Teorie hromadné obsluhy

Simulace evakuace návštěvníků koncertu v klubu

2010/2011

Jan Votoupal, 1.57

Obsah

1. Popis situace 2
2. Zvolený systém 2
3. Popis běhu simulace 3
3.1. Deklarace veličin: 3
3.2. Běh programu: 3
4. Výpočty 4
4.1. Stabilita systému pro jednotlivé časové úseky 4
4.2. Charakteristiky systému 5
5. Výsledky simulace 6
5.1. Tabulková část 6
5.2. Určení intervalu spolehlivosti 7
5.3. Ttest 7
5.4. Grafická část 8
Závěr 9
Použité zdroje 9
Kód programu v Matlabu: 10

1. Popis situace

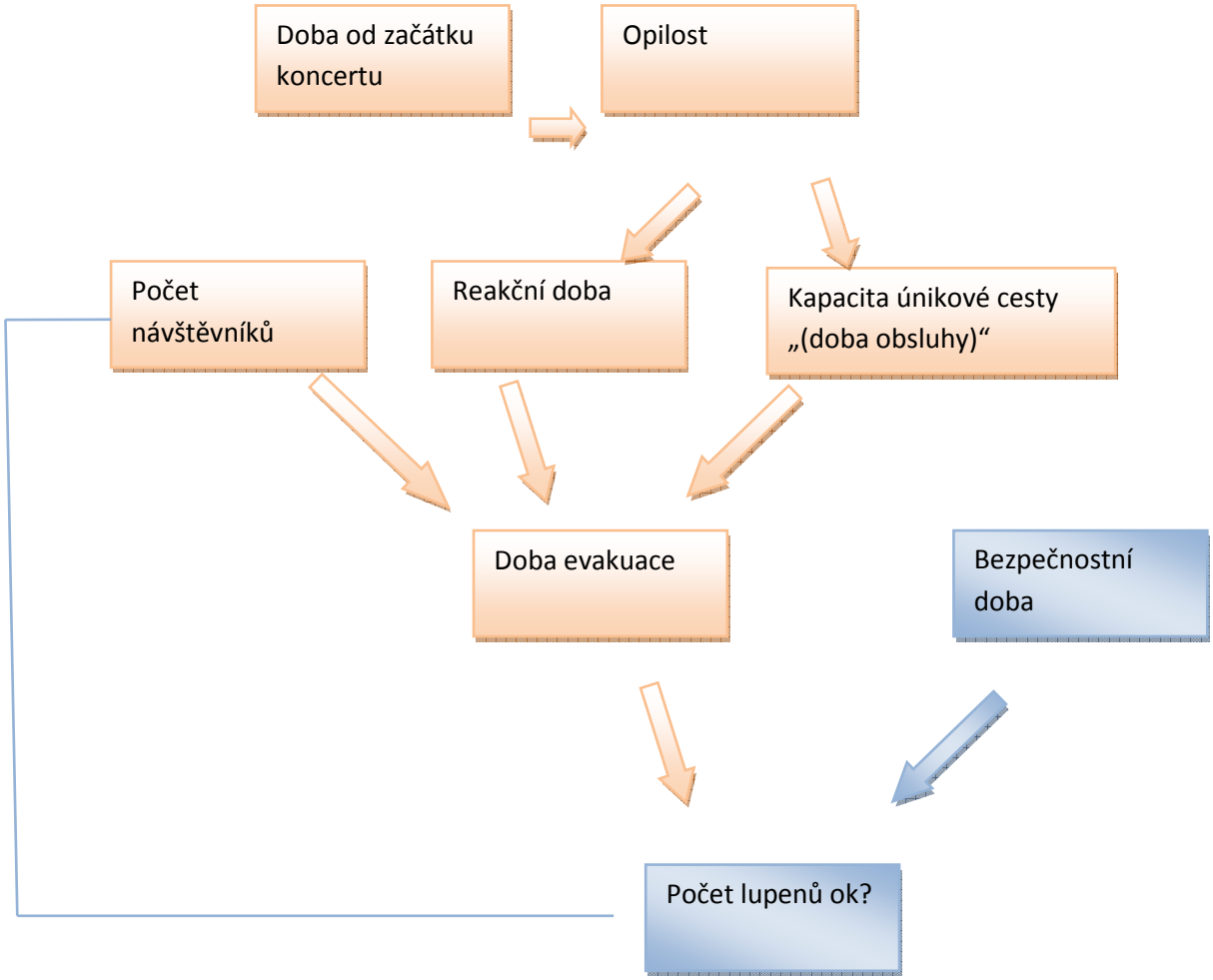
Práce si klade za cíl zjistit dobu evakuace klubu při zadaném počtu návštěvníků. Model reprezentuje krajní situaci, kdy jsou lidé odkázáni pouze na jeden východ. Zároveň se předpokládá šíření nebezpečí po celém klubu (např. oheň). Výstupem modelu by měl být čas, za který se všichni návštěvníci bezpečně dostanou ven. Pokud by simulační model sloužil k optimalizaci, měl by tento čas být porovnán se stanovenou bezpečnostní dobou, která se může pohybovat v tomto případě mezi 2 a 3 minutami. Pokud by byla simulovaná doba úniku větší než doba bezpečností, muselo by dojít ke snížení počtu návštěvníků na vstupu. V praxi to znamená menší množství uvolněných vstupenek.

