



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE INŽENÝRSKÝCH ÚLOH A INFORMATIKY

INSTITUTE OF COMPUTER AIDED ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE

SIMULAČNÍ NÁSTROJE V OCHRANĚ MĚKKÝCH CÍLŮ BĚHEM HROMADNÝCH AKCÍ

SIMULATION TOOLS IN THE PROTECTION OF SOFT TARGETS DURING MASS EVENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Barbora Bobulová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky
Student: **Bc. Barbora Bobulová**
Vedoucí práce: **doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.**
Akademický rok: 2025/26
Studijní program: N0732A260019 Městské inženýrství

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Simulační nástroje v ochraně měkkých cílů během hromadných akcí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tématem práce je aplikace simulačních nástrojů pro analýzu pohybu osob a jejich evakuace v případě vzniku kritické události během hromadných akcí.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Autor bude analyzovat průběh evakuace z hromadné akce s využitím simulačního nástroje a navrhne konkrétní opatření, která může provozovatel učinit pro zvýšení bezpečnosti.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Weidmann, Ulrich | Pedestrian and evacuation dynamics 2012 | 2014 | 978-3-319-02446-2
| 3224052421

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 15.7.2025

L. S.

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

vedoucí ústavu

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.

děkan

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá problematikou ochrany mäkkých cieľov počas hromadných akcií so zameraním na bezpečnosť osôb a proces evakuácie v prípade vzniku mimoriadnej udalosti. Mäkké ciele, ako verejné priestranstvá a kultúrno-spoločenské podujatia, sú vzhľadom na svoju otvorenosť a vysokú koncentráciu osôb obzvlášť zraniteľné voči úmyselným aj neúmyselným hrozbám. Práca sa sústreďuje na využitie simulačných nástrojov ako podpory pri plánovaní bezpečnostných opatrení a hodnotení evakuačných scenárov.

Teoretická časť práce sa venuje definícii mäkkých cieľov, klasifikácii hrozieb a rizík, psychológii davu a princípom evakuácie osôb, ako aj prehľadu súčasných prístupov k ochrane verejných priestranstiev. Pozornosť je venovaná aj významu simulačných modelov pri analýze pohybu osôb a identifikácii kritických miest v priestore.

Praktická časť práce je zameraná na modelovanie evakuácie vianočných trhov v Brne na Námestí Svobody a Zelnom trhu pomocou simulačného softvéru Pathfinder. Na základe definovaných scenárov sú analyzované evakuačné časy, hustota davu a zaťaženie únikových trás. Výsledky simulácií slúžia na identifikáciu úzkych hrdiel a rizikových zón a následne na návrh opatrení zameraných na zvýšenie bezpečnosti návštevníkov hromadných podujatí. Práca poukazuje na význam simulačných nástrojov ako efektívneho nástroja pri znižovaní rizík a zvyšovaní pripravenosti na krízové situácie.

KLÍČOVÁ SLOVA

mäkké ciele, evakuácia osôb, hrozby, simulácia, ochrana verejných priestranstiev, bezpečnosť, davová dynamika, Pathfinder

ABSTRAKT

This master's thesis focuses on the protection of soft targets during mass events, with an emphasis on public safety and evacuation processes in the event of an emergency. Soft targets, such as public spaces and cultural or social events, are particularly vulnerable due to their openness and high concentration of people, making them susceptible to both intentional and unintentional threats. The thesis concentrates on the use of simulation tools as support for planning security measures and evaluating evacuation scenarios.

The theoretical part of the thesis addresses the definition of soft targets, the classification of threats and risks, crowd psychology and evacuation principles, as well as an overview of current approaches to the protection of public spaces. Attention is also paid to the importance of simulation models in analyzing pedestrian movement and identifying critical locations within the space.

The practical part is focused on evacuation modeling of Christmas markets in Brno, specifically at Náměstí Svobody and Zelný trh, using the Pathfinder simulation software. Based on defined scenarios, evacuation times, crowd density, and the load on evacuation routes are analyzed. The simulation results are used to identify bottlenecks and risk zones and subsequently to propose measures aimed at improving the safety of visitors at mass events. The thesis highlights the significance of simulation tools as an effective means of risk reduction and increasing preparedness for crisis situations.

KEYWORDS

soft targets, evacuation of persons, threats, simulation, protection of public spaces, safety, crowd dynamics, Pathfinder

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BOBULOVÁ, Barbora. *Simulační nástroje v ochraně měkkých cílů během hromadných akcí*. Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky. Vedoucí doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Simulační nástroje v ochraně měkkých cílů během hromadných akcí* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.01.2026

Bc. Barbora Bobulová
autor

PODĚKOVÁNÍ

Týmto by som chcela poďakovať vedúcemu diplomovej práce pánovi doc. Mgr. Tomáši Apeltauerovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a pripomienky, ako aj za trpezlivosť a ochotu venovať mi svoj čas počas spracovania tejto práce. Zároveň ďakujem svojim rodičom za ich neustálu podporu, povzbudenie a vytvorenie podmienok, ktoré mi umožnili úspešne dokončiť štúdium.

V Brně dne 15.01.2026

Bc. Barbora Bobulová
autor

Obsah

1	Úvod	11
2	Teoretická časť.....	12
2.1	Mäkké ciele a riziká hromadných podujatí	12
2.1.1	Mäkké ciele	12
2.1.2	Teoretický rámec bezpečnosti mäkkých cieľov	14
2.1.3	Klasifikácia hrozieb a rizík	15
2.1.4	Útoky a incidenty na verejných zhromaždeniach	22
2.1.5	Význam a dôležitosť hrozieb mäkkých cieľov v mestskom prostredí..	24
2.2	Bezpečnosť a ochrana verejných priestranstiev.....	25
2.2.1	Definícia bezpečnosti	25
2.2.2	Prehľad riešení v zahraničí.....	26
2.2.3	Koncept prevencie kriminality prostredníctvom environmentálneho (CTPED)	31
2.2.4	Osvedčené príklady z praxe.....	32
2.2.5	Záver a odporúčania.....	34
2.3	Psychológia davu a evakuácia.....	35
2.3.1	Definícia a charakteristika davu	35
2.3.2	Faktory vyvolávajúce paniku a typy reakcií ľudí	38
2.3.3	Úzke hrdlá a rizikové zóny	42
2.3.4	Riadenie evakuácie	44
2.4	Simulačné nástroje pre modelovanie evakuácie.....	46
2.4.1	Význam simulačných modelov	46
2.4.2	Typológia modelov	47
2.4.3	Pathfinder ako simulačný nástroj.....	51
2.4.4	Verifikácia a validácia simulácií.....	53
3	Praktická časť.....	56
3.1	Spracovanie vstupných dát	56
3.1.1	Vstupné dáta	56
3.1.2	Popis riešeného územia	57
3.2	Parametre davu.....	60
3.2.1	Vekové rozloženie a rýchlosť pohybu	60
3.2.2	Priestorové nároky osôb	62

