

Dokumentácia k projektu IMS

5. Model siete hasičských staníc

6. decembra 2016

Dávid Prexta (vedúci tímu)
Maroš Cocul'a

xprext00
xcocul00

Obsah

| | |
|---|----|
| 1 Úvod | 1 |
| 1.1 Autori projektu | 1 |
| 1.2 Overenie validity modelu | 1 |
| 2 Rozbor témy a použitých metód/technológií | 1 |
| 2.1 Popis použitých technológií | 3 |
| 3 Konceptia | 3 |
| 3.1 Návrh konceptuálneho modelu | 3 |
| 3.2 Formy konceptuálneho modelu | 4 |
| 4 Architektúra simulačného modelu | 5 |
| 5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh | 6 |
| 5.1 Obecný popis simulačných experimentov | 6 |
| 5.2 Dokumentácia jednotlivých experimentov | 6 |
| 5.2.1 Experiment č. 1 | 6 |
| 5.2.2 Experiment č. 2 | 7 |
| 5.2.3 Experiment č. 3 | 7 |
| 5.2.4 Experiment č. 4 | 8 |
| 5.2.5 Experiment č. 5 | 9 |
| 5.3 Zhrnutie experimentov | 10 |
| 6 Záver | 12 |
| Referencie | 12 |

1 Úvod

Cieľom projektu bolo naštudovať danú problematiku, vyhľadať dôveryhodné zdroje a zozbierať štatistiky ohľadom fungovania hasičských staníc. Výsledkom bol optimalizovaný počet hasičských staníc, tak aby vznikalo čo najmenej škôd, s čo najmenšími výdavkami na beh staníc. Každá stanica vlastní jedno hasičské auto typu CAS (Cisternová automobilová striekačka).

1.1 Autori projektu

Na projekte sa podieľali Maroš Cocuľa (xcocul00) a Dávid Prexta (xprext00), študenti 3. ročníka bakalárskeho štúdia na Vysokom učení technickom v Brne.

Hlavným zdrojom čerpaných informácií boli verejné webové stránky Ministerstva vnútra Slovenskej republiky. Čerpané štatistiky pochádzajú z výročných správ Krajského riaditeľstva HaZZ v Banskej Bystrici [3]. Informácia týkajúca sa nákladov sme čerpali z komunikácie s pánom pplk. Mgr. Mariánom Bugárom, veliteľom HaZÚ hlavného mesta SR Bratislavy [4] a s pani Martou Fenčíkovou, pracovníčkou ministerstva vnútra SR centra podpory v Bratislave[2].

1.2 Overenie validity modelu

Overovanie validity ([1], slajd 37) modelu prebehlo na základe experimentov vo virtuálnom prostredí. Porovnávali sme modelové situácie s tými reálnymi. Všetky informácie, ktoré sme použili pri vytváraní modelu boli z dôveryhodných zdrojov. Na základe toho, že reálne nie je žiaden verejne dostupný model s rovnakým problémom. Prehlásili sme náš model za validný na základe porovnania so zistenými informáciami.

2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

Informácie použité pre vytvorenie modelu boli získané z verejne dostupných údajov na webe. Jedine údaje týkajúce sa finančných údajov bolo potrebné získať priamo od osoby nato zverenej. Tieto údaje sme získali z mailovej komunikácie s pani Martou Fenčíkovou a pánom pplk. Mgr. Mariánom Bugárom. Pre modelovanie ([1], slajd 8) sme si vybrali údaje z HaZÚ BB, pretože ponúkajú najviac štatistík spomedzi všetkých zborov.

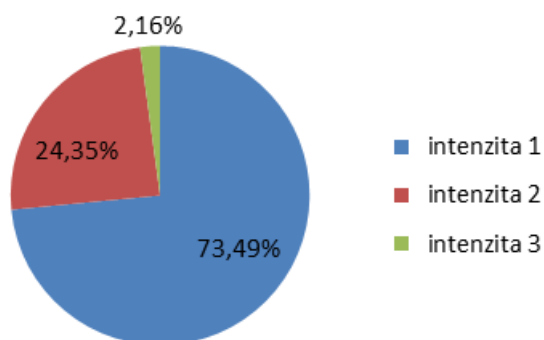
Na každej jednej požiarnej zbrojnici sa nachádza minimálne 15 zamestnancov, z toho 12 hasičov, 2 dispečeri a jeden technik. Pri vzniknutom požiari sa na hasenie vydáva najbližšia posádka, ak nie je pri inom požiari. Jednu posádku hasičskej striekačky tvoria štyria hasiči. Posádka musí byť pripravená na výjazd do troch minút, na mieste požiaru by mali byť do pol hodiny. Výnimka je ak posádka kvôli vzniknutej udalosti prichádza zo vzdialenej stanice. Po uhasení požiaru, sa posádka vracia na stanicu doplniť zásoby.

