

OPTIMALIZÁCIA EVAKUAČNÝCH TRÁS PRE NASADENIE CESTNÝCH DOPRAVNÝCH PROSTRIEDKOV

OPTIMIZATION OF EVACUATION ROUTES FOR DEPLOYMENT OF ROAD TRANSPORT VEHICLES

Júlia MIHOKOVÁ JAKUBČEKOVÁ, Miroslav TOMEK
Julia.Mihokova@fbi.uniza.sk, tomek@utb.cz

Abstract

In the case of extraordinary events beginning, the crisis management authorities must ensure the safe and rapid evacuation of persons at risk by an emergency event from vulnerable areas to a safe area. In evacuation planning, it is particularly necessary to address transport security evacuation issues, which it including the planning, preparation and transport of evacuees, animals and things outside the threatened territory. Within the frame of planning is besides the transportation technology appropriate evacuation routes are also considered and their minimized. The article is pointing out the possibility of application the Ford-Fulkerson algorithm and Dantzig algorithm to optimize evacuation routes.

Key words

Evacuation, optimization, population, route, safety.

ÚVOD

V súčasnej dobe sme svedkami vzniku rôznych mimoriadnych udalostí, ktoré majú fatálny dopad na obyvateľstvo, ktorému sa z ohrozených oblastí nepodarilo včas ujsť. Príkladom môžu byť lesné požiare (Grécko – v roku 2018, Kalifornia – 2017 atď.), povodne (Bangladéš – 2017, India – 2017 atď.), zosuvy pôdy (Japonsko – 2018, India – 2018 atď.) a pod. Dôvody neúspechu záchrany osôb môžu byť rôzne. Treba si uvedomiť, že vznik mimoriadnej udalosti môže nastať kdekoľvek a kedykoľvek, tzn. aj na Slovensku prípadne aj v okolitých štátoch. V prípade vzniku mimoriadnych udalostí je jednou z hlavných úloh majiteľov objektov a orgánov verejnej správy zabezpečiť včasnú záchranu obyvateľstva v mieste alebo v lokalite, ktoré boli postihnuté touto udalosťou. Jedným zo spôsobov záchrany je vykonanie včasnej, bezpečnej a rýchlej evakuácie osôb, ktoré boli postihnuté mimoriadnou udalosťou. Evakuácia je súhrn organizačných a materiálno technických opatrení, ktorými sa zabezpečuje premiestnenie osôb, zvierat a vecných prostriedkov v danom poradí priority z miest ohrozených mimoriadnou udalosťou [1]. Predpokladom na vykonanie bezpečnej evakuácie je okrem iného aj schopnosť správnej reakcie a to nielen zo strany majiteľov objektov (v rámci objektovej evakuácie) a zamestnancov kompetentných orgánov štátnej správy (v rámci plošnej evakuácie), ale aj zo strany obyvateľstva. Ďalším významným predpokladom, ktorý by mohol minimalizovať vznik strát na životoch ľudí je spracovanie komplexného a konkrétneho plánu evakuácie s prihliadnutím na zvláštnosti, ktoré môžu nastať pri a po vzniku mimoriadnej udalosti. Za spracovanie evakuačného plánu zodpovedajú orgány krízového riadenia a schvaľuje ho primátor mesta alebo starosta obce. Významným predpokladom úspechu evakuačných opatrení je aj publicita daného plánu evakuácie medzi širokou verejnosťou. O evakuácii sa môžu občania svojho mesta alebo obce dozvedieť najmä z internetových stránok príslušného mesta alebo obce (napr. www.puchov.sk/evakuacia-a-evakuačne-strediska.html [2], atď.). Široké vrstvy obyvateľstva už vo vlastnom záujme by mali

vedieť, akým spôsobom je možné si zachrániť svoj život alebo ako pomôcť iným osobám. Treba si uvedomiť, že nebezpečenstvá pri mimoriadnych udalostiach sú rôzne a že je treba na ne správne reagovať. Napríklad pri vzniku požiaru nastáva pre osoby, ktoré sú v uvedenej oblasti nebezpečenstvo vplyvom vysokej teploty, toxického dymu, straty orientácie v priestore a pod. Pri povodni hrozí ohrozeným osobám nebezpečenstvo utopenia, smrti spôsobenej neúmyselným požitím vody kontaminovanej splaškami a inými nečistotami, minimálna možnosť použitia autobusov na zabezpečenie evakuácie a pod. Reakcia sa týka aj návrhu riešenia otázok, ktoré súvisia s dopravným zabezpečením v oblasti cestnej dopravy. Jeho súčasťou okrem výberu vhodnej dopravnej techniky musí byť aj výber vhodných evakuačných tras.