3.2.3	Reakčný čas	67
3.3	Analýza rizík	68
3.3.1	Identifikácia možných hrozieb	69
3.3.2	Kvantifikácia rizík	71
3.4	Simulačný model evakuácie	73
3.4.1	Úvod do modelovania	73
3.4.2	Vstupné parametre modelu	74
3.4.3	Definovanie únikových trás	78
3.5	Nastavenie simulačných scenárov	79
3.6	Analýza a vyhodnotenie výsledkov simulácií	84
3.6.1	Scenár A	84
3.6.2	Scenár B	90
3.6.3	Scenár C	96
3.7	Navrhované opatrenia	101
4	Záver	103
5	Zoznam použitej literatúry	104
6	Zoznam použitých skratiek	108
7	Zoznam použitých obrázkov	109
8	Zoznam použitých tabuliek	111
9	Zoznam príloh	112

1 Úvod

Predmetom diplomovej práce je bezpečnosť a ochrana mäkkých cieľov, posúdenie bezpečnostných prvkov v priebehu hromadných podujatí a bezpečná evakuácia. Konkrétne sa diplomová práca zaoberá bezpečnosťou so zameraním na vianočné trhy v Brne na Námestí Svobody a na Zelnom trhu. Hromadné podujatia sú neoddeliteľnou súčasťou kultúrneho a spoločenského života moderných miest a obcí. Každý rok sa na týchto udalostiach stretávajú tisícky návštevníkov, s čím sa spájajú špecifické riziká a krízové situácie, ktoré vyplývajú z veľkého množstva koncentrovaných osôb na pomerne malom priestore. Pri vzniku nežiaducej situácie môže dôjsť k masovej panike alebo davovej psychóze, a tým k obetiam na životoch.

Najväčšia pozornosť sa obracia na tzv. mäkké ciele, ktorých bezpečnosť pri hromadných podujatiach je kladená na prvé miesto. Zraniteľnosť mäkkých cieľov je nielen voči technickým poruchám a nepriaznivým prírodným katastrofám, ale tiež voči neúmyselným nehodám či dokonca úmyselným útokom, s ktorými sa v posledných rokoch Európa stretáva. Skupiny teroristov cielia predovšetkým na miesta s vysokou koncentráciou osôb a s nízkou úrovňou ochrany. Príkladov takýchto útokov je mnoho, no najznámejšie sú: útok v koncertnej sále v Paríži (2015), útok kamiónom v Berlíne (2016) a v neposlednom rade útok automobilom Magdeburgu (2024). Tieto útoky dokazujú, že zaistenie bezpečnosti pri hromadných podujatiach je dnes neodkladnou prioritou.

Trendom poslednej doby je využívanie simulačných nástrojov ako podpora pri plánovaní bezpečnostných opatrení hromadných podujatí. Softvérové simulácie sa využívajú na testovanie krízových situácií, modelovanie pohybu davu a overenie funkčnosti a kapacity únikových trás a ich optimalizáciu. Vytvárajú sa realistické scenáre, v ktorých sa analyzuje správanie návštevníkov, a tak poskytujú cenné informácie, ktoré môžu identifikovať úzke hrdlá, odhadnúť potrebný čas pre bezpečnú evakuáciu a rozmiestniť bezpečnostné zložky pre potencionálnu záchranu životov. Kombinácia rôznych bezpečnostných zariadení, ako sú napríklad kamery či senzory, vytvára systémy na monitorovanie davu a rýchlu reakciu v reálnom čase. Na základe simulačných nástrojov je možné zvýšiť pripravenosť a znížiť riziká nepredvídateľného správania davu či jednotlivca a zamedziť náhlym krízovým situáciám.

Cieľom diplomovej práce je analyzovať možné hrozby, ktoré v priebehu hromadných podujatí môžu nastať na verejných priestranstvách, a zhodnotiť dopad na bezpečnú evakuáciu osôb. Pozornosť je venovaná vianočným trhom v Brne na námestí Svobody a na Zelnom trhu, kde bude pomocou simulačného programu Pathfinder vytvorená modelová evakuácia pre rôzne typy vybraných scenárov. Výstupy z programu umožnia porovnanie hrozieb a navrhnutie opatrení, ktoré zvýšia bezpečnosť návštevníkov. Hrozby sa nikdy nedajú úplne odstrániť, no je možné ich čiastočne eliminovať.

2 Teoretická časť

2.1 Mäkké ciele a riziká hromadných podujatí

2.1.1 Mäkké ciele

Termín mäkké ciele („soft targets“) sa začal používať v súvislosti s narastajúcimi teroristickými útokmi na verejných priestranstvách, ktoré boli páchané na civilistoch. Ide o priestory ľahko prístupné verejnosti, no citlivé na vonkajšie vplyvy, a preto predstavujú veľmi ľahký cieľ na útok s nežiaducimi následkami. Prvá zmienka pochádza zo Spojených štátov, kde sa pojem objavil v 20. storočí a označoval nebránené ciele, ktoré je potrebné zneškodniť. Neskôr bol používaný na označenie nevojenských objektov a verejných priestranstiev, ktoré nemali bezpečnostné opatrenia. V 90. rokoch sa tento termín rozšíril do odbornej literatúry, do akademických prác a analytických článkov, kde sa začal rozširovať o rozdeľovanie objektov a miest a o analýzy zhromažďovania osôb v priestoroch.

Mäkké ciele sú v odbornej literatúre pomerne známym pojmom, no presná definícia platná na medzinárodnej úrovni stále chýba. To je dôvod, prečo sa rôzni autori zaoberajúci sa touto problematikou snažia vytvoriť vlastnú definíciu. Prvú odbornú literatúru, ktorá priniesla definíciu, napísal Forest (2006) a popísal ju nasledovne: *Mäkké ciele sú siete civilistov, kde sa zhromažďuje veľké množstvo ľudí, napríklad národné pamiatky, nemocnice, školy, športoviská, hotely a dopravné siete akými sú metro, vlaky, autobusy a iné. Za mäkké ciele sú taktiež označované miesta pred samotným vstupom do tvrdého cieľu, ktorý je chránený.* [1] Medzi prvých odborníkov, ktorí mäkké ciele popisujú, patrí tiež Bennett (2007) so svojou teóriou: *Mäkký cieľ je osoba alebo vec, ktorá je relatívne nechránená, alebo zraniteľná voči teroristickému útoku.* [2] McEntire (2009) prišiel s dielom, ktoré mäkké ciele definuje ako: *Potenciálna sieť pre teroristické útoky, a to z dôvodu otvorenosti a dostupnosti pre verejnosť.* [3] Poslednou z veľmi významných zahraničných diel je publikácia Soft Target Hardening (2015): *Útok na mäkké ciele môže spôsobiť fatálne dôsledky na národnú psychiku a môže diskreditovať vládnu schopnosť ochrániť ľudí. Vysokú mieru ich účinku pri použití chemickej alebo biologickej zbrane zohrávajú práve turistické, nákupné a rekreačné centrá. Všetci obyvatelia majú právo na využívanie možnosti vzdelávania, práce a poskytovania zdravotnej starostlivosti v bezpečnom prostredí. Bezpečnosť nie je primárnym účelom týchto inštitúcií, a to z dôvodu, že tieto inštitúcie nemajú dostatok finančných zdrojov na zabezpečenie špeciálnych bezpečnostných opatrení. Takže tieto objekty sú typicky označované za bez zbraňové zóny a jediný odpor s ktorým sa v týchto objektoch môže útočník stretnúť je jeden alebo dvaja neozbrojení strážnici. Kombinácia týchto vlastností robí školy, chrámy, nemocnice a nákupné centrá jedným z ľahko dostupných potenciálnych cieľov pre teroristov alebo iných zabijakov.* [4] V Českej republike Ministerstvo vnútra pod označením mäkké ciele označuje miesta s vysokou koncentráciou osôb a nízkou úrovňou zabezpečenia proti násilným útokom, ktoré sú pre túto svoju charakteristiku vyberané hlavne v poslednej dobe ako cieľ takýchto útokov, typických útokov teroristických. [5] Kalvach (2017), jeden z prvých českých autorov,