Simulační model byl vytvořen v programu Matlab.

2. Zvolený systém

Zvolený systém pro modelování je jednokanálový systém s jednou frontou bez priorit dle Kendallovy klasifikace M/M/1/ $\propto$.

Model náhodně volí dobu vzniku události vzhledem k začátku koncertu.



Oranžové rámečky znázorňují oblast simulovanou modelem. Modré pak naznačují doplnění o optimalizační fázi.

Vstup požadavků do systému je náhodný, řízený Poissonovským tokem. V reálné situaci je vstup závislý na vzdálenosti diváka od východu v době vzniku rizikové události.

Při modelování evakuace nelze počítat se systémy FIFO, nýbrž se SIRO (Service In Random Order). Tedy, že unikající nestojí spořádaně ve frontě, ale vytvoří kolem východu „balík“.

3. Popis běhu simulace

3.1. Deklarace veličin:

doba_evakuace	doba evakuace [s], hlavní výstup simulačního modelu
x	počet návštěvníků, v tomto případě 200
reakcni_doba	čas v sekundách od vzniku kritické události do okamžiku, než začnou lidé unikat [s]
lambda	intenzita přístupu lidí do fronty. V průběhu evakuace se mění v závislosti na době, která uplynula od vzniku nebezpečné události. [lidí/s]
mutemp	intenzita „obsluhy“ [lidí východem/časový krok*] Veličina *mutemp* je ovlivněna hodnotou kapacity dveří (lidí/s). Propustnost dveří je definována jak jejich šířkou, tak chováním a tělesnými proporcemi procházejících. Tato hodnota je náhodně volena v intervalu 1.75 až 2.25. Tento interval byl zvolen na základě výsledků studie Capacity of Doors during Evacuation Conditions. *časový krok je náhodně volen, v jeho rámci buď přijde uprchlík do fronty, nebo frontu dveřmi opustí a unikne
doba_zacatku	doba od začátku koncertu (ovlivňuje opilost), [hod]
opilost	nabývá hodnot 1 až 5 v závislosti na době od začátku koncertu prodlužuje proměnnou *reakcni_doba* a negativně ovlivňuje *mutemp* (kapacitu dveří)

3.2. Běh programu:

Nejdříve je náhodně vygenerována hodnota *doba_zacatku*. Ta udává, v kolik hodin po začátku koncertu se přihodí událost, kvůli které je nutné klub evakuovat. V závislosti na této době je přiřazena hodnota proměnné *opilost*. Tato proměnná ovlivňuje reakční dobu. Ta v modelované simulaci nabývá hodnot 5-15 sekund. Je to doba, po které se první návštěvník vzpamatuje a dojde k únikovému východu.