Zhrnutie získaných údajov popisuje tabuľka 1. Keďže údaje o požiaroch sú prevzaté z požiarných ročeniek, aj údaje sa vzťahujú na jeden rok.

| Informácia | Údaj | Zdroj |
|--|----------------------|---|
| Posádka CAS | 4 hasiči | Pplk. Mgr. Marián Bugár |
| Priemerná vzdialenosť k zásahu | 7,5 km | Ročenky na webových stránkach HaZÚ BB |
| Priemerná doba zásahu | cca 90 minút | Ročenky na webových stránkach HaZÚ BB |
| Priemerná škoda požiaru intenzity 1 za minútu | 3 - 6 € | Údaj nebol dostupný, vypočítané na základe známych informácií z ročeník HaZÚ v Banskej Bystrici |
| Priemerná škoda požiaru intenzity 2 za minútu | 25 - 35 € | |
| Priemerná škoda požiaru intenzity 3 za minútu | 45 – 55 € | |
| Požiarov ročne | cca 1096 | Ročenky požiarovosti na webových stránkach HaZÚ BB |
| Požiarov so škodou <335 ročne (intenzita 1) | cca 800 | Ročenky požiarovosti na webových stránkach HaZÚ BB |
| Požiarov so škodou 335 < x < 33195 ročne (intenzita 2) | cca 270 | Ročenky požiarovosti na webových stránkach HaZÚ BB |
| Požiarov so škodou > 33195 ročne (intenzita 3) | cca 23 | Ročenky požiarovosti na webových stránkach HaZÚ BB |
| Počet hasičských staníc v Banskobystrickom kraji | 16 | Webová stránka Ministerstva vnútra SR [2] |
| Priemerný plat hasiča | 820 € | Slovenský platový monitor [5] |
| Počet ľudí na stanici pre 1 auto | 15 | Pplk. Mgr. Marián Bugár |
| Ročné náklady na platy priemerne pre 1 stanicu | 150 000 € | Marta Fenčíková |
| Materiálne náklady ročne pre jednu stanicu, v priemere | 30 000 € | Marta Fenčíková |
| Energetické náklady, ročne v priemere | 4000 € | Marta Fenčíková |
| Servisné náklady, ročne v priemere | 12 000 € | Marta Fenčíková |
| Priemerne škody ročne | 3,8 mil € | Ročenky požiarovosti na webových stránkach HaZÚ BB |
| Rozloha BB kraja | 9455 km ² | Web Slovakia travel [6] |

Tabuľka 1 : Súhrn získaných informácií

Na naslednom grafe č.1, je percentuálne rozloženie požiarov voči intenzite.



Graf 1 : Percentuálne rozloženie požiarov podľa intenzity

2.1 Popis požitých technológií

Simulačný model je vytvorený ako konzolová aplikácia, napísaná v programovacom jazyku C++ , kvôli možnosti objektového návrhu. Čím je implementácia jednoduchšia a efektívnejšia. Použili sme ďalej knižnicu SIMLIB/C++ [7], ktorá poskytuje triedy pre simulácie. Z tejto knižnice sme využili simulačné nástroje ([1] , slajd 38) pre tvorbu a zber štatistík.

3 Koncepcia

Cieľom projektu je simulácia ([1], slajd 10) hasenia vzniknutých požiarov pre N staníc na 2D mape. Podľa zadania sme počítali s jedným autom na stanicu, ostatné autá sme zanedbali. Ďalej sme ani nerátali s tým že na každej stanici reálne je viacero áut s rôznym využitím. Počítali sme s prítomnosťou jednej CAS (Cisternová automobilová striekačka), ktorá je aj reálne na každej stanici. Ďalej sme požiare rozdelili do troch intenzít podľa veľkosti vzniknutých škôd. Ak vznikne požiar s najvyššou intenzitou, ale nie sú práve voľné tri autá, požiar sa bude hasiť s menším počtom áut, avšak dlhšie a vzniknú vyššie škody. V modeli sme nezohľadnili ani pomocné záchranné jednotky ako DHZ (dobrovoľné hasičské zbory) a zásahy jednotiek z iných krajov.