vysvetlil tento pojem nasledovne: *Ako mäkké ciele sa označujú objekty, priestory alebo akcie charakterizované zhromaždením väčšieho počtu osôb, absenciou alebo nízkou úrovňou zabezpečenia proti násilným útokom a nezaradením medzi objekty kritickej infraštruktúry.* [6] Civilná ochrana Slovenskej republiky popisala mäkké ciele ako *miesta s vyšším výskytom ľudí a k tomu neadekvátne nízkou ochranou. Môžeme si pod nimi predstaviť školy, nemocnice, trhoviská, nákupné centrá, atď.* [7]

Tvrdé ciele („hard target“) je termín používaný v úzkej spojitosti s mäkkými cieľmi a sú to objekty či miesta s vysokou úrovňou ochrany. Predovšetkým predstavujú vojenské a vládne objekty alebo letiská, kde je úroveň zabezpečenia zaistená kombináciou bezpečnostných prvkov, konkrétne ozbrojeným personálom, bezpečnostnými systémami a fyzickými bariérami (napr. bezpečnostné sklo, brány s kontrolou vstupu atď.). Útoky na tvrdé ciele nie sú tak bežné, pretože si vyžadujú pokročilejšie metódy a dôkladne premyslenú stratégiu, kdežto mäkké ciele sú prístupné bez prekážok a zraniteľné.

Všetky definície majú jedného menovateľa a zhodujú sa v tom, že mäkké ciele predstavujú objekty a miesta, ktoré sú prístupné širokej verejnosti a nemajú dostatočnú ochranu proti teroristickým či iným útokom. Veľký dôraz kladú na zraniteľnosť a otvorenosť, čo z nich robí jednoduchý cieľ. Autori popisujú priestory a miesta, ktoré nie sú zahrnuté v kritickej infraštruktúre a ich prioritou nie je bezpečnosť, ale napr. zdravotná starostlivosť či vzdelávanie. Faktom je, že nedostatok opatrení v miestach s neobmedzeným a voľným pohybom ľudí vedie nielen k fyzickému ohrozeniu, ale hlavne k psychologickému dopadu a zneváženiu schopnosti štátnych orgánov zabezpečiť bezpečnosť civilistov. Časté útoky môžu mať krátkodobé, ale aj dlhodobé následky, predovšetkým narušenie verejnej bezpečnosti, s čím sa spája strach a pocit neistoty spoločnosti, zranenia a straty na životoch.

Ochrana mäkkých cieľov si z pohľadu prevencie vyžaduje značné úsilie a finančné prostriedky, keďže funkcia týchto objektov nie je primárne ochranná, ale poskytuje všeobecné služby. Pre funkčnú ochranu je potrebné skombinovať fyzické prvky so strategickými a organizačnými postupmi, ktoré sú schopné zabezpečiť rýchlu reakciu na prípadný incident. Na základe vyššie uvedeného je evidentné, že tento termín sa vyvíja posledné desaťročia a existuje už mnoho výkladov. Hoci sa definície v určitej miere líšia, myšlienku majú všetky spoločnú. Otvorenosť a zraniteľnosť mäkkých cieľov spolu s rizikom spôsobenia fyzických a najmä psychologických škôd pri nežiaducich útokoch. Tvrdé ciele naopak predstavujú vysoko zabezpečené priestory s obmedzeným prístupom a s vysokým stupňom fyzickej aj technologickej ochrany.

2.1.2 Teoretický rámec bezpečnosti mäkkých cieľov

Hrozba

Pojem predstavuje potenciálnu udalosť, ktorá môže nastať a spôsobiť škody na majetku, na životoch a vedie k vzniku škôd. Je to narušenie, poškodenie alebo znehodnotenie prirodzeného stavu a vyžaduje si včasnú identifikáciu a preventívne opatrenia. *Hrozba je prírodný alebo človekom podmienený proces predstavujúci potenciál, tj. schopnosť zdroja hrozby byť aktivovaný a spôsobiť škodu. Tento potenciál môže byť spustený zámerne alebo náhodne využitý pre atakovanie špecifických zraniteľností aktíva. Hrozba býva zdrojom rizika.* [8] V spojitosti s mäkkými cieľmi má každá hrozba špecifický charakter a vysoký dopad z hľadiska prítomnosti veľkého množstva osôb na pomerne malom priestore. Procházková vo svojej publikácii z roku 2011 označuje hrozbu *ako nebezpečie, definované ako vznik udalostí alebo sekvencia udalostí, ktoré sa výrazne odlišujú od žiaduceho stavu alebo očakávaného vývoja. Tieto udalosti môžu zasahovať do integrity a funkcie chránených záujmov.* [8]

Samostatná prítomnosť hrozby reálne nepredstavuje škodu, ak sa nepremení na konkrétny incident. Z toho dôvodu je nutné zhodnotiť možné následky, pravdepodobnosť vzniku a v prvom rade hrozbu správne identifikovať.

Riziko

Pojem riziko úzko súvisí s pojmom hrozba v krízových situáciách, no má špecifický význam. Riziko predstavuje pravdepodobnosť vzniku nepredvídateľnej udalosti a závažnosť jeho následkov. *Definuje sa ako pravdepodobnosť, že sa udalosť alebo súbor udalostí môže vyskytnúť s určitým stupňom pravdepodobnosti, a tieto udalosti kompletne transformujú pôvodne predpokladaný stav alebo vývoj chránených záujmov štátu, najmä s ohľadom na ich celistvosť a funkciu.* [8] Miera rizika je definovaná ako kombinácia závažnosti následkov s pravdepodobnosťou výskytu. Takáto definícia umožňuje kvalitatívne zhodnotiť riziká a porovnať ich. Miera rizika vyjadruje vzťah medzi úrovňou ohrozenia a počtom ohrozených jednotlivcov.

