



METÓDY A TECHNIKY POUŽÍVANÉ NA SIMULÁCIU EVAKUÁCIE DAVU V REÁLNO M ČASE

METHODS AND TECHNIQUES UTILISED FOR SIMULATING CROWD EVACUATION IN REAL TIME

ZUZANA GAŠPARÍKOVÁ, PAVOL PRIEVOZNÍK

ABSTRACT: *The article aims to analyse the existing methods for simulating a crowd evacuation at the crisis events utilised in the EU and Slovakia and a design for using these methods aiming at an area evacuation. In the preparatory phase in the prevention area of crisis management, it is significant to count on the variedness of the crisis phenomena that can develop. Therefore, it is a crucial step to select a suitable scenario because by solving a crisis, we protect life and health of people and increase the safety of the population. Protecting the citizens is a system of measures that are ensured based on analysing the given territory and the possible occurrence of an emergency.*

KEYWORDS: *Crowd evacuation. Simulating methods. Crisis situations. Simulating software.*

ÚVOD

Evakuáciou sa podľa Terminologického slovníka krízového riadenia rozumie komplex činností a opatrení, ktorý obsahuje prípravu a odsun ohrozených osôb, zvierat, prípadne materiálnych hodnôt z územia či objektu ohrozeného v dôsledku vzniku alebo trvania krízovej situácie (Šimák, 2015). Zákon NR SR č. 42/1994 Z.z. o civilnej ochrane obyvateľstva evakuáciu definuje ako odsun ohrozených osôb, zvierat, prípadne vecí z určitého územia. Môžeme teda povedať, že evakuácia je opatrenie, pri ktorom sa znižuje počet osôb ohrozených mimoriadnou udalosťou na nebezpečnom mieste. Jej definícia je podobná na celom svete, avšak je potrebné rozoznávať jej delenia podľa rôznych kritérií (tab. 1)

Tabuľka 1 Delenie evakuácie podľa rôznych kritérií (Smetana, 2010)

Delenie podľa rozsahu evakuácie	Delenie podľa doby trvania evakuácie	Delenie podľa organizovania evakuácie
objektová	krátkodobá	samovoľná
plošná	dlhodobá	riadená

Pod pojmom objektová evakuácia rozumieme evakuáciu osôb z jedného objektu, poprípade malej skupiny objektov a pod plošnou evakuáciou rozumieme evakuáciu osôb z väčších urbanistických priestorov. Evakuovaní obyvatelia sú všetky osoby, ktoré nevykonávajú záchranné práce. Osoby ohrozené mimoriadnou udalosťou sú vyvedené mimo ohrozený priestor. Pri krátkodobej evakuácii (do 72 hodín) sa zabezpečuje zdravotné ošetrovanie, informovanosť obyvateľstva, poprípade strava a v prípade potreby prístrešok pre evakuované obyvateľstvo. Dlhodobá evakuácia s pobytom mimo vlastný domov sa počíta s dĺžkou väčšou ako 72 hodín. Je potrebné zabezpečiť stravovanie, núdzové ubytovanie a iné prvky núdzového prežitia. Pri samovoľnej evakuácii nie je zabezpečené žiadne riadenie príslušnými orgánmi poprípade kvalifikovaným personálom. Pri riadenej evakuácii je vykonávaná príslušnými orgánmi a kvalifikovaným personálom. Jej výhodou je rýchlosť, prehľadnosť a bezpečnosť evakuovaného obyvateľstva (Seidl, 2014).

Problematiku evakuácie je potrebné riešiť hlavne vzhľadom na to, že pri vzniku mimoriadnych udalostí je bezprostrednou súčasťou reakcia zainteresovaných na danú udalosť. Najväčší problém z hľadiska evakuácie tvoria priestory ako sú štadióny, letiská alebo stanice metra, kedy sa v tom istom čase na určitej ploche zhromažďujú veľké množstvo ľudí. Aj z histórie poznáme prípady, kedy hlavne neorganizovanosť davu spôsobila smrť množstva ľudí. Ako príklad môžeme uviesť katastrofu z roku

1989 zo štadióna Hillsborough v Anglicku, kde bolo kvôli nesprávnej organizácii rozdrvených 96 fanúšikov Liverpoolu. Najviac mŕtvych v dôsledku vzniknutia chaosu na štadióne bolo v roku 1964 na štadióne v Lime v Peru, kde zahynulo 328 ľudí a viac ako 500 ďalších bolo zranených (Major football stadium tragedies, 2022). Požiar, ktorý vznikol vďaka nezahasenej cigarete, spôsobil na štadióne Bradford City za 4 minúty smrť 56 ľudí (Wobschall, 2020). Katastrofy na zhromažďovacích priestoroch sú prvotne vyvolané krízovou udalosťou ako sú požiar či zrútenie časti priestoru, avšak straty na životoch vyvoláva práve chaos a nesprávna organizácia davu ľudí.