1 DOPRAVNÉ ZABEZPEČENIE EVAKUÁCIE

Dopravné zabezpečenie evakuácie v súlade s [1] zahŕňa plánovanie, prípravu a prepravu evakuantov, zvierat a vecí mimo ohrozeného územia. Ďalej sa v [1] konštatuje, že pristavenie cestných dopravných prostriedkov sa organizuje podľa harmonogramu evakuačnej prepravy a v závislosti od počtu evakuantov, batožiny, druhu evakuovaných zvierat a ich počtu, množstva prepravovaných vecí, predpokladaného počtu dopravných prostriedkov a dĺžky evakuačných trás.

Naplánovať vhodnú dopravnú techniku s dostatočnou kapacitou a vyrátať aj jej obraty je vo fáze plánovania zo strany orgánov krízového riadenia žiadúce, pomerne ľahké a nepredstavuje vážny problém. Otázkou je, kde v danom okamihu zabezpečiť dostatočný počet autobusov na presun z miest nástupu a následne prepraviť evakuované osoby do miest, ktoré nie sú ohrozené mimoriadnou udalosťou. Konkrétne požiadavky (objednávky na zabezpečenie evakuačných preprav predkladajú primátori miest a starostovia obcí okresnému úradu vyplnením formalizovaného tlačiva. V súlade s vypracovanými prehľadmi evakuačných preprav orgány verejnej správy pripravujú s príslušnými právnickými a fyzickými osobami – podnikateľmi, ktorí sú prevádzkovatelia dopravných prostriedkov, návrh „Zmluvy o uzatvorení budúcej zmluvy“ podľa Občianskeho zákonníka, s uvedením konkrétnych požadovaných počtov dopravnej techniky. [3]

Pri plánovaní dopravného zabezpečenia evakuácie je potrebné vychádzať aj z histórie kedy boli použité na evakuáciu osôb z priestoru ohrozeného mimoriadnou udalosťou dopravných prostriedkov. V novodobej histórii možno k nim napríklad zaradiť evakuáciu obyvateľstva mesta Pripjat' po havárii jadrovej elektrárne v Černobyle v bývalom Sovietskom zväze v roku 1986, kde s využitím cca 1 225 autobusov (z toho 144 záložných) a 2 súprav vlakov s kapacitou 1 500 miest [4] jedným obehom bolo evakuovaných v priebehu cca necelých 3 hodín viac ako 43 tisíc osôb. Údaje o počte použitej techniky sa líšia napríklad v [4] uvádza autor, že na evakuáciu bolo pripravených viac ako 1 300 autobusov a 4 vlakové úpravy. Bez ohľadu na uvedené skutočnosti možno konštatovať, že sa orgánom, ktoré riadili evakuáciu podarilo zabezpečiť dostatočný počet autobusov. Na porovnaní s evakuáciou osôb zo Superdome v New Orleans v roku 2005, aj keď bolo použitých 475 školských a väzenských autobusov, musela byť evakuácia osôb prerušená pre nedostatok autobusov a 2 000 osôb muselo v Superdome zostať v zlých hygienických podmienkach ešte niekoľko dní. [6]