V bezpečnostných a krízových štúdiách sa používa aj definícia, ktorá riziko vníma ako reálnu potencionálnu hrozbu pre civilistov z hľadiska ohrozenia bezpečnosti a zdravia. V rámci zabezpečenia mäkkých cieľov je nutné chápať riziko ako nástroj pri stanovení priorít z hľadiska plánovanie bezpečnostných opatrení, a nie iba ako abstraktný pojem. Pri hodnotení rizík hromadných podujatí je potrebné brať do úvahy fakt, že aj pri dôslednom plánovaní nemožno úplne eliminovať všetky hrozby.

Útok

Útok možno chápať ako cielenú aktívnu akciu proti vopred určenej skupine osôb, objektov či systémov, ktorého cieľom je spôsobiť rozsiahlu škodu na životoch, majetkoch alebo infraštruktúre a vyvolať strach. Na rozdiel od hrozby, ktorá predstavuje potencionálne nebezpečenstvo, útok je už konkrétny vykonaný čin.

Útoky smerované na mäkké ciele sú obzvlášť nebezpečné v dôsledku zamerania sa na priestory alebo udalosti s veľkou koncentráciou civilistov a nízkou úrovňou ochrany. Typické sú teroristické útoky na verejné priestranstvá, dopravné uzly, vzdelávacie a zdravotné inštitúcie s cieľom vyvolať strach a neistotu v spoločnosti a straty na životoch. Útoky však nie sú výhradne teroristické, ale tiež kriminálne alebo individuálne činy agresie, ktoré nie sú tak zorganizované, no pre návštevníkov verejných podujatí môžu mať fatálne následky. Preto je dôležité v spojitosti s plánovaním bezpečnosti chápať útok ako moment, kedy sa overuje reálny dopad zavedených bezpečnostných opatrení. Kľúčom k minimalizácii následkov sú vypracované evakuačné plány, preventívne stratégie a v neposlednom rade rýchlosť reakcie bezpečnostných zložiek. Útok môže byť vnímaný nielen ako zlyhanie ochrany, ale aj spôsob, ako preveriť schopnosť spoločnosti reagovať na krízovú situáciu a skúšku odolnosti bezpečnostných systémov.

2.1.3 Klasifikácia hrozieb a rizík

Identifikácia hrozby je prvý krok pri hodnotení rizík mäkkých cieľov. Správne určenie potencionálnej hrozby umožňuje efektívne naplánovanie jej eliminácie a vytvorenie ochranných opatrení. Presná klasifikácia je nevyhnutná v dôsledku odlišnosti možných dopadov, charakteru a pravdepodobnosti výskytu. Menej bežnou hrozbou sú teroristické útoky, ktoré sú dôkladne premyslené a ich následky sú fatálne. Naopak, spontánne incidenty, ako napr. kriminalita alebo vandalizmus, sú častejšie a neustále sa opakujú, no ich dopady sa dajú minimalizovať včasnou reakciou a efektívnym plánovaním bezpečnostných prvkov na hromadných podujatiach. Pri návrhoch bezpečnostných opatrení je nutné rozlišovať medzi rôznymi typmi hrozieb, hlavne z hľadiska povahy, motivácie (napr. rasová či náboženská), spôsobu a pôvodu útoku.

Správne zatriedenie hrozieb je kľúčovým prvkom pri metodickom riadení rizík. Umožňuje špecifikovať neúmyselné a úmyselné hrozby vzhľadom na ich špecifickému prístupu k prevencii.



Obrázok 1: Schéma klasifikácie hrozieb (Zdroj: vlastné spracovanie)

Identifikácia možných útokov na mäkké ciele, ktorá slúži ako prvotný varovný signál pri potencionálnom riziku, je súčasťou klasifikácie hrozieb. Varovné signály sú konkrétne prejavy správania osôb alebo vzniknuté situácie, ktoré indikujú plánovaný

útok alebo riziko vzniku nežiadúcej bezpečnostnej udalosti. Ich neustále monitorovanie je nevyhnutné, aby sa minimalizovali následky a v ideálnom prípade, úplne eliminovalo riziko vzniku pri včasnej reakcii. *Podľa Marquise (2015) boli identifikované indikátory potenciálneho útoku na mäkké ciele, [9] ktoré sú uvedené v tabuľke č. 1 uvedenej nižšie.*

Letiskové terminály	Obchodné centrá	Štadióny a arény	Kongresové centrá	Hotely
Zraniteľný k vnútorným hrozbám	Neobmedzený voľný prístup	Veľké množstvo ľudí na vstupe s rôznymi úrovňami kontroly	Otvorený prístup	Nekontrolovateľný verejný prístup
Viacero lokalizovaných miest k explózií	Veľké množstvo vstupných bodov	Obmedzené kontroly dopravných prostriedkov pre vstup do arény	Veľké mestské priestory	Nekontrolovateľný vstup do príľahlých priestorov
Otvorená dostupnosť z vonku	Neobmedzený prístup do príľahlých budov	Obmedzené kontroly dopravovaného materiálu	Obmedzené kontroly zamestnancov a dodávateľov	Obmedzené kontroly zamestnancov a ich zázemia
Veľké množstvo ľudí na malom priestranstve	Vstup dodávateľov, brigádnikov, atď.	Obmedzené bezpečnostné vybavenie	Nízka alebo žiadna úroveň kontroly zákazníkov	Návrh budovy nie je bezpečnostne orientovaný
Veľký počet cieľov	Obmedzené kontroly zamestnancov	Veľké množstvo záujemcov - verejne dostupná a známa udalosť	Malý odstup od parkovacích plôch	Veľké množstvo potenciálneho umiestnenia výbušniny
Veľkosť a lokalizácia zariadení	Obmedzené bezpečnostné sily		Bez kontroly dodávok	

Tabuľka 1: Indikátory útokov na mäkké ciele [9]

Tak ako uviedol Batko (2016) *Dôvod pre útok na mäkké ciele je maximálna úroveň publicity a šírenie strachu. Teroristi šíria do okolia hrôzu a strach pri vysokom počte zavraždených civilistov. Je nemožné pre vládu, aby zabránila všetkým útokom, ale práve civilisti musia byť schopný zaistiť ich vlastnú bezpečnosť, a to tým, že budú vedieť ako sa majú chovať.* (cit. podľa[10]).

Tak ako bolo spomenuté vyššie, riziká a hrozby pre mäkké ciele majú rozličný charakter a rôzne dôsledky. Nasledujúca časť diplomovej práce sa bude zaoberať konkrétnym popisom a klasifikáciou vybraných typov hrozieb, ktoré sú pravdepodobné pre hromadné podujatia a z hľadiska bezpečnosti najvýznamnejšie. Ich bližšie definovanie umožní pochopenie špecifik jednotlivých rizík a vytvorí základ pre návrh bezpečnostných opatrení.