Vzhľadom na uvedené je dôležité hovoriť o prevencii, ktorá je súčasťou modelu krízového riadenia a je zameraná nielen na znižovanie pravdepodobnosti vzniku mimoriadnych udalostí, ale taktiež na vytváranie rôznych havarijných plánov. Základným dokumentom pre evakuáciu je evakuačný plán, ktorý patrí do fázy pripravenosti. A jedným z najdôležitejších nástrojov pri vytváraní evakuačných plánov sú simulačné nástroje a metódy.

1. SIMULÁCIA EVAKUÁCIE V REÁLNO M ČASE

Simulácie sú experimentálne metódy, ktoré si vyžadujú používanie modelovania, kedy modelovanie predstavuje charakteristiku alebo správanie sa daného procesu (Banks, 2001). Simulácia predstavuje vývoj modelu v čase a je možné ju používať na zobrazenie prípadných skutočných účinkov skúmaných postupov v prípade situácie, kedy skutočný proces nie je možné do skúmania zapojiť z dôvodu nebezpečenstva, neprijateľnosti, veľkého rozsahu alebo jeho dovtedajšej neexistencie (Sokolowski, 2009).

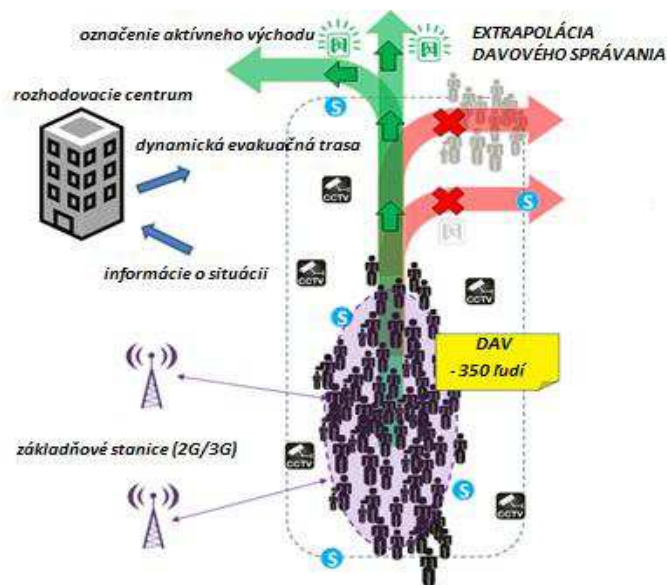
Klasické modelovanie systému sa tradične uskutočňuje prostredníctvom matematického modelu, ktorý sa pokúša nájsť analytické riešenia, ktoré umožňujú predikciu správania systému na základe počiatočných podmienok a parametrov. Pri simulovaní krízových javov sa používa počítačová simulácia, čo je modelovanie skutočnej alebo hypotetickej situácie pomocou počítača, čím je možné skúmať ako systém funguje a je možné predpovedať jeho správanie (Banks, 2001).

Celý proces simulácie pozostáva z niekoľkých čiastkových krokov (Cibulka, 2009):

- Analýza, definovanie problému a plánovanie projektu
- Zber a spracovanie informácií
- Vytvorenie abstraktného modelu a jeho zostavenie na počítači
- Overovanie a testovanie modelu
- Príprava jednotlivých simulačných procesov
- Realizácia simulácie
- Vyhodnotenie a spracovanie výsledkov

2. METÓDY MODELOVANIA SIMULÁCIE DAVOVÉHO SPRÁVANIA

Bezpečnosť davu (obyvateľov) a ich evakuácia zo zón hromadného stretávania sa má obrovský význam v krízovom riadení. Pri evakuácii davu musia byť obyvatelia v čo najkratšom čase evakuovaní na bezpečné miesto. Modelovanie davového správania je jednou z disciplín matematického modelovania javov (tzv. numerical phenomena simulation) (Correndo, 2015). V krízových situáciách sa mení psychologické uvažovanie davu, ktoré pri panike môže výrazne ovplyvniť celkový čas evakuácie. Identifikáciou, označením a uchovaním tzv. dynamickej cesty aktívnej evakuácie AER (Active Evacuation Route) s prihliadnutím na psychologické davové správanie sa zaoberá projekt eVACUATE financovaný Európskou úniou. Projekt eVACUATE vyvíja senzory, ktoré detekujú a rozpoznávajú správanie davu v obmedzených prostrediach, čím dokážu modelovať davové správanie. Na obr. 1 je znázornená koncepcia systému eVACUATE, ktorá okrem iného posúva aktualizované stratégie evakuácie v reálnom čase osobám na pozíciách krízových manažérov a osobám, ktoré rozhodujú v krízových situáciách.