Prvních 20 vteřin od počátku evakuace je intenzita vstupu nastavena na hodnotu *lambda=x/1000*7.5,* přičemž x je počet návštěvníků. Po dalších 20 vteřin se zdvihne intenzita vstupu na *lambda=x/1000*10.* Do 1 min a 20 s pak naroste až na *lambda=x/1000*15,* aby pak klesla na *lambda=x/1000*5.* Pro situaci kdy je v klubu 200 lidí, se jednotlivé intenzity rovnají těmto číslům:

Čas od začátku evakuace (s)	t<20	20<t<40	40<t<80	80<t
lambda	1.5	2	3	1

Tyto ručně vložené změny intenzity by měly reflektovat přístupy unikajících ke dveřím, předpokládáme-li, že mají lidé k únikovému východu různě daleko a opustit klub se rozhodují v odlišné době. V rámci uvedených časových bloků se vstupy lidí do systému/fronty řídí Poissonovským tokem. Generování časových okamžiků Poissonovského toku (tzn. řádek `time=-log(rand)/(lambda+mutemp);`) je převzato z procedury SIMM1.

Algoritmus pseudonáhodně generuje časový úsek, za který se buď někdo zařadí do fronty, nebo naopak frontu opustí. V případě časového úseku týkajícího se opuštění fronty je časový úsek vynásoben aktuální intenzitou obsluhy (propustnosti dveří). Díky tomu získáme údaj, kolik lidí za časový úsek systém opustí. Zde je nutno podotknout, že vzhledem k proměnným časovým úsekům i intenzitě obsluhy jsou v jednotlivých krocích desetinná čísla. Na první pohled tak může vypadat směšně, že za 50 sekund klub opustí 42,324 člověka. Je nutno si však uvědomit, že primárním cílem simulace je zjištění celkového času a pravděpodobný průběh evakuace. Pracuje se zde s mnoha náhodnými veličinami a případné zaokrouhlování výsledků v průběhu simulace by způsobilo prakticky nefunkčnost modelu.

Program sleduje počet lidí v klubu, z toho kolik jich je ve frontě a kolik ještě u podia.

Pro otestování různých situací bylo provedeno 30 běhů programu. Nasimulovány tak byly situace s rozdílnou dobou výskytu nebezpečné události, což ovlivňuje klíčové proměnné.

4. Výpočty

4.1. Stabilita systému pro jednotlivé časové úseky

$$\eta = \frac{\lambda}{\mu}$$

za μ je dosazena střední hodnota 2 upravená o odchylku při průměrné opilosti, tzn. μ = 1.725

Čas od začátku evakuace (s)	t<20	20<t<40	40<t<80	80<t
η	0.87	1.16	1.739	0.58
stabilita	ano	ne	ne	ano

Systém je nastaven tak, že v druhém a třetím intervalu roste fronta nade všechny meze a systém je nestabilní. Je pravděpodobné, že i v reálné situaci by tento jev nastal, systém se vrací do stabilního

stavu ve čtvrtém intervalu. Zde je předpoklad, že v klubu už zbývá jen málo lidí, v důsledku čehož intenzita vstupu rapidně klesá.

4.2.Charakteristiky systému

Vypočítané charakteristiky se vztahují k prvnímu časovému úseku, kdy je systém stabilní. Systém se skládá z fronty před dveřmi a dveřního prostoru.

<u>Charakteristiky platné pro t<20:</u>

Střední počet uprchlíků ve frontě:

$$n_f = \frac{\lambda^2}{\mu.(\mu - \lambda)} = \frac{1.5^2}{1.725.(1.725 - 1.5)} = 5.8 \text{ uprchlíků}$$

Střední počet uprchlíků v systému:

$$n_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{1.5}{(1.725 - 1.5)} = 6.67 \text{ uprchlíků}$$

Střední doba čekání uprchlíka ve frontě:

$$t_f = \frac{\lambda}{\mu.(\mu - \lambda)} = \frac{1.5}{1.725.(1.725 - 1.5)} = 3.9 \text{ sekundy}$$

Střední doba, kterou stráví uprchlík v systému:

$$t_s = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1.725 - 1.5} = 4.4 \text{ sekundy}$$

5. Výsledky simulace

5.1.Tabulková část

Simulace proběhla celkem 30x. Díky tomu by měly být celkové výsledky relevantní a neovlivněné případnými extrémními odchylkami v rámci jednotlivých simulací.

