

# Model siete hasičských staníc

*Projekt IMS, 2016*

*Autori: Adam Ormandy (xorman00), Marián Országh (xorsza00)*

## **1. Úvod**

Cieľom projektu bolo navrhnuť model, ktorý simuluje sieť hasičských staníc na dvojrozmernej ploche. Tento model bol potom použitý na experimentálne zistenie optimálneho rozmiestnenia a počtu hasičských staníc, vzhľadom na škody spôsobené požiarom a náklady na údržbu týchto staníc.

### **1.1. Autori, konzultanti a zdroje**

Autormi štúdie sú Adam Ormandy (xorman00) a Marián Országh (xorsza00) - študenti 3. ročníka bakalárskeho štúdia na Fakulte Informačných technológií VUT v Brne. Prioritným zdrojom informácií boli oficiálne informácie dostupné na portále HSZ JmK (<http://www.firebrno.cz/>).

Taktiež sme niektoré aspekty konzultovali z odborníkmi. Títo odborníci boli npor. Ing. Alexandr Ficek, veliteľ požiarnej stanice Brno-Přehrada a mjr. Mgr. Zoltán Takács, riaditeľ OR HaZZ v Trnave.

### **1.2. Overenie validity modelu**

Overovanie validity modelu prebiehalo pomocou experimentov, a to simuláciou vo virtuálnom prostredí (Validace modelu – IMS přednášky [1] slide č. 37). Overovalo sa, či modelovaná situácia zodpovedá reálnej situácii, pričom informácie boli čerpané z vierohodných a oficiálnych zdrojov ako je portál HSZ JmK.

## 2. Rozbor témy

Informácie, potrebné pre implementáciu modelu boli vyhľadane primárne na verejne dostupných stránkach na internete. Problém bol, že tieto informácie boli buď v sumarizovaných hodnotách alebo príliš detailné na to, aby sa dali priamo použiť v našej implementácii. Z toho dôvodu sme museli použiť kvalifikovaný odhad podporený údajmi zo štatistík a vedomosťami získanými z telefonických konzultácií s odborníkmi.

Hodnoty, ktoré sme získali:

- Tabuľková rýchlosť hasičského auta je 45 km/h (npor. Ing. Alexandr Ficek)
- V roku 2015 v oblasti Brna vzniklo 624 požiarov [2], čo znamená, že denne sa vyskytlo 1.71 požiaru
- Finančné náklady na stanicu Brno-Přehrada, ktorú sme použili ako referenčnú stanicu, boli 12,389,458.43 Kč za rok 2015 (korešpondencia s HSZ JmK)
- Rôzne podtypy požiarov [3]
- Doby hasenia jednotlivých požiarov [3]
- Maximálne doby horenia požiarov (mjr. Mgr. Zoltán Takács)
- Veľkosť škôd podľa štatistík jednotlivých výjazdov [3] (mjr. Mgr. Zoltán Takács)
- Doba na znovupripravenie vozidla na zásah je pre náš okruh zásahov približne 20 minút (npor. Ing. Alexandr Ficek)