Pri plánovaní použitia dopravných prostriedkov sa uprednostňujú prostriedky cestnej dopravy na úkor železničnej. Aj keď [1] pripúšťa možnosť evakuácie osôb prostriedkami železničnej dopravy. Možno konštatovať, že túto možnosť využilo len minimum obcí. Použitie cestných dopravných prostriedkov vyplýva najmä z toho, že niektoré tieto prostriedky v porovnaní s dopravnými prostriedkami železničnej dopravy sú k dispozícii okamžite (napríklad súkromné motorové vozidlá na vykonanie samoevakuácie), iné (napríklad autobusy)

možno zabezpečiť orgány krízového riadenia v krátkom čase. Použitie konkrétnych dopravných prostriedkov vyplýva najmä z druhu mimoriadnej udalosti a času pôsobenia jej následkov. Orgány krízového riadenia sú v niektorých prípadoch vo veľmi zložitej situácii ako zabezpečiť bezpečnú evakuáciu osôb. Príkladom môže byť plánovanie záchranu cca 4 miliónov obyvateľov talianskeho mesta Neapol v prípade výbuchu sopky Vezuv. Príslušné talianske úrady spracovali evakuačný plán, ktorý sa dotýka 25 ohrozených obcí. Vytvorili sedem najviac ohrozených oblastí (takzvaných červených zón), z ktorých sa predpokladá do 72 hodín evakuovať cca 700 tisíc ľudí nasadením denne 500 autobusov a 220 vlakov. Z toho 12 hodín je vyhradených na organizáciu, 48 hodín na samotný presun a ďalších 12 hodín predstavuje tzv. bezpečnostnú poistku (zálohu). [7]

2 VÝBER A VOĽBA EVAKUAČNÝCH TRÁS

Zložitú úlohu v procese plánovania zohráva správna voľba evakuačných trás a ich smerovanie. Okrem toho aj vysoká organizácia evakuácie. Organizácia evakuácie a správna voľba evakuačných trás závisí od analýzy bezpečnostného prostredia každej obce. Obce na Slovensku môžu byť ohrozené naturogenými abiotickými vplyvami, ďalej stacionárnymi alebo mobilnými zdrojmi, ktoré v prípade ich aktivácie prinúti starostov alebo primátorov obcí vyhlásiť evakuáciu. Významnú úlohu zohráva čas, za ktorý osoby ohrozené mimoriadnou udalosťou budú evakuované z miesta ohrozenia, do bezpečného priestoru. Príkladom môže byť už uvedený krátky čas evakuácie obyvateľstva mesta Pripjat'. Aj keď evakuácia bola vyhlásená neskoro, táto skutočnosť svedčí o vysokej organizovanosti zo strany riadiacich orgánov a prístupu ohrozeného obyvateľstva, ktorý nebol vždy dobrovoľný. Na zabránenie paniky všetkým obyvateľom mesta povedali, že odchádzajú „iba na tri dni“. [5]

Z hľadiska minimalizácie evakuačného času je potrebné voliť vhodné evakuačné trasy tak, aby z hľadiska kapacity a priechodnosti zabezpečovali bezpečný presun cestných dopravných prostriedkov s evakuovanými osobami. S využitím analýzy ohrozenia územia je potrebné zo strany obcí a miest riešiť z hľadiska evakuačných trás s dôrazom na:

- ich vhodný výber,
- ich bezpečný prejazd,
- ich správne smerovanie,
- spôsob zaistenia prejazdnosti,
- spôsob zaistenia riadenia prevádzky,
- spôsob regulácie pohybu vozidiel a osôb,
- zaistenie náhradnej trasy,
- rozdelenie dopravných prostriedkov do miest nástupu (v prípade viacerých miest nástupu) a špecifikáciu trasy prepravy,
- nadväznosť jazdy evakuačných prostriedkov v prípade použitia tej istej evakuačnej trasy, atď.

Veľkú pozornosť je treba venovať smerovaniu jazdy vozidiel s evakuovanými osobami evakuačnými trasami mimo ohrozený priestor. Tieto môžu mať rôzne vzdialenosti. Zásadou by malo byť, aby čas strávený v priestore ohrozenia (napríklad radiáciou, požiarom a pod.) bol minimálny. Príkladom môžu byť udalosti, ku ktorým došlo pri evakuácii mesta Pripjat', keď autobusy s evakuovanými nebolí smerované na východ do miest, kde bolo zamorenie minimálne alebo do Kyjeva, kde by bolo ľahšie zaistiť náhradné ubytovanie. Ale celá kolóna autobusov zamierila na juhovýchod do miest Polesky a Ivanovskyy, ktoré sa nachádzali 40 km od elektrárne. [8] Pri veľkom požiari v západokanadskej provincii Alberta v roku 2016 úrady odporúčali všetkým samoevakuantom, aby svoje automobily smerovali na juh, kde bola