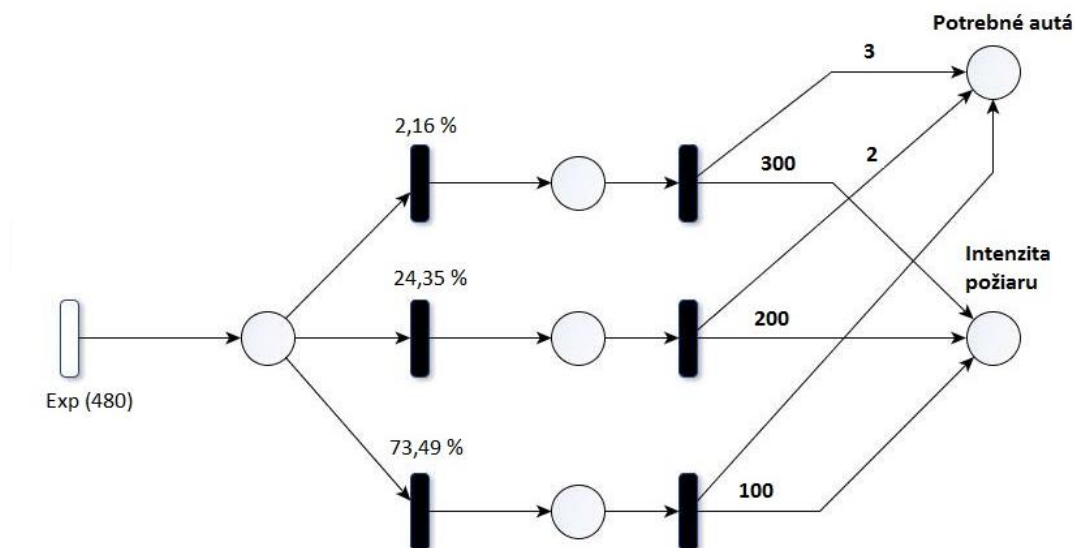
3.1 Návrh konceptuálneho modelu

Do systému vstupuje požiar s exponenciálnym rozložením. Pri vstupe do systému je požiaru pridelená počiatočná intenzita a pozícia. Od intenzity závisí počet áut, ktoré sú potrebné na uhasenie. Intenzita požiaru sa počas jeho behu zvyšuje, ak ho nehasí žiadne auto. Pri zvýšení intenzity nad určitú úroveň sa posiela ďalšie auto, ak je to možné. Systém posiela vždy auto z najbližšej stanice. Až do uhasenia sa zvyšujú škody, ktoré vznikli v závislosti na intenzite. Pri hasení sa intenzita znižuje podľa počtu áut na mieste. Požiar môže systém opustiť ak jeho intenzita dosiahne hodnotu 0.

Výstupom simulácie sú štatistiky informujúce o časoch potrebných pre presun áut k požiaru, vzdialenosti požiarov od staníc, dobách trvania požiarov, spôsobených škodách a nákladoch na výjazdy. Ďalej sa vo výstupe nachádzajú celkové škody vzniknuté za rok, celkové náklady na prevádzku staníc a počet požiarov ktoré vznikli.