1. Teroristické útoky

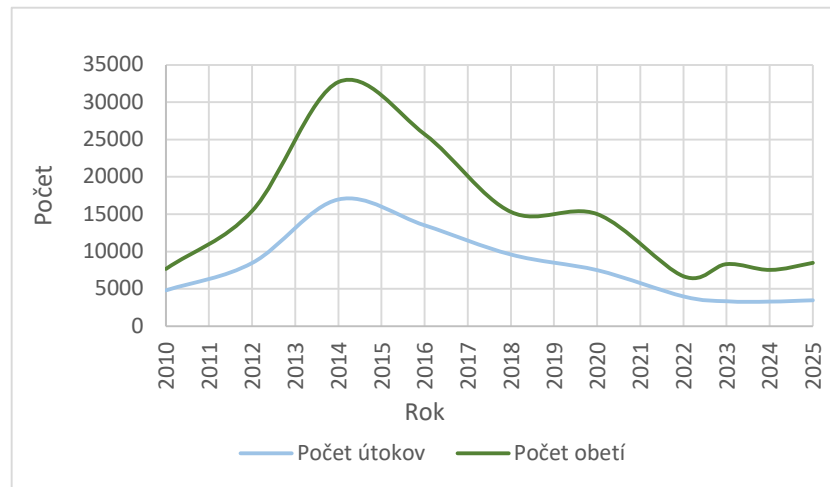
Terorizmus je jedným z ďalších univerzálne nedefinovatelným pojmov, vzhľadom na to, že sa dotýka viacerých oblastí spoločenského života a každá z nich ho vníma a rieši iným spôsobom. Teroristické útoky predstavujú pre mäkké ciele najväčšiu hrozbu a zaraďujú sa do špeciálnej kategórie úmyselných hrozieb. Sú to úmyselné, vopred naplánované hrozby násilia voči civilistom s politickým, náboženským alebo ideologickým cieľom. Ministerstvo vnútra ČR terorizmus definuje ako *plánované, premyslené a politicky motivované násilie, zamerané proti nezúčastneným osobám, slúžiacich k dosiahnutiu vytýčených cieľov* [5] Veľa definícií je založených na princípe dvoch cieľov, čo znamená, že teroristi sa zameriavajú na konkrétne obeť alebo na širšiu verejnosť, čím cieľia na skupinu ľudí, kde násilie vykonané voči tejto skupine im slúži ako prostriedok na ovplyvnenie názorov či rozhodnutie väčšej spoločenskej skupiny alebo predstaviteľov.

Motivácie môžu byť rôzne a často sa pripisujú ideológii konkrétnej skupiny, ako píše Crenshaw (1985) *všeobecný obraz teroristu ako jednotlivca motivovaného výlučne hlbokým a neústupným politickým záväzkom zakrýva zložitejšiu realitu.* [11] Realitou sa rozumie motivácia jednotlivcov pripojiť sa k teroristickým skupinám. Tieto motívy sú rôzne a závislé od okolností, sociálneho prostredia a typu skupiny. Dôvody sa môžu v priebehu času meniť. Niektorí sú motivovaní politicky či nábožensky a iní zase riešia svoje osobné frustrácie a boje. Je zrejmé, že do rozhodnutia páchať takýto typ násilia vstupuje mnoho faktorov. Freud napísal: *Myslím si, že treba počítať s tým, že u všetkých ľudí sú prítomné deštruktívne, a teda antisociálne a antikultúrne tendencie a že u veľkého počtu ľudí sú tieto tendencie dostatočne silné na to, aby určovali ich správanie v ľudskej spoločnosti.* [11]

Tento pohľad poukazuje na schopnosť osôb uchýliť sa k násiliu a popisuje ho ako prirodzenú súčasť ľudskej psychiky. Môže sa prejavovať v stresových situáciách alebo vplyvom extrémistických názorov. Taktika a spôsob prevedenia sa prispôbujú možným podmienkam a prostrediu. Najčastejšie útoky sú vykonané pomocou výbušnín, strelbou na verejných priestranstvách, samovražednými atentátmi a v poslednej dobe aj využívanie dopravných prostriedkov pri útokoch na zhromaždeniach. Takéto metódy sú kvôli jednoduchosti a silnému psychologickému dopadu nesmierne atraktívne pre útočníkov. Trendom posledných rokov sú kybernetické útoky či nasadenie dronov pre zber informácií a tiež na realizáciu násilných akcií.

Pre hlbšie pochopenie dynamiky tejto hrozby sú v práci predložené štatistické dáta mapujúce vývoj teroristických incidentov. Obr. č. 2 detailne analyzuje situáciu v Európe a na Blízkom východe, kde je zreteľná regionálna špecifickosť útokov. Tento vývoj potvrdzuje, že terorizmus sa neustále prispôbuje novým podmienkam, a

preto je potrebné priebežne modernizovať bezpečnostné opatrenia aj evakuačné postupy pre mäkké ciele.



Obrázok 2: Globálny trend terorizmu vo svete (Zdroj: vlastné spracovanie)

Terorizmus má na spoločnosť výrazný psychologický dopad, keďže vyvoláva strach a nedôveru vo verejné inštitúcie a narúša spoločenské vzťahy. Medzi nepriame dôsledky útokov môžeme zaradiť ekonomickú ujmu, pokles turizmu, nárast výdavkov na bezpečnostné opatrenia a v neposlednom rade tiež zákonné zmeny, ktoré sa môžu dotknúť občianskych práv. Takéto zmeny sú úzko prepojené so zvýšením právomocí bezpečnostných zložiek a sprísnením kontrol, čo môže vyvolať otázku rovnováhy medzi ochranou obyvateľstva a základnými demokratickými hodnotami. Dlhodobá prítomnosť takejto hrozby mení atmosféru v spoločnosti a zvyšuje napätie medzi komunitami.

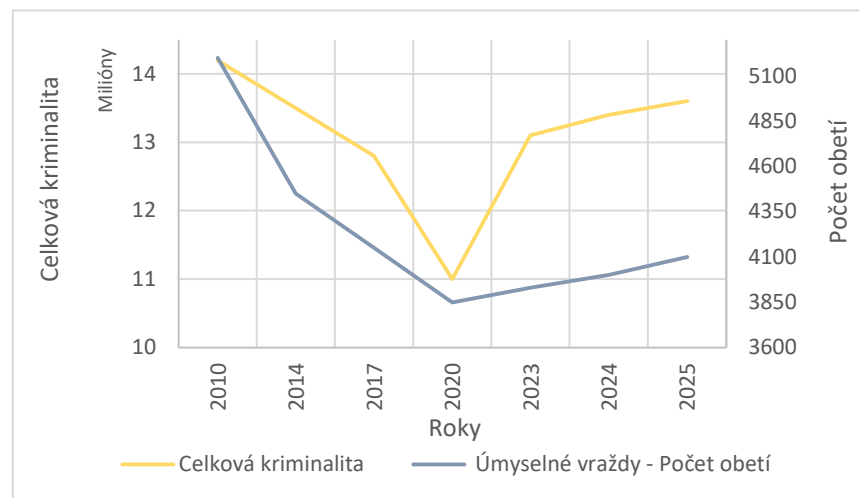
Strategický prístup na zvládanie teroristických hrozieb si vyžaduje koordinované riadenie, ktoré zahŕňa efektívnu spoluprácu na všetkých bezpečnostných úrovniach. Nevyhnutná je aj medzinárodná výmena informácií a budovanie spoločenskej odolnosti. Súčasťou prevencie je monitorovanie radikalizácie, fyzické bariéry a kontrola prístupu. V prípade útokov na mäkké ciele, ako sú verejné priestranstvá, je nevyhnutné zabezpečiť a napláňovať evakuačné scenáre, využiť simulácie davu a posilniť spoluprácu medzi bezpečnostnými a organizačnými zložkami. Takýto prístup zvyšuje pripravenosť a minimalizuje riziká spojené s možnými útokmi.