### 2.1. Popis použitých technológií

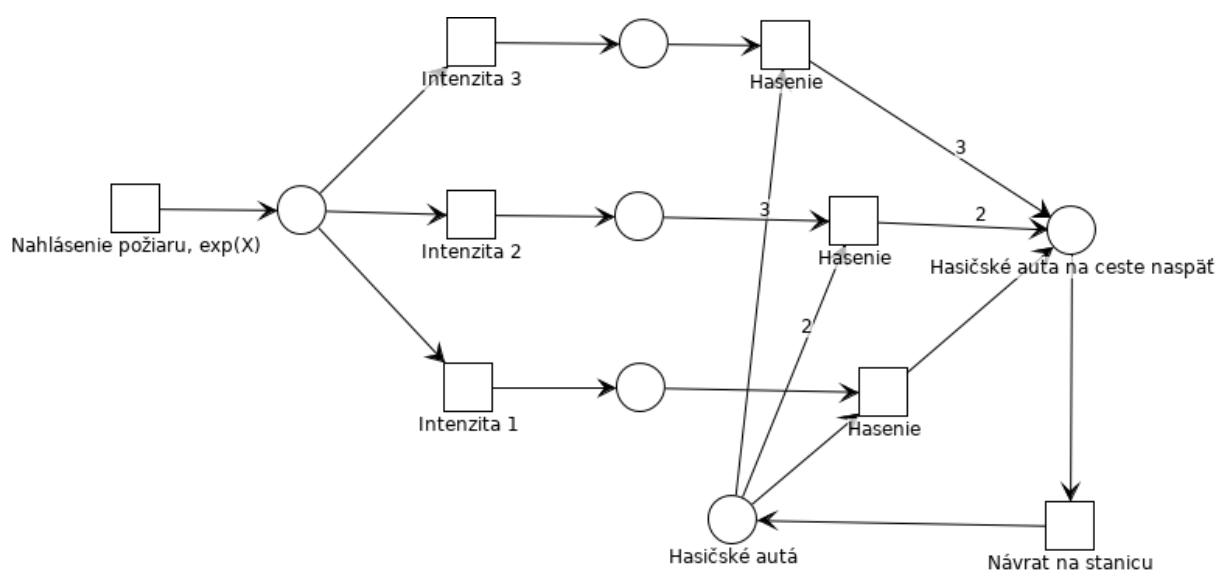
- C++ <http://www.cplusplus.com/>
- SIMLIB <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- g++ <http://www.cprogramming.com/g++.html>
- GNU/Linux, distribúcia Arch <https://www.archlinux.org/>
- Python 3 <https://www.python.org/>

### 3. Konceptcia modelu

Petriho sieť na obrázku č. 1 zobrazuje zjednodušený mechanizmus nahlásenia požiaru, vyslania potrebného počtu požiarnych áut , uhasenia, vrátenia vozidiel na stanicu a proces prípravy na ďalší zásah. Premenná  $X$  ovplyvňuje pravdepodobnosť vzniku požiaru a v našom modeli bola zvolená hodnota tak, aby zodpovedala 1.72 požiaru denne, čo je priemerná hodnota pre Brno [2].

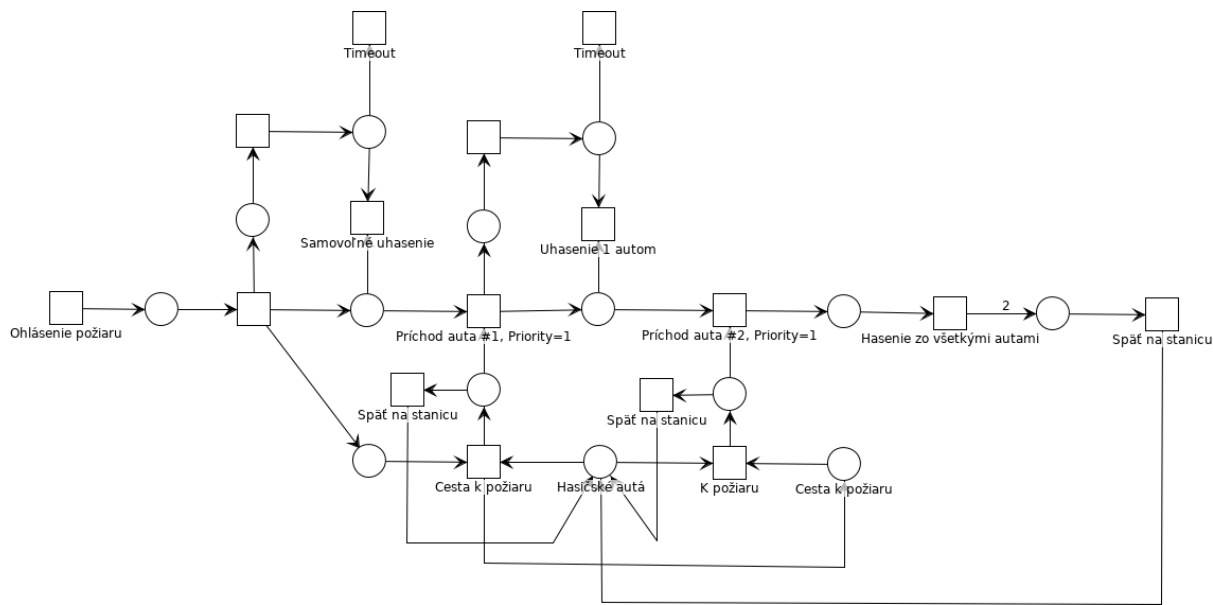
V tomto diagrame nie úplne zobrazený proces hasenia a príchodu hasičských vozidiel, keďže ten je značne komplexný, a preto je zobrazený na obrázku č. 2.