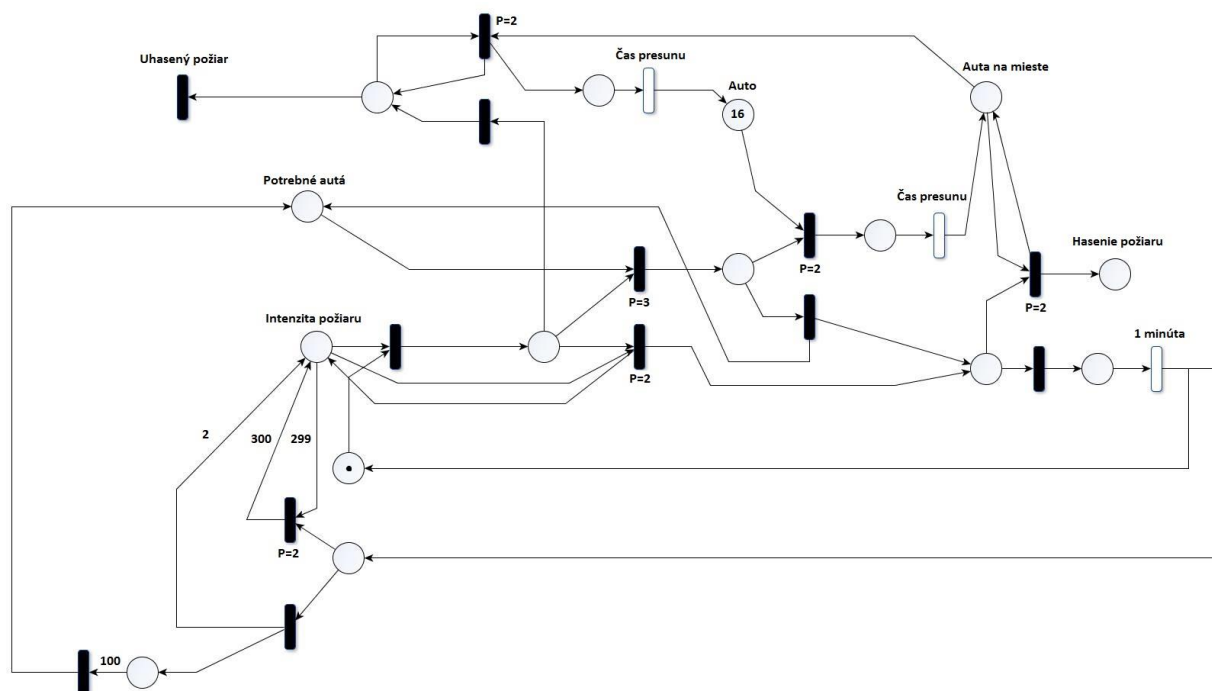
3.2 Formy konceptuálneho modelu

Požiar vznikne s exponenciálnym rozložením 480 minút. Požiare sú v rozpätí intenzity 100 až 300, s percentuálnym rozložením, viď. Obrázok 1. Následne sa nastaví počiatočná intenzita a potrebný počet áut.



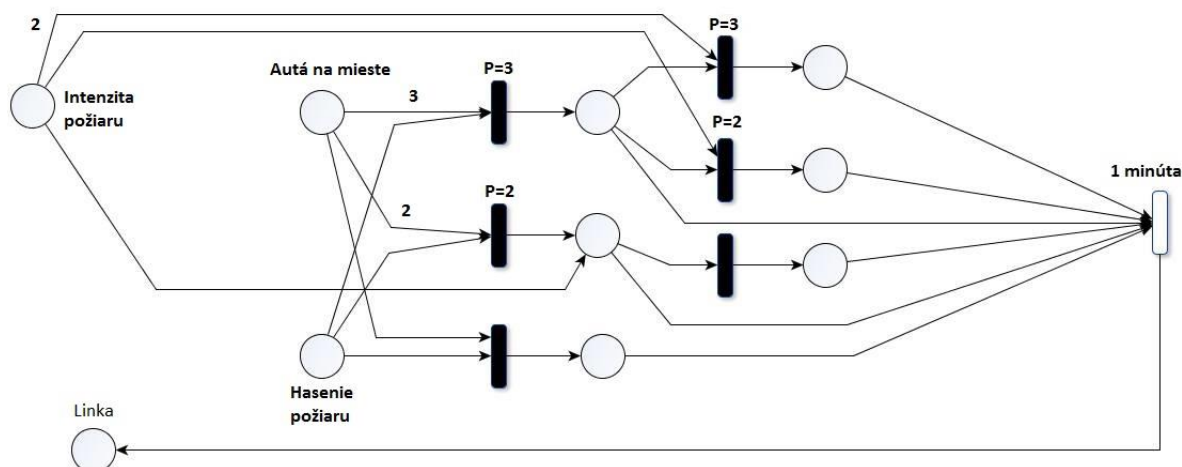
Obrázok 1 : Vznik požiaru

Po vzniku požiaru sa k miestu presunie potrebný počet áut, ak je to možné. Každú minútu sa mení intenzita požiaru, podľa toho či je hasený, alebo sa rozširuje. Intenzita nevystúpi nad hodnotu 300. Po uhasení požiaru sa všetky auta vrátia na stanicu. Viď. Obrázok 2.



Obrázok 2 : Požiar

Podľa počtu áut prítomných na mieste požiaru sa každú minútu znižuje intenzita požiaru. Petriho sieť pre hasenie požiaru je na Obrázku 3.



Obrázok 3 : Hasenie požiaru

4 Architektúra simulačného modelu

Pre implementáciu boli využité triedy knižnice SIMLIB/C++. Model je zložený z nasledujúcich tried.

- Trieda `fireGenerator` – je potomok triedy `Event`. Táto trieda sa stará o vznik nových požiarov. Každému požiaru je pridelená počiatočná intenzita a náhodná pozícia na mape. Trieda je aktivovaná na začiatku simulácie, a potom vždy po čase danom exponenciálnym rozložením so stredom 480 minút (8 hodín).
- Trieda `Fire` – potomok triedy `Process`. Trieda reprezentujúca požiar. Aktivuje sa po vytvorení požiaru triedou `fireGenerator`. Po aktivácii požiar opakuje svoju činnosť každú minútu až do uhasenia požiaru.

Počas jedného cyklu požiar porovná počet áut potrebných na uhasenie, s počtom áut, ktoré ho hasia (alebo sú na ceste k nemu). Pokiaľ je potrebné ďalšie auto, získa informácie o najbližšej stanici a zaberie si auto. Ak žiadna stanica voľná nie je, tak pokračuje a o zabratie sa pokúsi v ďalšom cykle.