2. Kriminálne útoky

Kriminálne útoky patria do špeciálnej kategórie hrozieb, ktoré sa od teroristických útokov odlišujú svojím cieľom, spoločenským dopadom a ideologickou motiváciou. Zatiaľ čo terorizmus je veľakrát podmienený politikou, pri kriminálnych činoch prevláda osobná pomsta alebo ekonomické zisky. Typické pre takýto typ útoku sú lúpeže, únosy a taktiež organizovaný zločin, ktoré ohrozujú verejný poriadok a bezpečnosť a majú priamy dopad na spoločnosť. Najbežnejšia forma kriminálneho útoku je lúpež, ktorá sa odohráva na verejných priestranstvách, v obchodných prevádzkach a tiež finančných inštitúciách. Pod organizovaným zločinom si môžeme predstaviť drogové alebo mafiánske skupiny. Násilie používajú pre udržiavanie

kontroly nad trhom alebo na zastrašenie konkurencie. K závažnejším činom patrí vydieranie spojené s únosom osôb, ktoré zločinci využívajú hlavne ako formu pre získanie výkupného. Nakoniec môžeme do tejto formy útokov zaradiť aj hromadné pouličné násilie spôsobené športovými podujatiami alebo gangmi.

Aktuálny stav a vývojovú tendenciu kriminálnych incidentov dokumentuje obr. č. 3, ktorý znázorňuje celkový objem kriminality s dôrazom na jej vnútornú štruktúru. Z grafu je zrejmé, že hoci majetková trestná činnosť tvorí najväčší podiel incidentov, prítomnosť násilných trestných činov vrátane úmyselných vražd predstavuje kritickú hrozbu pre bezpečnosť osôb v urbanizovanom priestore. Tieto štatistické ukazovatele potvrdzujú potrebu viacúrovňovej ochrany mäkkých cieľov.



Obrázok 3: Kriminálne útoky v Európe (Zdroj: vlastné spracovanie)

Kriminológia v teoretickej rovine, reprezentovaná autormi Clarke a Cornish (1985), uvádza, že kriminalitu možno vnímať *nie ako výsledok psychologických a sociálne podmienených predispozícií k trestnej činnosti, ale ako výsledok páchatelových široko chápaných racionálnych rozhodnutí a volieb*. [12] Takýto výklad je známy ako teória racionálnej voľby: *v kriminológii vníma páchatelov ako racionálnych aktérov, ktorí zvažujú náklady a prínosy spáchania trestného činu. Predpokladá, že jednotlivci sa rozhodnú spáchať trestný čin na základe analýzy nákladov a prínosov osobných aj situačných faktorov, pričom sa rozhodnú spáchať trestný čin vtedy, keď vnímané prínosy prevažujú nad potenciálnymi nákladmi*. [13] Autori analyzujú rozhodovací proces páchatela z jeho vlastnej perspektívy, ktorý zvažuje výhody a riziká svojho konania. Jeden z autorov nadväzujúcich na rámec teórie racionálnej voľby je Felson. V publikácii *Crime and Everyday Life* zdôrazňuje, že *motívy zločinu sú súčasťou typických motívov, ktoré poháňajú všetkých ľudí: všetci túžime po majetku a peniazoch, chceme sa pomstiť a obnoviť spravodlivosť alebo chrániť vlastný obraz. Na týchto motívoch nie je nič deviantné; kriminálnym sa stáva až použitie nezákonných metód*. [14] Na základe uvedeného pohľadu možno konštatovať, že kriminalitu možno brať ako výsledok bežných ľudských túžob a predovšetkým potrieb, ktoré sú realizované nelegálnymi prostriedkami. Vplyv kriminálnych útokov je viacozmerný. Na jednej strane dochádza k ohrozeniu života a zdravia civilistov a k ohrozeniu

demokratických princípov, na strane druhej k ekonomickým stratám prenášaným na spoločnosť a podnikateľské subjekty. Nezanedbateľným prvkom je psychologický efekt, kedy aj malý kriminálny útok (napr. vreckové krádeže) pri hromadných podujatiach môže spôsobiť paniku a chaos a narušiť podujatie.

V nadväznosti na ochranu mäkkých cieľov je treba kriminalitu vnímať ako paralelnú hrozbu oproti terorizmu. Aj napriek tomu, že im chýba ideologický základ, dôsledky útokov môžu byť rovnako závažné, keďže nezávisle od motivácie môže takýto čin spôsobiť narušenie spoločenskej stability. V určitých prípadoch môže neprítomnosť ideologickej motivácie predstaviť omnoho väčšiu hrozbu, pretože výrazne sťažuje identifikáciu hrozby a narúša schopnosť efektívne zareagovať. Preto je nevyhnutná prevencia, ktorá zahŕňa kombináciu rôznych bezpečnostných opatrení, ako napr. policajné hliadky, technické zabezpečenie priestorov a tiež monitorovanie problémových skupín.

3. Panika, neúmyselné incidenty v dave

Panika v masívnom dave je jednou z častých hrozieb a môže spôsobiť náhly pocit ohrozenia, ktorý vyvolá neúmyselné, no tragické udalosti, napr. pád, zdemolovanie bariér a v najhoršom prípade stlačenie a udusenie. Takýto typ hrozby nevzniká v dôsledku zlého zámeru, ale ako výsledok organizačných nedostatkov a sociálneho správania spoločnosti. Existujú štúdie, ktoré poukazujú na to, že pri dosiahnutí určitého kritického množstva osôb na jednom mieste dostáva správanie charakter fyzikálnych javov, kde aj malá reakcia môže viesť k nekontrolovateľným pohybom s vážnym ohrozením jednotlivcov.

Fyzikálny jav spájaný so správaním davu je známy pod pojmom davová dynamika a môže byť prirovnaný napr. k tlakovým silám v kvapaline alebo šíreniu tlakových vln. Ak hustota ľudí na určitom priestore prekročí kritickú hranicu, jednotlivci strácajú schopnosť samostatného pohybu a vtedy sa môže dav prirovať k nestlačiteľnej tekutine.