Premenná  $Y$  pri návrate vozidiel sa odvodzuje od vzdušnej vzdialenosti medzi domovskou stanicou a požiarom. Tu sa počíta že vozidlo ide rýchlosťou 45 km/h, čo je tabuľková rýchlosť používaná HSZ (npor. Ing. Alexandr Ficek).



Obrázok 1

Na obrázku č. 2 je znázornený proces hasenia požiaru intenzity 2, ktorý je značne komplexný, keďže je nutné simulovať dobu, ktorá prebehne kým sa dostavia hasičské autá a aj to, že hasičské autá nemusia na miesto prísť súčasne, alebo môže požiar uhasiť menej áut ako je počet vyžadovaný intenzitou požiaru.



## Obrázky 2

Rýchlosť hasenia, zvyšovanie sily požiaru a škody ovplyvňuje podtyp požiaru. Jednotlivé podtypy a ich vlastnosti boli získané analýzou výjazdov [3] z obdobia od 1.1.2016 do 15.11.2016. Vlastnosti jednotlivých podtypov sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Požiare intenzity 1 podtypy							
Názov	Zastúpenie [%]	Počiatočná sila	Maximálna sila	Rast sily [sila/m]	Hasenie [sila/m]	Rast škod [Kč/m]	Maximálne trvanie [m]
Auto	22	10 - 20	60	1	3	400 - 900	120
Porast	8	5 - 15	80	1	3	10 - 60	120
Nízka budova	4	10 - 30	35	1	2	200 - 600	180
Kontajner	58	2	10	1	2	5 - 10	60
Výšková budova	8	10 - 35	35	1	2	200 - 700	300

Požiare intenzity 2 podtypy							
Názov	Zastúpenie [%]	Počiatočná sila	Maximálna sila	Rast sily [sila/m]	Hasenie [sila/m]	Rast škod [Kč/m]	Maximálne trvanie [m]
Nízka budova	34	15 - 30	120	1	2	500 - 1100	360
Odpad, skládka	5	20 - 30	80	1	2	0 - 10	120
Výšková budova	49	20 - 35	120	1	2	500 - 1200	500
Polný porast	12	10 - 40	100	1	2	0 - 50	180

Poznámka k atribútu hasenie: Uvedená sila hasenia sa týka situácie, keď sú na mieste požiaru prítomné 2 autá. Ak je prítomné 1 auto, je hasenie len na úrovni 0.6 z plnej sily.

Požiare intenzity 3 podtypy							
Názov	Zastúpenie [%]	Počiatočná sila	Maximálna sila	Rast sily [sila/m]	Hasenie [sila/m]	Rast škod [Kč/m]	Maximálne trvanie [m]
Nízka budova	44	100 - 140	600	1	3	900 - 2100	420
Priemyselná budova	11	200 - 240	600	1	3	1500 - 3500	600
Výšková budova	45	100 - 140	600	1	3	1100 - 2600	600

Poznámka k atribútu hasenie: Uvedená sila hasenia sa týka situácie, keď sú na mieste požiaru prítomné 3 autá. Ak je prítomné 1 auto, je hasenie na úrovni 0.2 z plnej sily, pri 2 autách 0.6 z plnej úrovne hasenia.

## 4. Architektúra simulačného modelu

Táto kapitola hovorí o implementačnej časti projektu, preto je pre jej pochopenie nutné mať aspoň základné znalosti objektovo orientovaného programovania a programovacieho jazyka C++. K vytvoreniu nášho modelu reálneho systému bolo nutné najprv z nadobudnutých znalostí vytvoriť abstraktný model a potom model simulačný (Princip Modelování a simulace - IMS přednášky [1] slide č. 9-10).