Ďalej počíta škodu vzniknutú za minútu požiaru a zisťuje počet áut na mieste požiaru. Ak je prítomne aspoň jedno auto, požiar pokračuje hasením – zníženie intenzity v závislosti od počtu áut a aktuálnej intenzity. Pokiaľ požiar nikto nehasí intenzita sa zvyšuje.

Pokiaľ intenzita klesne na 0, požiar je uhasený. Vyhodnotia sa celkové škody, náklady vynaložené na výjazd a auta sa posielajú späť na stanicu.
- Trieda `Moving_to_fire` – potomok triedy `Process`. Slúži na priradenie auta k požiaru po presune auta. Obsahuje odkaz na konkrétny požiar a ID auta, ktoré sa presúva. Aktivuje sa po čase potrebnom na presun auta na miesto požiaru. Po aktivácii sa danému požiaru priradí auto (auto je na mieste požiaru).
- Trieda `Locker` – potomok triedy `Process`. Táto trieda slúži na zabratie `Facility` auto a jej uvoľnenie. Každá inštancia obsahuje ID auta, ktoré zaberá a čas v ktorom bolo auto zabrané.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Za cieľ sme si stanovili zistiť ideálny počet hasičských staníc v Banskobystrickom kraji. Snažili sme sa dosiahnuť čo najnižšie škody, ale zároveň aj najnižšie náklady potrebné na chod staníc.

Simulovali sme päť rôznych scenárov, kde sme menili počet staníc na rovnako veľkej ploche. Pre každý scenár sme simulovali časový horizont jedného roka, a to 100 krát pre každý experiment. Výsledkom bolo množstvo dát, ktoré sme mohli porovnať a vyviesť z toho výsledok.

5.1 Obecný popis simulačných experimentov

Experimenty ktoré sme vykonali sa riadia nasledujúcou osnovou :

- Vygenerovanie počtu hasičských staníc do mapy
- Spustenie simulácie s daným počtom staníc (100 krát, to je 100 od seba nezávislých rokov)
- Spracovanie výstupov
- Porovnanie výsledkov experimentov

Jediná premenná, ktorá sa pri experimente mení je počet staníc. Výsledkom je porovnanie jednotlivých experimentov. A to tak že sa porovnávajú celkové náklady a celkové škody.

5.2 Dokumentácia jednotlivých experimentov

V následnej kapitole sú opísané jednotlivé experimenty. Všetky hodnoty sú priemerom zo 100 rôznych, od seba nezávislých rokov. Výsledky experimentov sú zhrnuté v kapitole [5.3](#).

5.2.1 Experiment č. 1

Tento experiment prebieha pri hodnotách, ktoré sme zistili a sú uvedené v kapitole [2](#).

| Experiment 1 | |
|-----------------------------------|----------------|
| Celkové náklady | 3 982 718,75 € |
| Celkové škody | 4 045 269,94 € |
| Počet požiarov | 1094,87 |
| Priemerná doba požiaru | 94,91 minút |
| Priemerná škoda | 3694,06 € |
| Priemerná vzdialenosť k požiaru | 13,08 km |
| Priemerná doba presunu áut | 18,38 minút |
| Priemerná cena nákladov na výjazd | 593,18 € |

Tabuľka 2 : Experiment 1

5.2.2 Experiment č. 2

Experiment č.2 skúma, ako by sa zmenili náklady a celkové škody, ak by sme pridali do Banskobystrického kraja ďalšiu stanicu.

| Experiment 2 | |
|-----------------------------------|----------------|
| Celkové náklady | 3 995 594,85 € |
| Celkové škody | 3 954 981,87 € |
| Počet požiarov | 1091,42 |
| Priemerná doba požiaru | 93,62 minút |
| Priemerná škoda | 3 626,30 € |
| Priemerná vzdialenosť k požiaru | 13,04 km |
| Priemerná doba presunu áut | 18,35 minút |
| Priemerná cena nákladov na výjazd | 585,50 € |

Tabuľka 3 : Experiment 2

Jediný ukazateľ, ktorý sa zvýšil sú celkové náklady na chod staníc. Pridaním stanice sú náklady na chod staníc vyššie ako samotné škody spôsobené požiarimi. Oproti experimentu č.1 sa náklady zvýšia o 12 876 €, ale škody na majetku sú nižšie o 90 288 €. Tým pádom je optimálne pridať jednu stanicu do BB kraja.