Najlepším príkladom, na ktorom možno ilustrovať následky nekontrolovanej paniky, je festival Loveparade v Duisburgu. Pri vstupe do areálu festivalu vznikol tzv. „crowd turbulence“, čo je jav, kedy sa telá ľudí správajú podobne ako tekutina pod tlakom (náhle pohyblivé vlny v dave). *Videozáznamy z miesta potvrdili, že ľudia sa potkýnali a hromadili v dôsledku "domino efektu", ktorý je výsledkom už vyššie spomínaného javu „crowd turbulence“ alebo „crowd quake“* [15] čo v preklade znamená otras davu. *Otrasy davu sú typickým dôvodom davových katastrof, ktoré treba odlišiť od davových katastrof spôsobených masovou panikou alebo tlaku davu.* [15] Práve Helbingov „Social Force Model“ (model sociálnych síl) sa stal základom pre moderné matematické simulácie pohybu osôb. Tento model vníma pohyb jednotlivca ako výsledok pôsobenia sociálnych a fyzikálnych síl, čo umožňuje presne predpovedať správanie davu v kritických bodoch. Pre mnohých zúčastnených nebola udalosť vnímaná ako masová panika, ale ako pasívne uväznenie v priestore, čo sa dá popísať aj ako stav bezmocnosti vyvolaný extrémnym fyzickým tlakom a obmedzeným

množstvom únikových východov. Tragédia vznikla nadmerným preplnením, nevhodným priestorovým usporiadaním a zlyhaním koordinácie organizátorov a bezpečnostných zložiek. Preto si plánovanie hromadných akcií vyžaduje špeciálny prístup, ktorý spája podrobné naplánovanie podujatia, efektívne riadenie davu a vytvorenie dostatočnej kapacity únikových trás, čo zahŕňa zabránenie vzniku úzkych hrdiel a vytvorenie doplnkových či náhradných únikových ciest. Rovnako dôležité je riadenie hromadných podujatí organizátormi a bezpečnostnými zložkami (viditeľne označené únikové cesty, zrozumiteľné pokyny a prítomnosť osôb usmerňujúcich dav).

Trendom poslednej doby je rozvoj moderných technológií, ktoré zohrávajú kľúčovú úlohu pri prevencii a monitorovaní panických incidentov. Pokročilá videoanalýza a používanie senzorov poskytujú monitorovanie davu v reálnom čase a včasnú identifikáciu rizikových situácií pred ich vypuknutím. Simulačné nástroje pomáhajú pri modelovaní konkrétnych situácií, organizátorom identifikovať kritické body v priestore, pripraviť sa na krízové situácie a navrhnúť priestory tak, aby bol pohyb osôb bezpečný. Vytvorenie vhodných opatrení je pri hromadných podujatiach nevyhnutné, pretože práve neúmyselné incidenty v dave sú často podceňovaným, no veľmi nebezpečným typom hrozby.

4. Chemické a biologické hrozby

Chemické a biologické hrozby nie sú na našom území až tak bežné, no predstavujú osobitú kategóriu rizík. Takéto hrozby sa od iných odlišujú prevedením a účinkom, ktorý môže byť skrytý či oneskorený. Chemické hrozby sú prevedené látkami, ktoré môžu spôsobiť popáleniny, otravu či dokonca masové zdravotné komplikácie. Sú výsledkom zámerných (teroristických) činov, ale tiež neúmyselných udalostí. Chemická hrozba predstavuje únik toxických látok pri priemyselných nehodách. Naopak, biologická hrozba je spôsobená patogénom, ktorý sa šíri nepozorovane ľudskou populáciou a spôsobuje ochorenia či infekcie. Identifikácia a okamžitá reakcia v mnohých prípadoch nie je možná, keďže účinok môže byť oneskorený.

Hlavným znakom takýchto hrozieb je ich skrytý mechanizmus, ktorý často znemožňuje ich odhalenie pred vzniknutou škodou. Účinok môže byť závažný, pričom na vykonanie nie je nutná veľká námaha zo strany páchatelov. Zo strany organizátorov je ľahké zanedbať bezpečnostné opatrenia. Na rozdiel od fyzických útokov sa chemické a biologické ohrozenia prejavujú oneskorene, často až po určitom čase, čo komplikuje identifikáciu zdroja a efektívnu reakciu. Ich odhalenie si vyžaduje pokročilé monitorovacie systémy, dekontaminačné zariadenia a laboratórna analýza. Práve takáto skrytá povaha týchto hrozieb zvyšuje nebezpečenstvo, a to najmä v spojení s mäkkými cieľmi, kde je koncentrácia civilistov vysoká a fyzická ochrana nízka. Pri veľkých podujatiach konaných vonku, ako sú napríklad vianočné trhy, treba počítat aj s rizikom možnej kontaminácie jedla či nápojov. Vysoký pohyb ľudí totiž výrazne sťažuje rýchle odhalenie prípadnej nebezpečnej látky.

2.1.4 Útoky a incidenty na verejných zhromaždeniach

Hromadné podujatia, ako napr. vianočné trhy, športové alebo verejné zhromaždenia, sú vystavené rôznym rizikám a hrozbám. História tragických incidentov ukazuje, že hrozby nie sú iba úmyselné, ale často sú dôsledkom systémových zlyhaní. Spojenie organizačných a psychologických nedostatkov s environmentálnymi a biologickými faktormi často vedie k vzniku nepriaznivých, životu ohrozujúcich situácií. Už od začiatku 20. Storočia sú evidované incidenty, ktoré v dôsledku zlyhania organizácie a nedostatočného strategického usporiadania priestoru spôsobili tragédie.

Typickým príkladom neúmyselného incidentu, ktorý vznikol v dôsledku nezvládnutej organizácie, je už vyššie spomínaná tragická udalosť na festivale Loveparade v Duisburgu v roku 2010, kde bolo ušliapaných 21 osôb. Ďalej by sa nemal opomenúť futbalový zápas na štadióne Hillsborough v Anglicku v roku 1989, *kde preplnenie tribún viedlo ku katastrofálnemu nárastu ľudí na tribúnach. Fanúšikovia boli nahnaní do vyhradenej oblasti, ktorá sa kvôli zlému manažmentu davu a nedostatočným bezpečnostným opatreniam nebezpečne prepĺnila, čo malo za následok, že mnohí boli pritlačení k oceľovému plotu.* [16] *Slabá komunikácia a koordinácia ďalej skomplikovali záchranné úsilie a v mnohých prípadoch fanúšikovia poskytli pomoc a lekársku starostlivosť. Celkovo bolo zabitých 97 ľudí.* [17] V tomto prípade jasne zlyhala komunikácia medzi organizačnými a bezpečnostnými zložkami, nekontrolované vstupy a v neposlednom rade absencia evakuačných plánov vyústili do fatálnej tragédie.