### 4.1. Návrh objektovo orientovaného modelu

Všetky prvky modelu, ktoré majú značný vplyv na dobu hasenia, alebo materiálne škody sú implementované samostatnou triedou.

- trieda **FireEngine**

jedná sa o triedu simulujúcu hasičské auto. Trieda obsahuje informácie o stave vozidla ( na stanici, na ceste k požiaru, ... ) a pozíciu svojej domovskej stanice. Implementuje tiež funkciu `travel_time`, ktorá vypočítava čas potrebný pre jazdu na miesto požiaru zo svojej domovskej stanice.

- trieda **Fire**, podtrieda **Process**

táto trieda simuluje požiar a stará sa o obstaranie vozidiel potrebných na uhasenie a o celkovú logiku boja z požiarom. Metódy implementované touto triedou sú:

- strength\_dec\_index, ktorá vypočítava zníženie intenzity požiaru na základe prítomných hasičských áut
  - engines\_on\_site vypočíta počet hasičských áut, ktoré už sú na mieste požiaru
  - current\_strength vypočíta aktuálnu silu požiaru
  - get\_damage vypočíta škody napáchané požiarom
  - Behavior, ktorá ovláda logiku získania áut a hasenia.
- trieda **FireAlarm**, podtrieda Event  
táto trieda slúži ako timeout, ktorý simuluje samovoľné, alebo hasičmi spôsobené uhasenie požiaru
  - trieda **FireEngineArrival**, podtrieda Event  
slúži na simuláciu asynchrónneho príchodu hasičských áut na miesto požiaru a následného výpočtu novej dĺžky hasenia požiaru.
  - trieda **FireEngineReturn**, podtrieda Process  
sa stará o asynchrónny návrat vozidiel naspäť na stanicu a ich znovupripravenie na ďalší zásah.

## 4.2. Simulácia požiaru

Hlavnou triedou pre simuláciu požiaru je trieda **Fire**. Táto trieda vo svojej metóde Behavior určí intenzitu, podtyp a pozíciu požiaru.

Potom má za úlohu z fire\_stations, čo je ukazateľ na instanciu triedy Store, ktorá simuluje dostupnosť vozidiel ísť hasiť požiar. Pri každom získanom vozidle sa vytvorí instancie **FireEngineArrival**, ktorá sa ďalej stará o príchod vozidla na miesto požiaru a prepočítanie doby potrebnej na uhasenie.

Uhasenie požiaru oznamuje timeout vo forme instancie triedy **FireAlarm**. Ak došlo k uhaseniu požiarov, vytvorí sa pre každé vozidlo, ktoré bolo alokované pre požiar instancie **FireEngineReturn**, ktorá zabezpečí návrat vozidla a znovupripravenie vozidla na ďalší zásah. Môže sa stať, že požiar bude uhasený skôr, ako sa dostane vozidlo k požiaru. Toto nie je nijako špeciálne ošetrené, lebo pri testovaní sa to nestávalo často a pri frekvencii približne 2 požiarov za deň a dojazdových vzdialenostiach to nie je faktor, ktorý by výrazne ovplyvnil výsledky.

## 5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou experimentov je zistiť optimálne rozmiestnenie variabilného počtu staníc na nejakej poloche tak, aby boli finančné výdaje (teda výdaje na údržbu hasičských staníc a finančné škody spôsobené požiarom) minimálne. Každý experiment pracuje s časovým obdobím jedného roka.

### 5.1. Popis použitia simulátoru

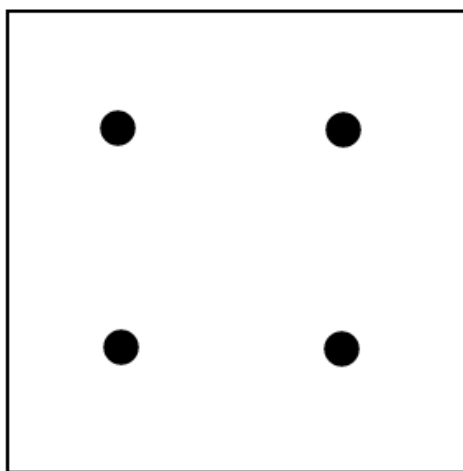
**make** preloží aplikáciu a vytvorí spustiteľný súbor