Simulace č.	Vznik události od začátku kon.	Doba evakuace	Max fronta	Prázdné pódium
	[h]	[s]	[lidí]	[s]
1	4,63	188,04	161,61	94,66
2	2,19	177,10	138,82	104,42
3	3,31	182,48	158,88	91,76
4	3,21	178,66	117,33	118,17
5	1,70	176,96	143,46	103,13
6	4,41	201,57	152,83	114,46
7	1,76	174,97	137,23	107,56
8	1,15	170,12	108,08	134,39
9	2,07	181,09	154,19	97,29
10	3,54	175,97	172,64	83,40
11	1,62	182,36	124,60	110,91
12	3,78	205,65	129,87	111,47
13	2,13	177,82	155,47	85,83
14	1,14	180,20	168,66	86,26
15	1,65	179,33	151,12	87,16
16	3,55	181,62	156,04	94,31
17	0,32	154,81	137,37	85,54
18	0,73	164,83	138,10	97,41
19	0,07	165,25	146,61	85,39
20	4,56	186,11	162,16	94,88
21	2,81	173,06	157,27	88,48
22	1,29	176,55	154,68	92,69
23	3,63	167,19	130,56	102,07
24	0,04	165,40	143,45	91,02
25	4,80	206,00	145,62	108,40
26	1,59	198,05	154,48	96,45
27	1,44	178,72	153,75	86,47
28	3,75	188,75	156,27	89,31
29	0,96	164,18	149,88	81,53
30	3,48	182,16	142,16	104,01
Simulace č.	Vznik události od začátku kon.	Doba evakuace	Max fronta	Prázdné pódium
medián	**2,10**	**178,69**	**150,50**	**94,77**
max	4,80	**206,00**	172,64	134,39
min	0,04	154,81	108,08	81,53
směr. odchyka	1,397	11,905	14,343	12,001

5.2.Určení intervalu spolehlivosti

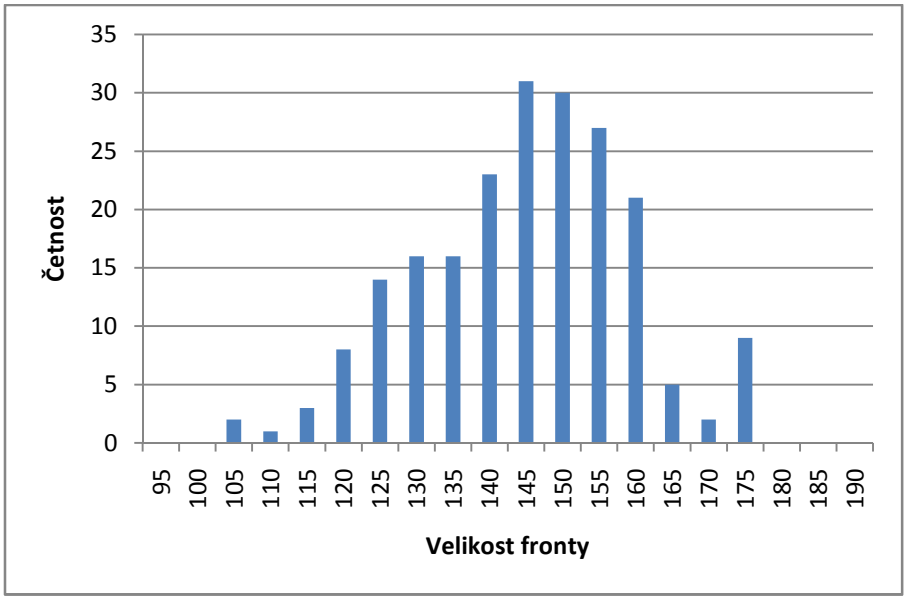
Interval spolehlivosti byl určen pro výslednou dobu evakuace pomocí statistické procedury var_int (Matlab) pro známý rozptyl.

Rozsah výběru:	51.2
Bodový odhad D[X]	146.6
Interval spolehlivosti:	(102.7; 226.3)

V 95% intervalu spolehlivosti leží všechny naměřené hodnoty.

5.3.Ttest

Pro získání relevantnější hodnoty průměru maximální délky fronty byla provedena 200-násobná simulace. Četnosti výskytu front o dané velikosti (intervaly po 5) jsou uvedeny v následujícím grafu. Zároveň byl proveden test, jestli je výsledné rozdělení normální pomocí procedury ttest. Střední hodnota byla vypočtena jako 143,355 lidí (odchylka od 30-násobné simulace je zde 4 %).

