHY (HO)

Teorie hromadné obsluhy je matematická teorie zabývající se modely, ve kterých do systému přicházejí jednotky, které musejí být obslouženy linky obsluhy. Počet linek obsluhy se může v jednotlivých systémech měnit.

V modelu, kdy dojde k dopravní nehodě autobusu to znamená, že cestující jsou jednotky, které vstupují do systému a záchranný personál IZS, resp. členové Hasičského záchranného sboru (HZS) jsou obslužné linky, kteří vyprošťují cestující z havarovaného autobusu.



Obrázek 1 Schéma systému hromadné obsluhy (Zdroj: Gros, 2003)

2 MODEL HROMADNÉ OBSLUHY PRO VYPROŠŤOVÁNÍ CESTUJÍCÍCH Z AUTOBUSU

Situace: Na rychlostní komunikaci došlo k nehodě autobusu. Důvodem bylo nepřizpůsobení jízdy vozidla stavu vozovky, která byla pokrytá náledím. Autobus následně sjel z vozovky do příkopu, kde se ve velké rychlosti zastavil o nosník billboardu a zaklínil se do něj. Na místo nehody se následně sjeli všechny složky IZS a pracují na vyproštění a ošetření raněných a na likvidaci mimořádné událost.

Model: V autobuse v době nehody sedělo 15 cestujících. Po nehodě autobusu jsou cestující postupně vyprošťováni hasiči. Ke každému cestujícímu se hasič dostane průměrně každé 3 minuty. Průměrná doba vyproštění jednoho cestujícího je 2 minuty. Doba vyproštění a doba, kdy se dostanou jednotlivý hasiči k cestujícím je exponenciální. Cestující jsou obslouženi ve frontě FIFO (tj. první přijde, první odejde).

Na základě vstupních údajů bylo simulováno více situací. Jednotlivé situace se liší počtem hasičů (1, 7, 9, 11, 13) vyprošťujících cestující z havarovaného autobusu. Na základě výpočtů pomocí matematických vzorců a výstupů se softwarového programu WinQSB můžeme pozorovat, jak se mění hodnoty zvolených modelů (Tabulka 2).

Vstupní údaje:

intenzita vstupu požadavků: $\lambda = \frac{60}{3} = 20$ pož./hod.,

intenzita obsluhy: $\mu = \frac{60}{2} = 30$ pož./hod.,

počet požadavků: $m = 15$,

počet kanálů obsluhy: $s = 7$,

intenzita provozu: $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{20}{30} = \frac{2}{3}$.

Ze soustavy diferenciálních rovnic jsme odvodili substitucí následující vztahy pro p_n:

$$p_n = \frac{m!}{n!(m-n)!}\rho^n p_0 \qquad \text{pro } 1 \le n < s,$$

$$p_n = \frac{m!}{s!s^{n-s}(m-n)!}\rho^n p_0 \qquad \text{pro } s \le n \le m.$$

Hodnotu veličiny stanovíme z podmínky $\sum_{n=0}^{m} p_n = 1$. Výpočty jsou znázorněné v Tabulce 1.

Tabulka 1 Výsledky pravděpodobností a pomocné výpočty

n	$\frac{p_n}{p_0}$	p_n	np_n	$n-s$	$(n-s)p_n$	$s-n$	$(s-n)p_n$
0	1,0000	0,0004	-	-	-	7	0,0030
1	10,0000	0,0043	0,0043	-	-	6	0,0256
2	46,6667	0,0199	0,0399	-	-	5	0,0997
3	134,8148	0,0576	0,1728	-	-	4	0,2305
4	269,6296	0,1152	0,4609	-	-	3	0,3457
5	395,4568	0,1690	0,8450	-	-	2	0,3380
6	439,3964	0,1878	1,1267	-	-	1	0,1878
7	376,6255	0,1610	1,1267	0,0000	-	0	-
8	286,9528	0,1226	0,9811	1,0000	0,1226	-	-
9	191,3018	0,0818	0,7358	2,0000	0,1635	-	-
10	109,3153	0,0467	0,4672	3,0000	0,1402	-	-
11	52,0549	0,0222	0,2447	4,0000	0,0890	-	-
12	19,8304	0,0085	0,1017	5,0000	0,0424	-	-
13	5,6658	0,0024	0,0315	6,0000	0,0145	-	-
14	1,0792	0,0005	0,0065	7,0000	0,0032	-	-
15	0,1028	0,0000	0,0007	8,0000	0,0004	-	-
	2339,8930	1,0000	6,3455	-	0,5758	-	1,2303

Na základě vztahu $\sum_{n=0}^{15} p_n = 1$ vypočteme p_0:

$$\sum_{n=0}^{15} \frac{p_n}{p_0} = \frac{1}{p_0} \sum_{n=0}^{15} p_n = 2339{,}893 \qquad p_0 = \frac{1}{2339{,}893} = 0{,}00427 .$$

Střední počet požadavků v systému $E(n)$:

$$E(n) = \sum_{n=0}^{m} np_n = \sum_{n=0}^{15} np_n = 6{,}3455 \text{ pož.}$$

V průměru 6,35 požadavků (cestujících)je v systému hromadné obsluhy.

Střední počet požadavků ve frontě $E(n_f)$:

$$E(n_f) = \sum_{n=s+1}^{m} (n-s)p_n = \sum_{n=8}^{15} (n-s)p_n = 0{,}5758 \text{ pož.}$$

Průměrně se vyskytuje ve frontě 0,58 požadavků, které čekají na obsluhu.