**make run** spustí aplikáciu z rôznymi nastaveniami rozloženia a počtu požiarových staníc a po vykonaní experimentov vypíše výsledky simulácie

**make clean** odstráni súbory vytvorené príkazmi **make** a **make run**

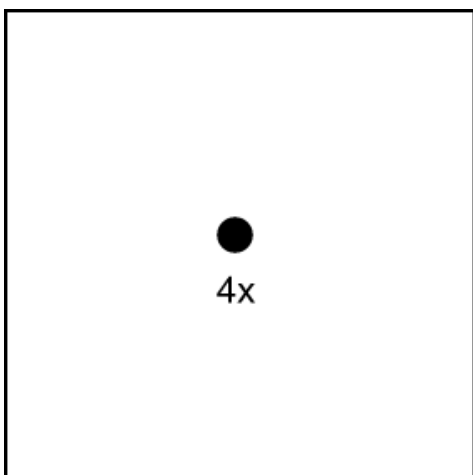
### 5.2. Dokumentácia jednotlivých experimentov

Každý typ experimentu pracoval s iným rozložením a počtom staníc. Dané rozmiestnenia na ploche 12x12 km sú ilustrované nasledujúcimi obrázkami:

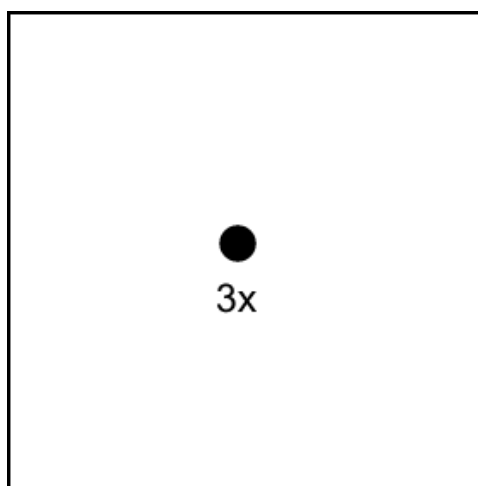