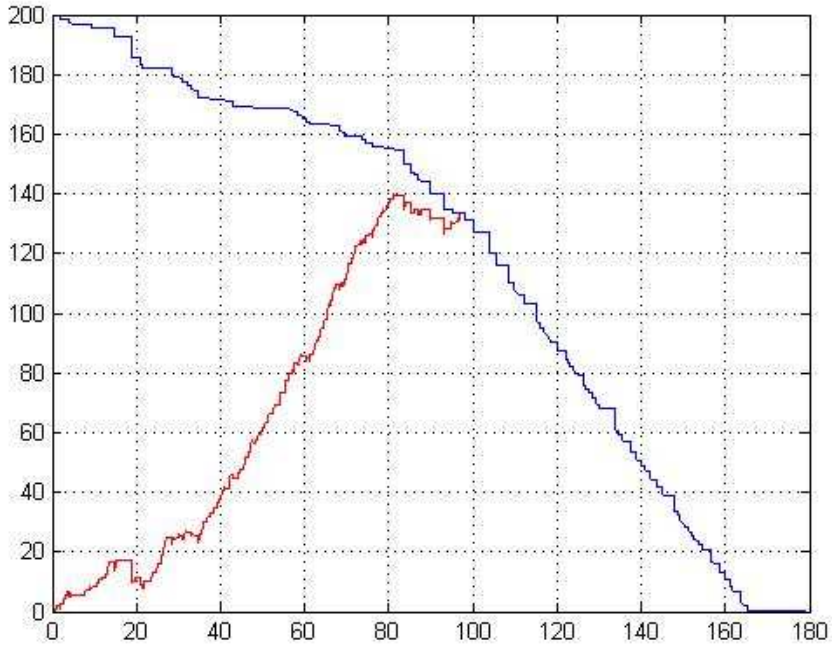



```
maxfront200=[0 0 2 1 3 8 14 16 16 23 31 30 27 21 5 2 9 0 0];
prumer_mxf200=143.355;
T = ttest(maxfront200, prumer_mxf200);
```

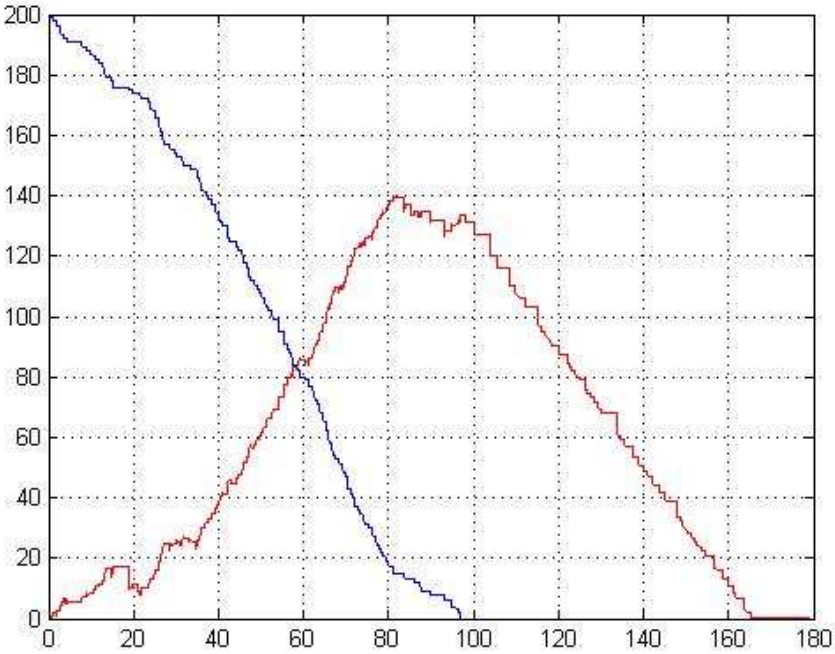
```
T=1
```

Velikost maximální fronty při zadaných intervalech odpovídá normálnímu rozdělení při hladině pravděpodobnosti 5%.