vhodnejšia infraštruktúra na poskytnutie pomoci. Bohužiaľ 25 tisíc ohrozených ľudí z mesta Fort McMurray utiekla pred požiarom na sever a museli byť evakuovaní spoločne s pracovníkmi ťažobných spoločností. [8] Pri evakuácii obyvateľstva sa vyskytol aj problém s evakuačnou trasou, keď evakuačné konvoje museli na čas prerušiť jazdu z dôvodu dymu a ohňa pozdĺž cestnej komunikácie, kde oheň stúpala po oboch stranách komunikácie až do výšky 60 metrov. [10]

Možno konštatovať, že čím menšia obec, tým je voľba evakuačnej trasy jednoduchšia. Čím väčšie mesto, tým bude situácia zložitejšia. Nepriechodnosť naplánovaných evakuačných trás môže byť spôsobená rôznymi faktormi (napríklad vplyv mimoriadnej udalosti, zablokovanie komunikácie pri samoevakuácii havarovanými alebo inak nepojazdnými dopravnými prostriedkami atď.). Z uvedeného dôvodu je najvýhodnejšie, ak sa podarí stanoviť čo najkratšiu evakuačnú trasu, prípadne čo najkratší čas zotrvania dopravného prostriedku na trase. Veľký vplyv na dopravné zabezpečenie evakuácie budú zohrávať aj reakcie zo strany obyvateľstva po vzniku mimoriadnej udalosti. Z histórie, ale aj zo súčasnosti sú známe konkrétne prípady, keď po vzniku mimoriadnej udalosti, ktorá môže ohroziť život a zdravie osôb, vyvolali paniku, nerešpektovanie platných zásad a pravidiel, keď sa ohrozené osoby snažili zachrániť sami seba a svojich blízkych bez ohľadu na iné osoby.

3 APLIKÁCIA VYBRANÝCH ALGORITMOV NA VÝPOČET OPTIMALIZÁCIE EVAKUAČNÝCH TRÁS

Úlohou hľadania najkratších evakuačných trás zahŕňa hľadanie trasy medzi začiatočným a koncovým uzlom, pre ktorý je súčet ohodnotených hrán tvoriacich túto trasu minimálny. Naším modelovým (fiktívnym) príkladom je trasa, ktorá vedie cez cestnú sieť, kde križovatky cestnej siete predstavujú uzly $U_i \in U$ a cestné úseky medzi týmito križovatkami tvoria hrany $h_{ij} \in H$. Ohodnotenie hrán s podmienkou $k_{ij} > 0$ predstavuje vzdialenosť medzi dvoma uzlami U_i a U_j (zjednodušene predpokladáme $k_{ij} = k_{ji}$). Najsť najkratšiu cestu v tomto modelovom príklade znamená vybrať postupnosť hrán S , spájajúci začiatočný uzol (miesta nástupu evakuantov) a uzol koncovým (miesto ubytovania evakuantov), pre ktoré platí [11]:

$$Z = \sum_{h_{ij} \in S} k_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

Na výpočet modelového príkladu je aplikovaná metóda Fordov-Fulkersovho algoritmus, ktorý je založený na priradovaní hodnôt v_i jednotlivým uzlom siete U_i . Výsledkom je uzlový ohodnotený graf. Druhú metódu autori aplikovali Dantzigov algoritmus, ktorý má nasledovný postup:

- 1. krok: Začiatočnému uzlu U_s priradíme hodnotu $v_s = 0$.
- 2. krok: Ostatným uzlom priradíme hodnoty v_j a vypočítame pomocou vzťahu (2):