5.2.3 Experiment č. 3

Experiment č.3 skúma, ako by sa zmenili náklady a celkové škody, ak by sme odobrali z Banskobystrického kraja štyri stanice.

| Experiment 3 | |
|-----------------------------------|----------------|
| Celkové náklady | 3 639 770,69 € |
| Celkové škody | 7 025 560,80 € |
| Počet požiarov | 1095 |
| Priemerná doba požiaru | 152,53 minút |
| Priemerná škoda | 6553,1 € |
| Priemerná vzdialenosť k požiaru | 16,30 km |
| Priemerná doba presunu áut | 22,16 minút |
| Priemerná cena nákladov na výjazd | 913,50 € |

Tabuľka 4 : Experiment 3

Pri odobratí štyroch staníc z kraja je vidno veľké zmeny. Náklady na chod sa síce znížia o 342 948 €, ale škody sa zvýšia o 2,98 milióna eur. Ďalej sa zvýši priemerná doba hasenia požiaru o takmer hodinu, čo je spôsobené nedostatkom áut. Vtedy sa požiare zväčšujú a nemá ich kto uhasiť. Priemerná hodnota škody sa zvýši o takmer 3000 €. Auta musia prejsť priemerne o viac než 3 km viac k požiaru, čo trvá o takmer 4 minúty viac v priemere. Tým pádom sa zvýšia aj náklady na výjazd. Výsledkom je že odobratie staníc určite nie je prínosné.

5.2.4 Experiment č. 4

Experiment č.4 skúma, ako by sa zmenili náklady a celkové škody, ak by sme pridali do Banskobystrického kraja ďalšie štyri stanice.

| Experiment 4 | |
|-----------------------------------|----------------|
| Celkové náklady | 4 566 123,89 € |
| Celkové škody | 2 754 599,44 € |
| Počet požiarov | 1096 |
| Priemerná doba požiaru | 70,29 minút |
| Priemerná škoda | 2511,32 € |
| Priemerná vzdialenosť k požiaru | 11,34 km |
| Priemerná doba presunu áut | 16,34 minút |
| Priemerná cena nákladov na výjazd | 452,32 € |

Tabuľka 5 : Experiment 4

Pridaním staníc by sa zvýšili náklady o o viac než pol milióna eur. Avšak na druhej strane škody sú o 1,29 milióna eur nižšie. Priemerná škoda sa znížila o 1000 €. Auta musia prejsť priemerne k požiaru o takmer 2 km menej, čo trvá o 2 minúty menej. Tým sa zníži aj cena výjazdu o viac než 100 €. Takýto systém staníc síce ušetrí občanom peniaze ale pre štát sú to veľké náklady. Štát vloží o 1,8 mil € viac ako sa dokáže uchrániť. Tým vzniknú pre občanov vedľajšie náklady pretože na náklady sa poskladajú aj tak všetci.

5.2.5 Experiment č. 5

Experiment č.5 skúma, ako by sa zmenili náklady a celkové škody, ak by Banskobystrickom kraji bolo spolu len desať staníc.

| Experiment 5 | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Celkové náklady | 3 670 576,99 € |
| Celkové škody | 10 759 132,55 € |
| Počet požiarov | 1102 |
| Priemerná doba požiaru | 241,80 minút |
| Priemerná škoda | 11 957,34 € |
| Priemerná vzdialenosť k požiaru | 19, 82 km |
| Priemerná doba presunu áut | 26,32 minút |
| Priemerná cena nákladov na výjazd | 1367,03 € |