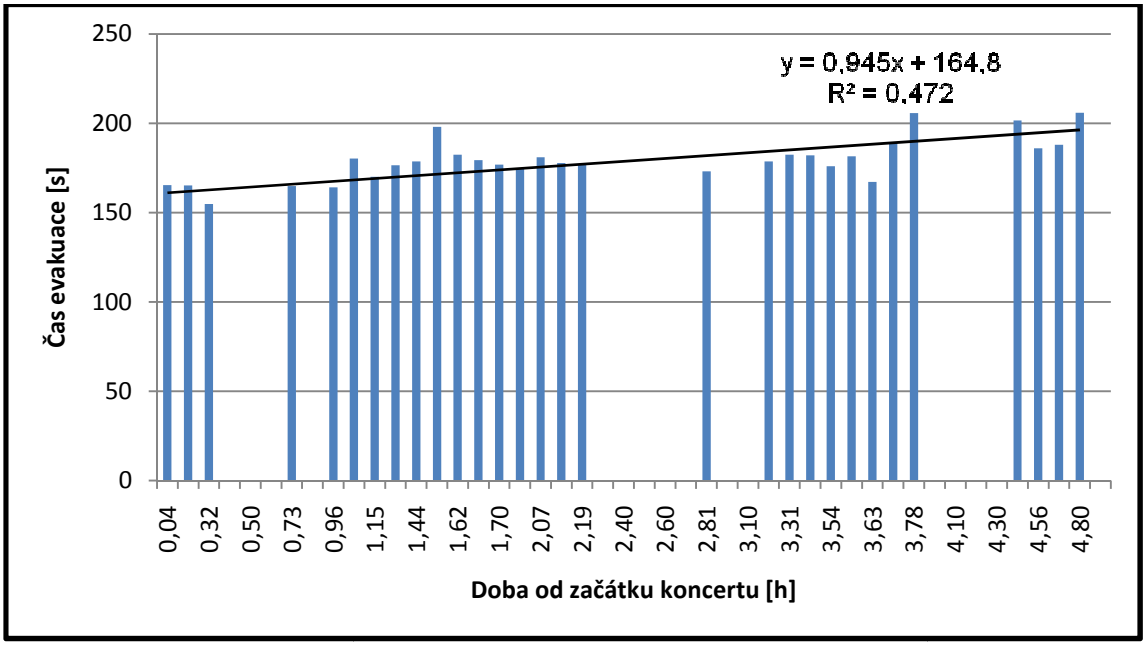
5.4.Grafická část



Graf 1- Počet lidí v klubu a velikost fronty v průběhu času [s]



Graf 2- Počet lidí u pódia a velikost fronty v průběhu času [s]



Graf 3- Doba evakuace v závislosti na době uplynulé od začátku koncertu

Závěr

Z výsledků simulace vyplývá, že 200 návštěvníků koncertu klub opustí za 3 minuty. Nejhorší nasimulovaný čas evakuace je 3 minuty a 36 sekund. Prostor před podiem se vyprázdní v průměru za 1 minutu a 35 sekund.

Snížení doby evakuace lze provést několika způsoby. Buď nastíněným snížením počtu prodaných lístků nebo rozšířením úzkého hrdla na únikové cestě (v tomto případě dveří). Z grafu 3 je viditelný vliv doby začátku koncertu na době evakuace. Opilost negativně ovlivňuje dobu úniku. Její omezení ve formě prodeje pouze nealkoholických nápojů však dle názoru autora práce není pro rockový klub dlouhodobě přijatelné.

Použité zdroje

www.**mathworks**.com/help/techdoc

Přednášky z http://www.fd.cvut.cz/department/k611/PEDAGOG/K611THO.html

R.Gaigalas, I.Kaj , procedura SIMM1

Winnie Daamen, Serge Hoogendoorn, Capacity of Doors during Evacuation Conditions, 2010