*Obr. 3. Rozloženie 1*

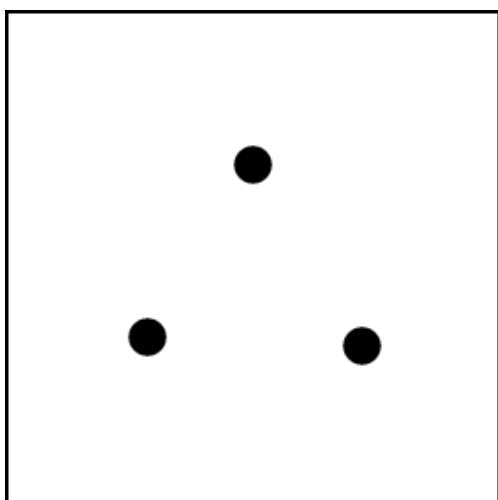




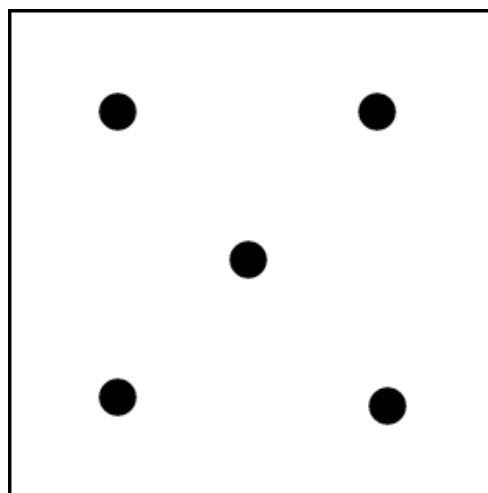
*Obr. 4. Rozloženie 2*



*Obr. 5. Rozloženie 3*



*Obr. 6. Rozloženie 4*

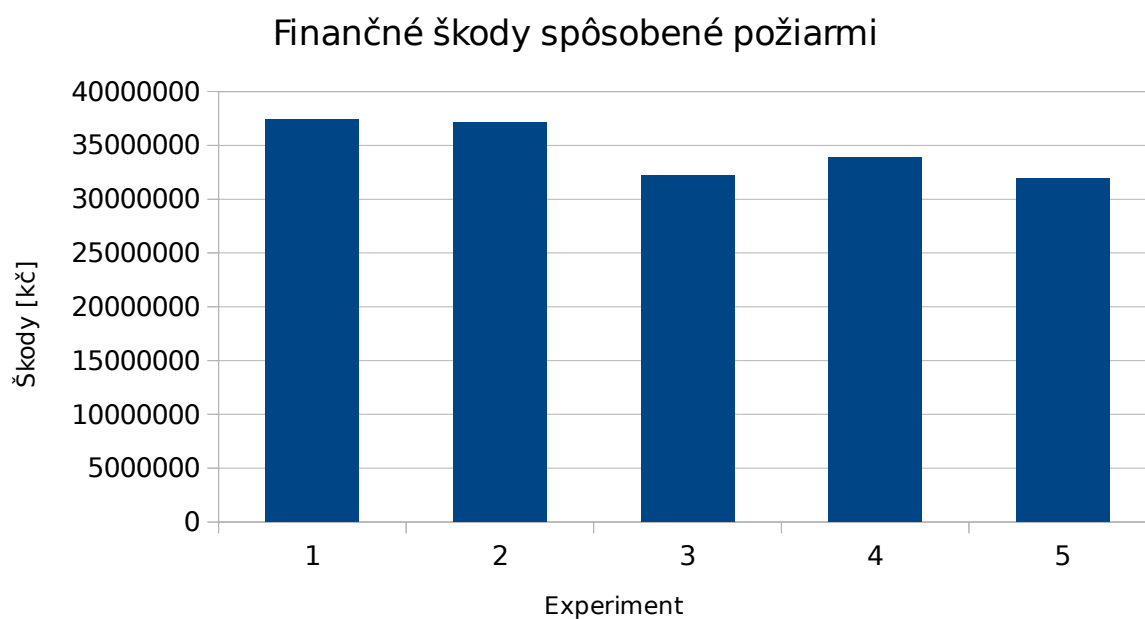


*Obr. 7. Rozloženie 5*

## 5.3. Závery experimentov

### 5.3.1 Finančné škody

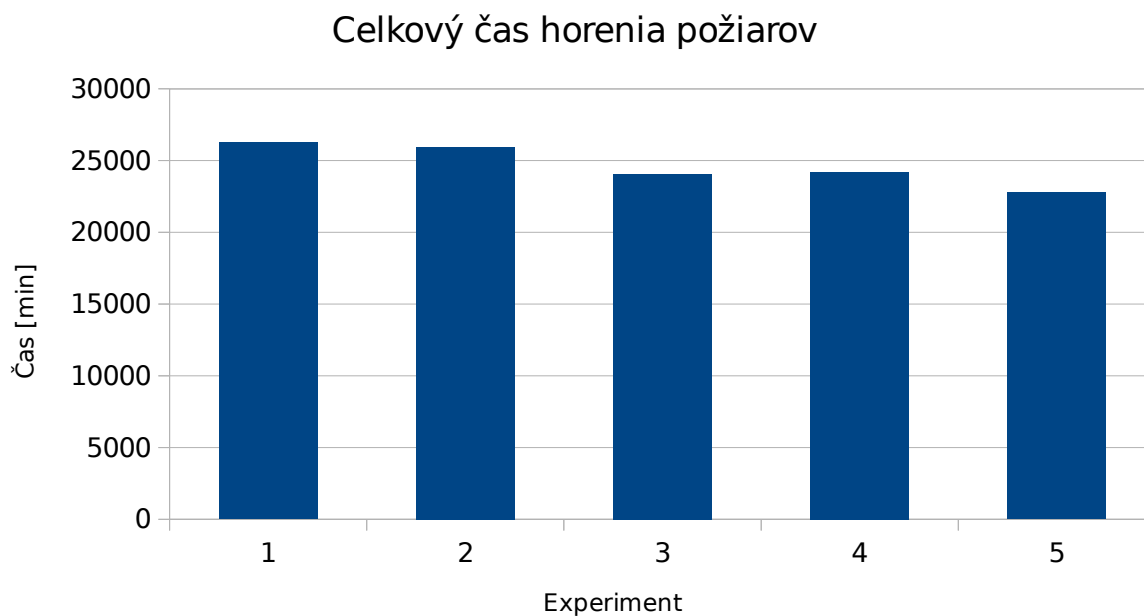
Prvým a hlavným sledovaným faktorom boli finančné škody spôsobené požiarmi. Získané hodnoty popisuje nasledujúci graf:



Podľa očakávaní sa so zvýšeným počtom požiarných staníc znížili materiálne škody. Rozdiel medzi 3. a 4. typom experimentu tiež ukazuje, že na ovplyvnení škod sa podieľa aj priestorové rozmiestnenie jednotlivých požiarnych staníc.

### 5.3.2 Celkový čas horenia

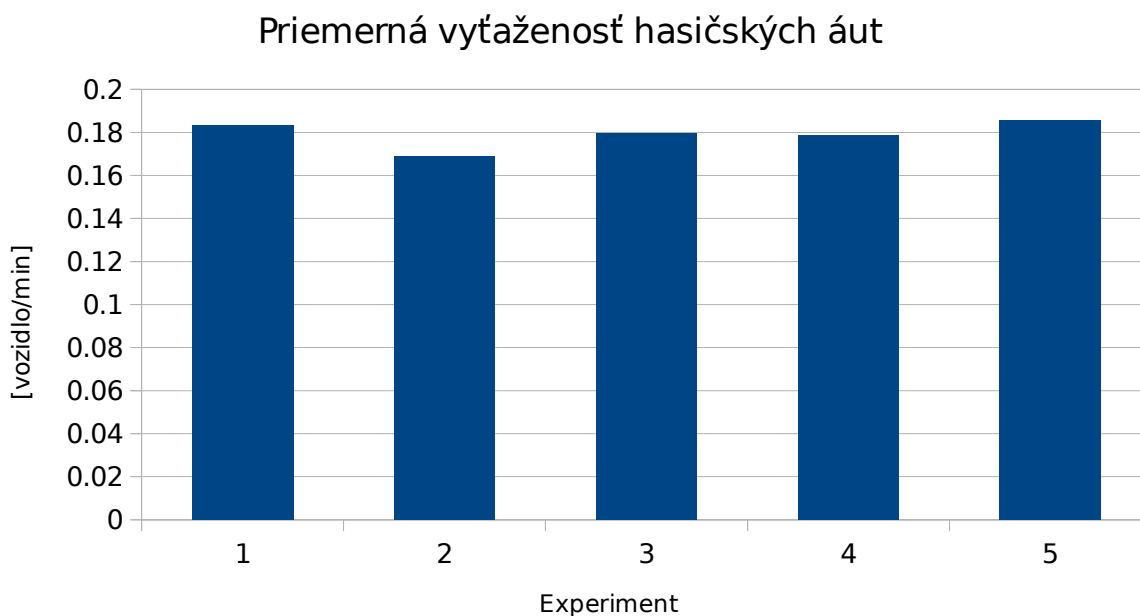
Pre objektívnejší výsledok štúdie bol tiež vypočítaný celkový čas horenia požiarov, teda súčet trvania každého požiaru za celý rok. Dané výsledky sú zaznamenané v grafe:



Zvýšenie počtu staníc malo za následok zníženie času horenia medzi jednotlivými rozmiestneniami o približne 1000 minút za rok. Pri priemernom počte požiarov 624 za rok to činí 1.6 minúty na jeden požiar.