Obrázok 1 Konceptia systému eVACUATE (spracované podľa: eVACUATE Concept, 2020))

2.1 ANALÓGOVÝ MODEL METÓDY MONTE CARLO

Metóda bola prvýkrát použitá v roku 1940 pri zostrojaní atómovej bomby. Základným princípom metódy je poznať fyzikálne javy a pravdepodobnostné rozloženie skúmaného problému. Počítačovo je spracovaných dostatočne veľa simulácií daného deja a štatisticky sa určí priemer (stredná hodnota výsledku náhodného deja) a smerodajná odchýlka. Postupom času je rozvoj techniky stále lepší, a teda aj metóda Monte Carlo je považovaná za stále silnejší nástroj, keďže sa môže vygenerovať obrovské množstvo náhodných simulácií deja. Metóda Monte Carlo má rôznorodé použitie a môže byť základom aj pre potreby aplikácií pri dynamike davu. Model poskytuje priemerný opis správania davu v kritických situáciách a následne aj overenie, či sa evakuačný čas v panických podmienkach predlžuje. Metóda Monte Carlo je časticová metóda, na ktorej sú založené numerické simulácie, ktoré sú schopné kvalitatívne vykresliť vznikajúce správanie davu a realisticky opísať dynamiku davu aj pri zložitých situáciách pri evakuácii (Bellomo, 2016).

2.2 ONTOLOGICKÉ MODELOVANIE

Ontologické modelovanie sa využíva pri manažmente evakuácie davu na miestach s obrovskou koncentráciou ľudí (letiská, štadióny...). Na monitorovanie davu sa tu používajú špeciálne zariadenia IKT, ktoré poskytujú schémy ako sa evakuácia davu vyvíja v priestore a čase a dokážu poskytnúť zlepšenie do budúcnosti. Cieľom je podporiť bezpečnostných manažérov, ktorí rozhodujú o činnosti pri sledovaní davu počas evakuácie.

2.3 MODELOVANIE METÓDAMI KINETICKEJ TEÓRIE

Modelovanie pomocou matematickej kinetickej teórie dokáže znázorniť kritické situácie, ako ich možno zvládnuť a eliminovať riziko kritických udalostí. Matematický prístup navrhuje modely, ktoré sú schopné opísať dynamiku počas evakuácie davu, jej závažné zmeny a celkové správanie davu. Kinetická teória modeluje dynamiku ľudského davu v 3 oblastiach: mikroskopickej, makroskopickej a mezoskopickej (Agnelli, 2015). Mikroskopická oblasť pozostáva z charakteristiky fyzikálnych vlastností davu, kde je tento dav vnímaný cez polohu a rýchlosť jednotlivcov. Dynamika davu sa modeluje ako interakcia medzi jednotlivcami v dave. Makroskopická oblasť sa považuje za najnáročnejšiu z dôvodu, že vníma dav ako celok, kde sa berie do úvahy miestna hustota, stredná rýchlosť a zrýchlenie pôsobiace na jednotlivcov. Mezoskopická časť opisuje pravdepodobnosť cez mikroskopický stav jednotlivcov – opisuje ich polohu a rýchlosť pomocou počtu aktívnych častíc a zavádza premennú zobrazujúcu stratégiu správania jednotlivcov.

3. NÁSTROJE SIMULÁCIE DAVOVÉHO SPRÁVANIA

3.1 SIMULAČNÝ SOFTVÉR STEPS

STEPS je jedným z najpoužívanejších simulačných softvérov na modelovanie pohybu jednotlivcov na svete. Výstup tvorí 3D simulácia v reálnom čase (obr. 2), ktorá dokáže znázorniť únikové východy, zúženia v cestách, pohyblivé dopravné prostriedky, rôzne typy chodcov a ich špecifický pohyb. STEPS je schopný modelovať pohyb chodcov v rôznych budovách a zastavaných lokalitách. Ponúka tiež možnosť prepínať z režimu normálnej prevádzky do evakuačného režimu, takže je možné simulovať aj fázy evakuácie.