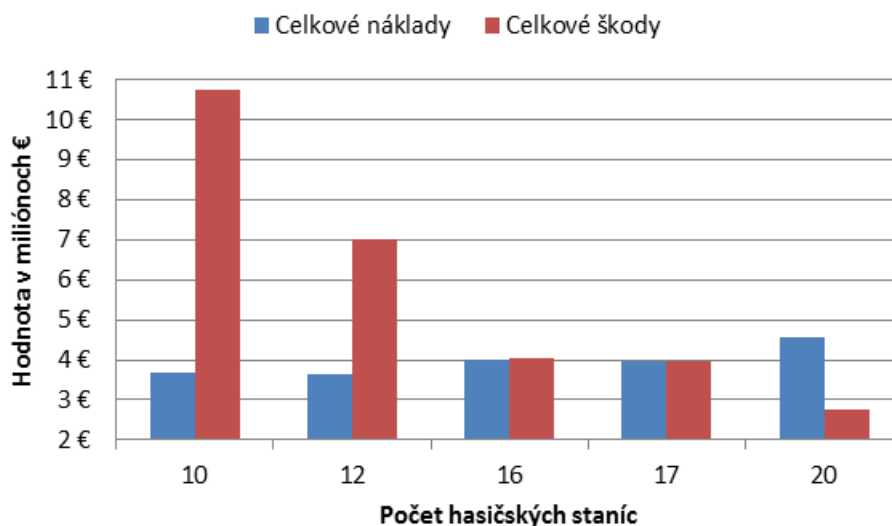
Tabuľka 6 : Experiment 5

Pri odobratí šiestich staníc by nastali obrovské zmeny. Náklady by sa síce znížili o 300 000 €. Avšak škody spôsobené požiarom by vzrástli o viac než 6,5 milióna eur. Doba hasenia požiaru by sa zvýšila viac než 2,5 násobne. Priemerná škoda by sa zvýšila viac než trojnásobne. Autá by museli prejsť k požiaru o 6 km viac čo je 8 minút naviac. Priemerná cena výjazdu by sa zvýšila viac než dvojnásobne. To je aj dôvod prečo sa náklady neznížili o viac než 300 000 €. Experiment s 10 stanicami je už okrajový, pri znížení staníc pod 10 sme sledovali, že niektoré požiare sa už proste nestíhali hasiť a bez posíl z iných krajov by došlo ku katastrofe.

5.3 Zhrnutie experimentov

Simulovaním ([1], slajd 33) sme zistili že v Banskobystrickom kraji by bolo ideálne pridať ešte jednu stanicu. Ak by nastala situácia kedy by sa nedalo použiť 7 staníc tak by sa mohla situácia s požiarimi vymknúť kontrole.

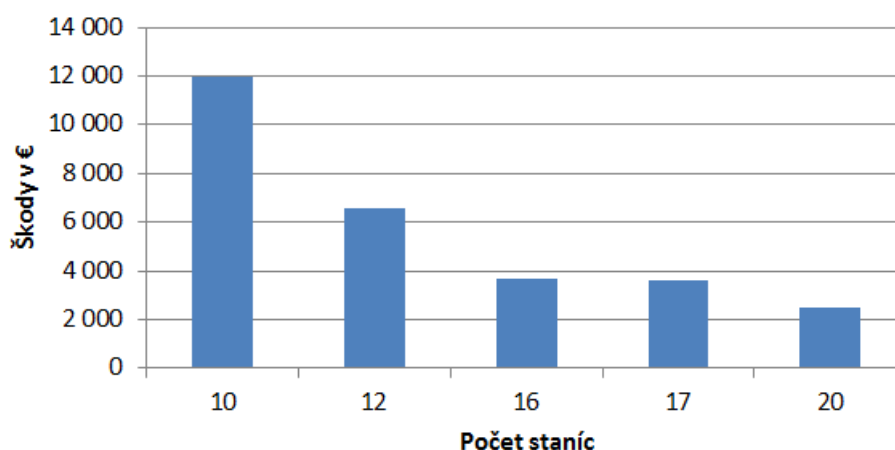
V nasledujúcom grafe sú uvedené rozdiely v celkových nákladoch a škodách pri experimentoch.



Graf 2 : Celkové náklady voči škodám

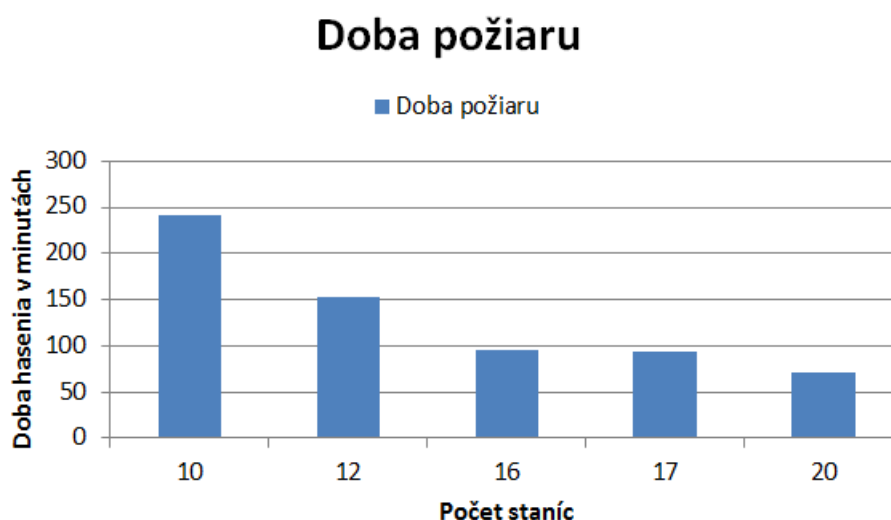
Z grafu 2. je vidieť, že najoptimálnejšie sa javí variant so 17 stanicami. Vtedy sú náklady takmer rovnaké ako škody. Pri 16 staniach sú škody trochu väčšie ako náklady, ale rozdiel nie je taký markantný ako pri ostatných experimentoch. Z grafu vyplýva že by bolo ideálne pridať ešte jednu stanicu do mapy o rozlohe Banskobystrického kraja. V reálnom svete však zasahujú jednotky aj z iných krajov ak sú bližšie požiaru, čo sme v simulácii samozrejme nezohľadnili.