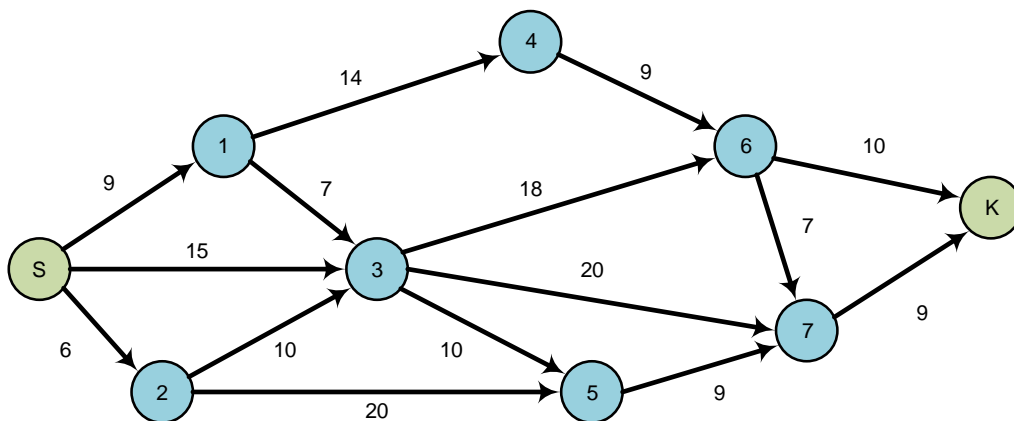
$$v_j = \min_{i,j}(v_i + k_{ij}) \quad (2)$$

Minimálna hodnota v sa hľadá pre všetky hrany $h_{ij} \in H$, pre ktoré platí, že z uzla, z ktorého sa vychádza (U_i) už bola jeho hodnota vyčíslená (v_i), zatiaľ, čo u uzla, do ktorého sa vstupuje (U_j), hodnota v_j ešte nebola vyčíslená:

- 3. krok: Hodnota v_k koncového uzla U_k odpovedá dĺžka najkratšej siete, pričom pre uzly na tejto trase platí vzťah:

$$v_j - v_i = k_{ij} \quad (3)$$

Autori aplikovali metódu na modelovom príklade evakuácie obyvateľstva z ohrozenej obce do miesta ubytovanie cez cestnú sieť (Obr. 1), pri ktorej sa predpokladá, že bude v čase mimoriadnej udalosti prejazdna.



Obr. 1

Grafické zobrazenie nenarušenej prepravnej siete (Fordov-Fulkersov algoritmus)

Na Obr. 1 sú znázornené uzly S (začiatkový uzol), 1 až 7, K (koncový uzol) a hrany medzi jednotlivými uzlami sú ohodnotené vzdialenosťou a to v kilometroch.

Pomocou postupu druhej metódy (Dantzigovho algoritmu) bolo stanovené:

- 1. krok: Začiatkovému uzlu U_s priradíme hodnotu $v_s = 0$.
- 2. krok: Použitím vzťahu (2) vypočítame hodnoty v_j pomocou hodnôt, ktoré sú zobrazené na obr. 2:
 - $v_1 = v_s + k_{s1} = 0 + 9 = 9$
 - $v_2 = v_s + k_{s2} = 0 + 6 = 6$
 - $v_3 = \min(v_s + k_{s3}; v_1 + k_{13}; v_2 + k_{23}) = \min(0 + 15; 9 + 7; 6 + 10) = \min(15; 16; 16) = 15$
 - $v_4 = v_1 + k_{14} = 9 + 14 = 23$
 - $v_5 = \min(v_2 + k_{25}; v_3 + k_{35}) = \min(6 + 20; 15 + 10) = \min(26; 25) = 25$
 - $v_6 = \min(v_3 + k_{36}; v_4 + k_{46}) = \min(15 + 18; 23 + 9) = \min(33; 32) = 32$
 - $v_7 = \min(v_3 + k_{37}; v_5 + k_{57}; v_6 + k_{67}) = \min(15 + 20; 25 + 9; 32 + 7) = \min(35; 34; 39) = 34$
 - $v_k = \min(v_6 + k_{6K}; v_7 + k_{7K}) = \min(32 + 10; 34 + 9) = \min(42; 43) = 42$

Po aplikácii danej metódy bola určená najkratšia prepravná trasa evakuovaného obyvateľstva, dĺžka trasy je 42 km. Pomocou danej metódy je možné vypočítať aj časovú jednotku, podľa ktorej je možné v prípade časovo náročnej evakuácie, čo najrýchlejšie prepraviť plnú kapacitu evakuovaného obyvateľstva.