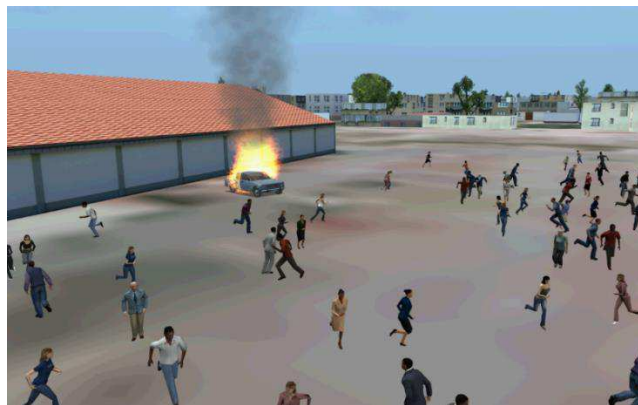


Obrázok 2 Simulačný nástroj STEPS (STEPS – Simulating Pedestrian Dynamics, 2022)

Tento softvér sa používa na miestach obrovskej koncentrácie ľudí po celom svete, napr. Metro v Melbourne a Sydney v Austrálii, New Yankee Stadium v USA, Heathrow Terminal 5 vo Veľkej Británii či Delhi Metro v Indii.

3.2 SIMULAČNÉ PROSTREDIE VR-FORCES

Simulačné prostredie VR-Forces je použiteľné pre vojenské simulácie, simulácie v oblasti krízového manažmentu, simulácie riadenia letovej prevádzky a nevojenské simulácie. Tento simulačný nástroj má niekoľko modulov, ktoré dokážu simulovať scenáre z oblasti šírenia požiaru, záplav, úniku chemických látok, dopravných nehôd a správania sa davu (obr. 3).



Obrázok 3 Simulácia správania sa davu v prostredí VR-Forces (SIM – oblasť simulácií, 2022))

Simulačný modul Správanie sa davu od spoločnosti Lynx podporuje a rozširuje použiteľnosť simulačného prostredia VR-Forces, ktoré ponúka realistický pohľad na simulovanú situáciu v reálnom čase s možnosťou viacerých scenárov a javov. Simulačný modul Správanie sa davu zahŕňa tri základné úlohy: evakuáciu budovy, pohyb davu (obr. 4) a agresívne správanie davu. Výstup môže byť 2D alebo 3D z pohľadu simulovanej osoby, ale aj osoby nezávislej.



Obrázok 4 Simulácia pohybu davu (SIM – oblasť simulácií, 2022))

3.2 PROJEKT INDIGO

Projekt INDIGO vznikol v roku 2010 ako projekt financovaný Európskou úniou, resp. Európskou Komisiou prostredníctvom programu Bezpečnostný výskum. Projekt INDIGO (obr. 5) (Innovative Training and Decision Support for Emergency Operations) sa zameriava na prípravu zvládania katastrof rôzneho druhu a umožňuje simulácie krízového riadenia v umelo vytvorenom mestskom prostredí. Na simulovaní sa môže podieľať niekoľko užívateľov. Za hlavné výhody sa považuje možnosť ukladania a vizualizácie geografických a environmentálnych dát, stavebných informácií až po zobrazovanie 2D a 3D máp v rámci riadenia situácií.



Obrázok 5 Vizualizácia projektu INDIGO (Keméňová, 2013)

Projekt realizuje simulácie, ktoré môžu byť použité v rámci školenia krízových manažérov, ale aj ako podporný systém pri reálnom riešení krízovej situácie. Projekt je založený na technológii VirtualGeo, ktorá predstavuje komplexný softvér na vizualizáciu a analýzu 2D a 3D geopriestorových informácií.

ZÁVER

Pri mimoriadnych udalostiach resp. vyhlásenej mimoriadnej situácii v Slovenskej republike je možné konštatovať, že evakuácia najčastejšie prebieha pri požiaroch a povodniach. Evakuácia je v prevažnej väčšine objektová, krátkodobá a organizovaná. Evakuačný plán je súčasťou fázy prevencie a pripravenosti v rámci teoretického modelu krízového riadenia a mal by predchádzať vzniku komplikácií v praxi. Stanovenie predpokladaného priebehu činností pri evakuácii je možné prostredníctvom metód a nástrojov, ktoré boli popísané v tomto článku.