Střední doba strávená v systému $E(t_s)$:

$$E(t_s) = \frac{E(n)}{[m - E(n)]\lambda} = \frac{6{,}3455}{(15 - 6{,}3455) \cdot 20} = 0{,}0367 \text{ hod.} \sim 132{,}12 \text{ s.}$$

V systému stráví požadavek (cestující) asi 132,12 sekund.

Střední doba strávená ve frontě $E(t_f)$:

$$E(t_f) = \frac{E(n_f)}{[m - E(n)]\lambda} = \frac{0{,}5758}{(15 - 6{,}3455) \cdot 20} = 0{,}0033 \text{ hod.} \sim 11{,}88 \text{ s.}$$

Požadavek (cestující) stráví ve frontě průměrně 11,88 sekund.

Pravděpodobnost, že požadavek nebude čekat ve frontě $P(\tau = 0)$:

$$P(\tau = 0) = \sum_{n=0}^{s-1} p_n = \sum_{n=0}^{6} p_n = 0{,}5542$$

Z 55,4 % nebude požadavek (cestující) čekat ve frontě.

	Performance Measure	Result
1	System: M/M/7//15	From Formula
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	20,0000
3	Service rate per server (mu) per hour =	30,0000
4	Overall system effective arrival rate per hour =	173,0907
5	Overall system effective service rate per hour =	173,0907
6	Overall system utilization =	82,4242 %
7	Average number of customers in the system (L) =	6,3455
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0,5758
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	1,2918
10	Average time customer spends in the system (W) =	0,0367 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0,0033 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0,0075 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	0,0427 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	44,5716 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	$0
17	Total cost of idle server per hour =	$0
18	Total cost of customer waiting per hour =	$0
19	Total cost of customer being served per hour =	$0
20	Total cost of customer being balked per hour =	$0
21	Total queue space cost per hour =	$0
22	Total system cost per hour =	$0

Obrázek 1 Výstup ze softwarového programu WinQSB (model se 7 zasahujícími hasiči)

Tabulka 2 Výsledky modelů s odlišným počtem hasičů

	Počet hasičů				
Výstupy teorie HO	**1**	**7**	**9**	**11**	**13**
Střední počet požadavků v systému $E(n)$	13,5	6,3455	6,0354	6,0015	6
Střední počet požadavků ve frontě $E(n_f)$	12,5	0,5758	0,0591	0,0026	0
Střední doba strávená v systému $E(t_s)$	1620 s	132,12 s	121,32 s	119,88 s	119,88 s
Střední doba strávená ve frontě $E(t_f)$	1500 s	11,88 s	1,08 s	0 s	0 s
Pravděpodobnost, že požadavek nebude čekat ve frontě $P(\tau = 0)$	0 %	55,42 %	89,84 %	99,14 %	99,97 %

ZÁVĚR

Do systému vstupovali průměrné hodnoty vstupů i obsluhy, proto jsou výstupy z modelu jen orientační.

Z jedním z hlavním ukazatelů v tomto modelu je doba strávená ve frontě a v systému hromadné obsluhy. Jak je zřejmé z předcházející tabulky, s malým počtem zasahujících hasičů se prodlužuje doba jak strávená ve frontě, tak i v celém systému (pro názornost jsem uvedla extrém – jeden hasič vyprošťuje všechny cestující). V reálné situaci by to znamenalo, že cestující budou dlouho čekat a jejich zdravotní stav se za dobu čekání může zkomplikovat.

Se zvyšujícím se počtem zasahujících hasičů se doba strávená ve frontě i v systému snižovala a zároveň narůstala pravděpodobnost, že cestující nebude čekat. Dle výsledků z modelů bych na vyprošťování cestujících v této situaci povolala 9 až 11 hasičů. Více by nebylo zapotřebí, neboť se výstupy z modelů už příliš neměnili a taky při větší počtu zasahujících hasičů by si hasiči mohli navzájem překážet.

V praxi je velmi složité odhadnout, kolik bude u konkrétní mimořádné události zapotřebí záchranného personálu, proto se v praxi k nehodám většího rozsahu vysílá více záchranného personálu a následně, po posouzení situace přímo v terénu, jsou někteří poslaní zpět na základnu.

LITERATURA

[1] GROS, I. 2003. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. Praha: Grada, 2003. 432 s. ISBN 80-247-0421-8.
[2] DUDORKIN, J.1997. *Operační výzkum*. Praha: ČVUT, 1997. 296 s.
[3] MAŇAS, M. 1991. *Matematické metody v ekonomice*. Praha: SNTL, 1991. 189 s. ISBN 80-7079-157-8
[4] KOŽÍŠEK, M. 1991. *Operační a systémová analýza II*. Praha: ČVUT, 1991. 237 s.
[5] ŠTĚTINA, J. a spol. 2000. *Medicína katastrof a hromadných neštěstí*. Praha: Grada Publishing, 2000. 429 s. SBN: 80-7169-688-9
[6] PAVLÍČEK, F. 2001. *Krizové stavy a doprava*. Praha: ČVUT, 2001. 253 s. ISBN 80-01-02272-2

Príspevok bol spracovaný v rámci inštitucionálneho projektu.

Článok recenzoval:
Ing. Jozef Ristvej, PhD.