Okrem uvedeného výpočtu je možno na vyhľadanie minimálnej evakuačnej trasy použiť aj rôzne SW produkty, tzn. „plánovače trás“ (napr. www.mapy.sk), ďalej využiť plánovanie trás mýtnych kalkulačiek operátorov elektronického mýta (napr. www.emyto.sk, www.mytocz.eu atd.) alebo GIS a jeho nadstavbový modul NetworkAnalyst.

ZÁVER

Dopravné zabezpečenie evakuácie je neoddeliteľnou súčasťou plánovania a realizácie evakuácie osôb, zvierat a vecí. Okrem výberu vhodných dopravných prostriedkov a ich dostatočného počtu je potrebné venovať pozornosť aj voľbe evakuačných trás a zaisteniu ich priechodnosti po celý čas vykonávania evakuačných prepráv. Pri ich výbere a voľbe je vhodné vychádzať aj z evakuácií, ktoré boli vykonané v minulosti. Výber evakuačnej trasy ovplyvňuje celý rad faktorov, ktoré boli uvedené v druhej časti príspevku. Evakuačná trasa by mala byť zvolená tak, aby zaistila bezpečný presun evakuovaných osôb z miesta ohrozenia do priestoru, ktorý nebude ohrozený mimoriadnou udalosťou. Jednou z podmienok ako to zaistiť, môže byť aj optimalizácia dĺžky evakuačnej trasy.

Táto práca je súčasťou projektov:

1. DIO/FLKR/2018/03 Project Center for the Excellence of Population Protection,
2. VEGA č.1/0240/15 Procesný model riadenia bezpečnosti a ochrany kritickej infraštruktúry v sektore dopravy.

Literatúra

- [1] Vyhláška č. 328/2012 Z. z. Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o evakuácii. Dostupné z: <http://www.zakonypreludi.sk/zz/2012-328>
- [2] *Evakuácia a evakuačné strediska Púchov oficiálne stránky mesta*. Dostupné z: <https://www.puchov.sk/evakuacia-a-evakuacne-strediska.html>
- [3] SEIDL, M. a M. TOMEK. Dopravné zabezpečenie evakuácie prostriedkami cestnej dopravy. *The Science for Population Protection*. 2016, Vol. 8, č. 2, s. 73–88. ISSN 1803-568X.
- [4] *Эвакуация Припяти. Как это было*. Dostupné z: <https://www.chornobyl.com.ua/evakuatsii-pripyati-kak-eto-bylo/>
- [5] RYBAN, L. *Najväčšia havária jadrovej elektrárne v histórii*. 2016. Dostupné z: <http://www.historickarevue.com/clanok/cernobyl-1986>
- [6] Na evakuaci Superdomu nestačily autobusy. Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/na-evakuaci-superdomu-nestacily-autobusy-fgs-/zahranicni.aspx?c=A050903_150937_zahranicni_nad
- [7] Tři dny na evakuaci 700 tisíc lidí. Italové se chystají na případný výbuch Vesuvu. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-svet/tri-dny-na-evakuaci-700-tisic-lidi-italove-se-chystaji-na-pripadny-vybuch-vesuvu_201610151340_vman
- [8] Evakuace. Dostupné z: <http://zpravodajstvi.ecn.cz/ENV/Temelin/c11/EVAKUACE.HTM>
- [9] Najdrahšia katastrofa v dejinách Kanady: VIDEO Škody sú obrovské, hasenie požiaru môže trvať mesiace. Dostupné z: <https://www.topky.sk/cl/100299/1545951/Najdrahsia-katastrofa-v-dejinach-Kanady--VIDEO-Skody-su-obrovske--hasenie-poziaru-moze-trvat-mesiace>
- [10] Požár v Kanadě je velký jako dvě Prahy! Plameny mají 60 metrů. Dostupné z: <http://tn.nova.cz/clanek/pozar-v-kanade-uz-je-velky-jako-dve-prahy-je-to-ohnive-peklo.html>
- [11] SIXTA, J. a M. ŽÍŽKA. *Logistika – Metody používané pro řešení logistických projektů*. 1. vydanie. Brno: Computer Press, a.s., 2009. ISBN 978-80-251-2563-2.