Bolo zistené, že vďaka obrovskému technickému pokroku vznikajú simulačné nástroje založené na matematických metódach, ktorých používaním sa zvyšuje pripravenosť na koordináciu davu ľudí vyskytujúcich sa na určitom mieste. Postupom času sa tieto nástroje vyvíjajú a zdokonaľujú, čím prispievajú k väčšej bezpečnosti obyvateľstva a znižujú riziko úmrtia príp. zranenia v priestoroch s vysokou koncentráciou ľudí.

LITERATÚRA

- Agnelli, J.P., Colasuonno, F., & Knopoff, D. (2015). A kinetic theory approach to the dynamics of crowd evacuation from bounded domains. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, Vol. 25, No. 01, 109 – 129. <https://doi.org/10.1142/S0218202515500049>
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., Nicol, D. (2001) *Discrete Event System Simulation*. Prentice Hall, 2001. ISBN 978-0-13-088702-3
- Bellomo, N., Clarke, D., Gibelli, L., Townsend, P., & Vrengdenhil, B.J. (2016). Human behaviours in evacuation crowd dynamics: From modelling to „big data“ toward crisis management. *Physics and Life Reviews*, Vol. 18, 1 – 21. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2016.05.014>
- Bellomo, N., Gibelli, L., (2016). Behavioral crowds: Modeling and Monte Carlo simulations toward validation. *Computer and Fluids*, Vol. 141, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2016.04.022>
- Cibulka, V. (2009). *Využitie simulácie pri projektovaní*. Bratislava: STU, 2009. ISBN 978-80-2273-106-5
- Correndo, G., Zavar-Arbab, B., Zlatev, Z., & Sabeur, Z. (2015). Context ontology modelling for improving situation awareness and crowd evacuation from confined spaces. *International Symposium on Environmental Software Systems*, 407 – 416. DOI: 10.1007/978-3-319-15994-2_41
- eVACUATE Concept (2020, May 5) eVACUATE Framework – Main Operational Concept, From: <http://www.evacuate.eu/project/evacuate-concept/>
- INDIGO – CRISIS MANAGEMENT SOLUTIONS (2022, May 20) From: <http://indigo.diginext.fr/EN/>
- Keméňová, E., & Opalka, M. (2013). Projekt INDIGO – interaktívne simulačné technológie na zvládanie kríz. Liptovský Mikuláš, 2013. ISBN 978-80-8040-481-9
- Major football stadium tragedies (2022, January 25). From: <https://www.france24.com/en/live-news/20220125-major-football-stadium-tragedies>
- Seidl, M., Tomek, M., & Vičar, D. (2014). *Evakuácia osôb, zvierat a vecí*. Žilina, 2014. ISBN 978-80-554-0939-9
- SIM – oblasť simulácií (2022, January 30). From: <https://www.lynx.sk/sk/produkty-a-sluzby/vybrane-produkty/sim>
- Smetana, M., & Kratochvílová, D. (2010). *Havarijný plánovanie: varování, evakuace, poplachové plány, povodňové plány*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2989-0
- Sokolowski, J.A., Banks C.M. (2009) *Principles of Modeling and Simulation*. John Wiley & Son. 2009. ISBN 978-0-470-28943-3 From: https://archive.org/details/principlesmodeli00soko_034
- STEPS – Simulating Pedestrian Dynamics (2022, March 20). From: <https://mottmac.com/file/steps-leaflet.pdf>
- Šimák, L. a kol. (2005). *Terminologický slovník krízového riadenia*. Žilina, 2005. ISBN 80-88829-75-5
- Wobschall, L. (2020, July 25) Bradford City's Valley Parade – a ground touched by triumph and tragedy, from: <https://www.yorkshirepost.co.uk/sport/football/bradford-citys-valley-parade-ground-touched-triumph-and-tragedy-2924008>
- Zákon č. 42/1994 Z.z. o civilnej ochrane obyvateľstva.

Zuzana Gašparíková, Mgr.

Kontaktné údaje: *Fakulta bezpečnostného inžinierstva,*
Ul. 1.mája 32, 010 01 Žilina
e-mail: zuzana.gasparikova@uniza.sk

Pavol Prievozník, Mgr.

Kontaktné údaje: *Fakulta bezpečnostného inžinierstva,*
Ul. 1.mája 32, 010 01 Žilina
e-mail: pavol.prievoznik@uniza.sk