Kód programu v Matlabu:

```
clc
clear
  % seznam proměnných a jejich počáteční hodnoty
    maxfronta30=0;
for t=1:30
     i=0;                        %, počáteční hodnota
     tjump=0;                    %start v čase 0
     systsize=0;
     systsize(1)=i;              %v čase 0: velikost i; velikost fronty u
                                     dveří
     maxfronta=0;


     x=200;                      %pocet navstevniku
     pod=x;                      %poc. hodnota - lide v klubu, v behu
                               programu pak znazornuje hodnotu lidi, kteri
                               jeste nejsou ve fronte u dveri
     p(1)=x;
     lidi_podium=0;
     lidi_podium(1)=x;

     lambda=0;                   %intenzita vstupu lidi/s
     mutemp=2;                   %kapacita dveri
     a=1.75;                     %hranice intervalu pro určení momentální
kapacity dveří
     b=2.25;

     tjump1=0;                   %celkovy cas evakuace
     celkem =zeros(1,700);      %celkem uniklych
     k=1;

     tjump2=0;
     doba_evakuace=0;
     databaze=zeros(700,6);



     doba_zacatku=rand*5;        %doba vzniku události od začátku koncertu
                                     v hodinách

     if doba_zacatku<1
         opilost=0;
     elseif doba_zacatku<2
         opilost=1;
     elseif doba_zacatku<3
         opilost=2;
     elseif doba_zacatku<4
         opilost=3;
     else
         opilost=5;
     end
         reakcni_doba=5+opilost*2;


  while p(k)>0.1        %cyklus probíhá dokud jsou v klubu lidé
      k=k+1;
```

```
if i==0
  mutemp=0;
end

if tjump1<20        %rozdeleni intenzity vstupu dle casu dle poctu
                    navstevniku, reflektuje kolik lidi se kdy
                    vzpamatuje a zacne utíkat
    lambda=x/1000*7.5;
elseif tjump1<40
    lambda=x/1000*10;
elseif tjump1<80
    lambda=x/1000*15;
else
    lambda=x/1000*5;
end


        time=-log(rand)/(lambda+mutemp);    % časové úseky mezi kroky:
                                          % Exp(lambda+mu)-distributed
        mutemp=time*((a + (b-a).*rand)-opilost*0.05); %kapacita dveri,
                                            za posledni jednotku casu

       if rand<lambda/(lambda+mutemp)& pod>0
        i=i+1;                  %jump up:  příchod uprchlíka do fronty
        pod=pod-1;                              %ubyl jeden od podia
        lidi_podium(k)=lidi_podium(k-1)-1;
        p(k)=p(k-1);
        celkem(k)=celkem(k-1);
       elseif i>mutemp
        i=i-mutemp;                %jump down: únik uprchlíka dveřmi
        p(k)=p(k-1)-mutemp;            %pocet zbyvajicich v klubu
        celkem(k)=celkem(k-1)+mutemp;
        lidi_podium(k)=lidi_podium(k-1);
       else
           p(k)=p(k-1);
           celkem(k)=celkem(k-1);
           lidi_podium(k)=lidi_podium(k-1);
       end

systsize(k)=i;                                  %velikost fronty
tjump(k)=time;
tjump1=cumsum(tjump);

doba_evakuace=tjump1(k)+reakcni_doba;
databaze(k,1)=doba_evakuace;   %uběhlý čas
databaze(k,2)=celkem(k);       %celkem uniklých
databaze(k,3)=systsize(k);     %lidí ve frontě
databaze(k,4)=lambda;          %intenzita přístupu lidí ke dveřím
databaze(k,5)=mutemp;          %intenzita obsluhy
databaze(k,6)=p(k);            %pocet lidi v klubu

if pod==0 & lidi_podium(k)~=lidi_podium(k-1)
    prazdne_podium=doba_evakuace;  %zjisti cas kdy je u podia prazdno
end

if i>maxfronta
    maxfronta=i;
end
```

```
  end              %for i
        if maxfronta>maxfronta30
             maxfronta30=maxfronta
        end

  databaze30(t,1)=doba_zacatku;
  databaze30(t,2)=doba_evakuace;
  databaze30(t,3)=maxfronta;
  databaze30(t,4)=prazdne_podium;

end
 % tjump2=cumsum(tjump);                                %cumulative jump times
 % stairs(tjump2,systsize,'r');
 % hold on
 % stairs(tjump2,p),grid;
 % hold off
 % figure
 % stairs(tjump2,systsize,'r');
 % hold on
 % stairs(tjump2,lidi_podium),grid;
 % hold off
```