Priemerná škoda

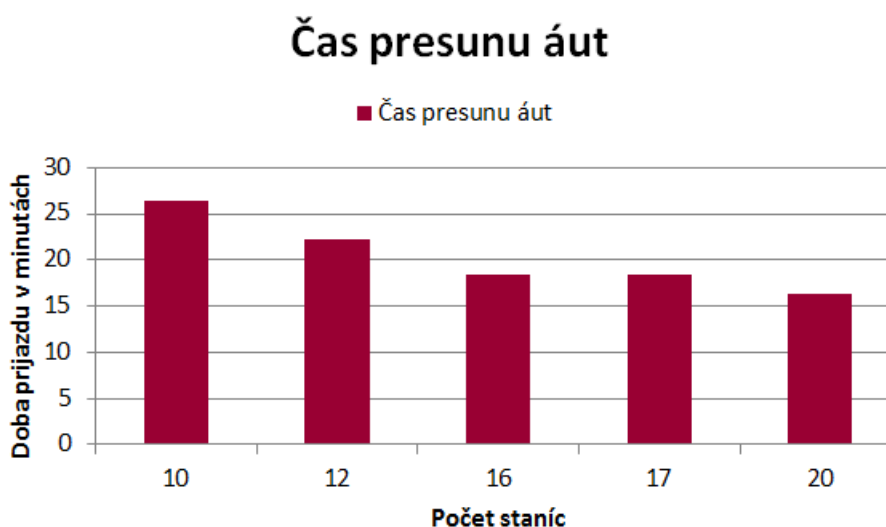


Graf 3 : Priemerné škody na závislosti od počtu staníc

Graf 3. popisuje priemerné škody vzhľadom k počtu staníc. Tak ako na grafe 2 je vidno že najväčšie škody sú pri 10 staniach, najnižšie pri 20. Pri 16 a 17 staniach sú priemerné škody veľmi podobné, pri 17 sú o niečo málo menšie, čo potvrdzuje naše tvrdenie o pridaní jednej stanice.



Graf 4 : Závislosť doby hasenia požiaru od počtu staníc



Graf 5 : Závislosť doby príjazdu na miesto od počtu staníc

Ďalšie dôležité údaje, grafy 4 a 5, sú priemerné časy hasenia požiaru a dojazdu na miesta požiaru. Počas cesty sa oheň rozširuje, tým pádom čím dlhšie trvá dojazd, tým väčšie škody vznikajú na majetku. Doba hasenia súvisí s tým ako sa požiar stihne rozšíriť pokiaľ na miesto dôjde jednotka. Samozrejme čím rozsiahlejší požiar, tým dlhšie hasenie a väčšie škody.

To priamo súvisí s rozložením staníc po mape. Ak je staníc málo, aj vzdialenosti medzi nimi sú väčšie a cesty k požiarom trvajú dlhšie. Takto sa aj malé požiare rozšíria a aj z požiarov ktoré začali nevinne môžu nastať obrovské škody.

6 Záver

Touto prácou sme rozoberali ideálny počet hasičských staníc, tak aby boli čo najmenšie náklady na údržbu a zároveň najnižšie spôsobené škody požiarom. Ako predlohu sme si vzali Banskobystrický kraj, avšak model je možné využiť aj v iných geografických lokalitách.

Experimentovaním ([1], slajd 9) sme zistili, že pri rozlohe ako je Banskobystrický kraj by bolo ideálne pridať ešte jednu hasičskú stanicu. Tým by boli náklady takmer rovnaké ako škody.

Referencie

- [1] Peringer, P. : Modelování a simulace, Prednášky. Brno, 2016
<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky
<http://www.minv.sk/?hasici-zachranari>
- [3] Krajské riaditeľstvo Hasičského a záchranného zboru v Banskej
http://www.minv.sk/?KR_HaZZ_BB
- [4] Krajské riaditeľstvo Hasičského a záchranného zboru v Bratislave
http://www.minv.sk/?HaZU_BA
- [5] Slovenský platový monitor
<http://www.naseplaty.sk/prehľad-platov/statna-a-verejna-sprava.html>
- [7] Národný portál cestovného ruchu Slovenska
<http://slovakia.travel/banskobystricky-kraj>
- [7] PERINGER, P.: SIMLIB/C++. [online], Naposledy upravené 27. 03. 2014.
<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>