### 5.3.2 Priemerné využitie vozidiel

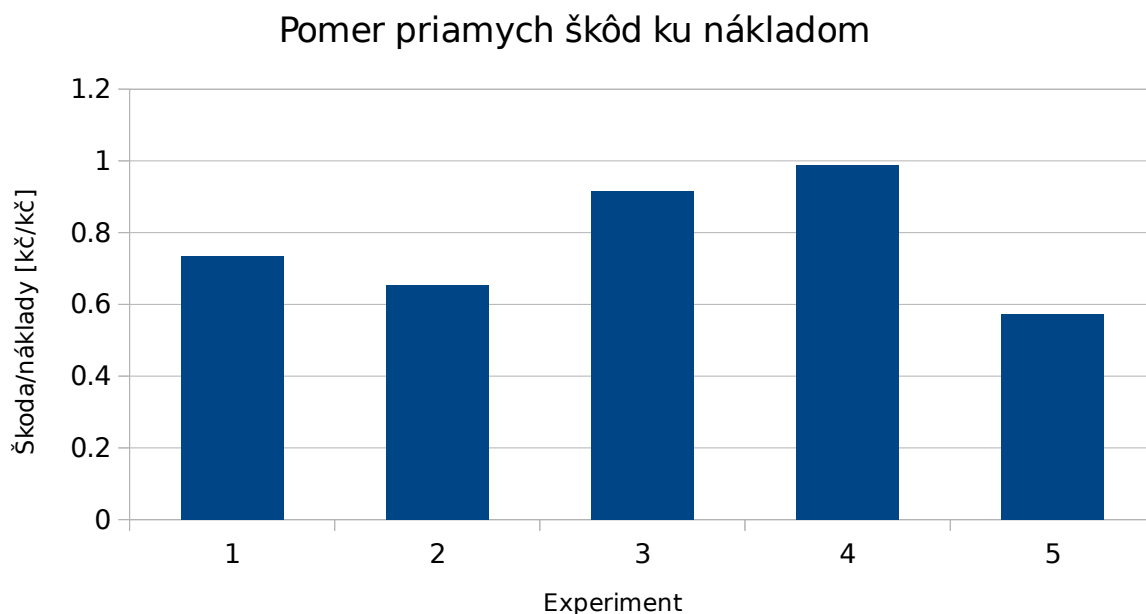
Ďalej sme sa zamerali na priemerné využitie vozidiel. Touto metrikou sme sa snažili zistiť v efektívnosti využitia požiarnických áut a či sa máme v experimentovaní presunúť k rozloženiam z viacerími autami.



Výsledky ukázali, že rozdiel medzi vybranými rozloženiami boli na úrovni stotín, z čoho pri vývoji modelu vyplynulo že nie je nutné pri frekvencii 1.72 požiaru za deň pridávať ďalšie vozidlá.

### 5.3.2 Pomer priamich škôd ku nákladom

Hlavnou úlohou nášho projektu bolo optimalizovať náklady na prevádzku požiarnych staníc vzhľadom na priame škody spôsobené požiarmi. Výsledkom experimentov z vybranými rozmiestneniami je nasledujúca tabuľka.



Z nej vyplýva, že najlepší pomer priamich škôd ku nákladom má rozloženie 4 a to takmer 1:1. Tesne za ním sa umiestnilo rozloženie 3. Najhoršie sa umiestnilo rozloženie 5.

## 6. Súhrn experimentov a záver

Experimentáciu sme zistili, že medzi jednotlivými rozloženiami nie je výrazný rozdiel vzhľadom na priame škody napáchané požiarom a ani vzhľadom na celkovú dobu aktivity požiarov.

Predpokladali sme teda, že najväčší vplyv na optimálnosť riešenia bude mať počet požiarnych staníc umiestnených v jednotlivých rozlozeniach. Táto domnienka sa ukázala ako pravdivá, keďže ako najoptimálnejšie riešenia sa ukázali rozloženia 3 a 4, ktoré simulujú sieť troch staníc. Preto na výsledný pomer bude mať väčší vplyv cena údržby jednej stanice, ktorá sa pohybuje v okolí 12 miliónov korún.

Z našich experimentov teda vyplynulo, že najlepší pomer priamych škôd má rozloženie 4, z rozložením 3 tesne za ním.

## 7. Referencie

[1] Peringer, P.: Modelování a simulace, Přednášky. Brno, 2016

[2] HSZ JmK. Statistická ročenka 2015 [online]. 2.3.2016 [cit: 4.12.2016].

Dostupné na

[http://www.firebrno.cz/uploads/statistiky/Statisticka\\_rocenka\\_2015.pdf](http://www.firebrno.cz/uploads/statistiky/Statisticka_rocenka_2015.pdf)

[3] Události. Portál HSZ JmK. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06].

Dostupné z: <http://www.firebrno.cz/modules/incidents/index.php>