Úmyselné útoky a hrozby začali byť frekventované so zvyšujúcim sa mediálnym dosahom a rastúcou koncentráciou davov na verejných priestranstvách. Nezabudnuteľným incidentom, pri ktorom došlo k dvojitému bombovému útoku, bol Boston Marathon 2013. *Dvaja útočníci vykonali najväčší teroristický útok na pôde USA od 11. Septembra. V blízkosti cieľovej čiary odpálili dve silné výbušniny, pričom zabili troch ľudí a viac ako 500 ďalších zranili.* [18] Aj napriek rýchlej reakcii bezpečnostných a záchranných zložiek pri tomto podujatí zlyhala prevencia. Nedostatočné kontroly a minimálne monitorovanie podozrivých osôb prispeli k vzniku tragickej udalosti, na základe čoho zaviedli po celom svete prísnejšie bezpečnostné opatrenia. Ďalej je nutné spomenúť teroristický útok na vianočné trhy v Berlíne v roku 2016. Útočník uniesol nákladné vozidlo, s ktorým vrazil priamo do návštevníkov na Breitscheidplatz, kde zahynulo 12 ľudí a bolo vyše 50 zranených. Podobný incident sa stal v Štrasburgu v roku 2018, kde jednotlivec zaútočil na Christkindelsmäriku strelnou zbraňou a nožom. Zahynulo tu 5 civilistov a viac ako 10 bolo zranených. Tieto incidenty vyvolali nepokoj v Európe a sú dôkazom toho, že aj tradičné podujatia môžu byť cieľom násilných útokov. Spustilo to množstvo otázok, do akej miery sú bezpečnostné zložky schopné monitorovať rizikové osoby a udalosti a predchádzať podobným incidentom. Tieto prípady prispeli k zavedeniu väčších bezpečnostných opatrení ako napr. zvýšená prítomnosť polície a kontrolované vstupy.

Závažným útokom, ktorý sa zapísal do histórie teroristických útokov je aj Manchester 2017. Incident sa odohral na koncerte Ariany Grande, kde vo foyer arény bola odpálená podomácky vyrobená bomba, ktorá mala za následok smrť 22 osôb vrátane útočníka a zranenie približne 250 ďalších. Výbuch, ktorý bol dostatočne silný na to, aby zabil ľudí vo vzdialenosti až 20 metrov, spôsobil medzi divákmi rozsiahlu paniku. [19] Incident poukázal na výraznú zraniteľnosť kultúrnych podujatí, na ktorých sa zúčastňujú prevažne rodiny s deťmi. Prítomnosť najzraniteľnejších skupín obyvateľstva, ako sú deti, seniori či osoby so zníženou mobilitou, znásobila psychologický dopad útoku, vyvolala v spoločnosti pocit neistoty a traumatizovala nielen priamych účastníkov, ale aj širšiu verejnosť.

Bataclan Paríž 2015 bol jedným z najextrémnejších teroristických útokov. Koordinované strelecké útoky sprevádzané samovražednými bombovými atentátmi vykonanými na koncerte a v okolitých reštauráciách spôsobili straty na životoch vyše 130 civilistov. Útok viedol k zásadným zmenám v bezpečnosti vrátane monitoringu a zavedenia bezpečnostných bariér.

História hromadných podujatí poukazuje nielen na teroristické útoky, ale tiež biologické hrozby. Najlepším príkladom je Antrax 2001 v USA. Krátko po tragickom teroristickom útoku z 11. Septembra 2001 sa v Spojených štátoch začali objavovať listy obsahujúce antrax boli zaslané rôznym médiám a americkým senátorom, čo viedlo k nakazeniu dvadsiatich dvoch osôb a piatim úmrtiam. Antrax je život ohrozujúce ochorenie spôsobené baktériou *Bacillus anthracis*. Táto baktéria je neúnavná v tom, že keď nemá hostiteľa alebo je ohrozená extrémnymi teplotami, prechádza do latentného stavu a do štádia spór a v tomto stave môže prežiť, kým nepríde do kontaktu s novým hostiteľom. [20] Aj keď nešlo o útok realizovaný na hromadných podujatiach, poukazuje na to, ako môžu biologické hrozby narušiť a doslova ovplyvniť verejnosť.

Útoky a hrozby sa netýkajú však len západných krajín, ale často sa objavujú aj na našom území. Tragický teroristický útok jednotlivca v Prahe na Filozofickej fakulte v roku 2023 bol jedným z najtragickejších útokov v moderných dejinách Českej republiky. Študent tejto fakulty spáchal masovú strelbu na svojich spolužiakov pričom zomrelo 14 ľudí a desiatky ďalších boli zranení. Podobný incident sa stal rovnako na strednej škole na Slovensku, konkrétne v Spišskej Starej Vsi, kde študent usmrtil 2 ľudí a 1 vážne zranil. Tieto tragédie poukázali na nedostatočnú komunikáciu s bezpečnostnými zložkami a nedostatky v prevencii. Správanie oboch útočníkov bolo rizikové, no aj napriek tomu sa hrozby nepodarilo identifikovať a včas eliminovať. Masaker na Filozofickej fakulte prispel k zlepšeniu bezpečnostných protokolov na školách a k zavádzaniu cvičných evakuácií, ktoré na mnohých školách neboli realizované. Udalosti priniesli ponaučenie, že ochrana mäkkých cieľov nie je čisto iba o včasnej reakcii, ale predovšetkým o identifikácii hrozby a prevencii.

Existujú príklady, ktoré poukazujú na to, že aj mäkké ciele v menších mestách môžu byť ohrozené. Na Slovensku v roku 2010 útočník zaútočil strelnou zbraňou v obytnej časti Devínskej Novej Vsi a útok si vyžiadal 7 obetí, zatiaľ čo v Bratislave 2022 bol vykonaný útok pred LGBT+ barom a vyžiadal si 2 obeť. Je to jasná ukážka toho, že

hrozby môžu byť cielené, motivované ideológiou či nenávisťou a správaním jednotlivcov.

História poukazuje na fakt, že hrozby na verejných hromadných podujatiach sú rôzne. Úmyselné a teroristické útoky sú často kombináciou fyzických a psychologických faktorov jednotlivcov či skupín. Panika a biologické hrozby predstavujú riziká, s ktorými je nutné počítať už pri plánovaní hromadných podujatí a neskôr pri riadení bezpečnosti. Je jasné, že efektívna ochrana mäkkých cieľov vyžaduje kombináciu rôznych prvkov (napr. školenia, fyzické bariéry, bezpečnostné zložky v pohotovosti a evakuačné plány). Takto je možné riziko minimalizovať za účelom zachovania kultúrnych a spoločenských podujatí.

2.1.5 Význam a dôležitosť hrozieb mäkkých cieľov v mestskom prostredí

Tak ako bolo spomenuté v kapitolách vyššie, mäkké ciele, ako napr. verejné priestranstvá, hromadné podujatia, školy a dopravné uzly môžu predstavovať veľké riziko pre bezpečnosť v moderných mestách. Charakteristickým znakom je jednoduchý prístup civilistov, vysoká koncentrácia ľudí na obmedzenom priestore a nízka úroveň ochrany. História útokov poukazuje na to, že vzniknuté incidenty môžu spôsobiť značné straty na ľudských životoch spojené so zraneniami, ekonomické straty a psychologické traumy. Udalosti ako Berlín, Boston, Manchester a mnohé iné podčiarkujú, že hrozby zamerané na mäkké ciele nie sú relevantné čisto len na globálnej úrovni, ale aj v mestách, ako napr. Brno, kde je väčšia frekvencia hromadných podujatí s vysokým počtom návštevníkov. Brno ako druhé najväčšie mesto v Českej republike predstavuje stabilné centrum spoločenského diania, kde sa pravidelne konajú kultúrne festivaly, športové podujatia, univerzitné aktivity, tradičné trhy či mestské oslavy. Každá plánovaná akcia prináša určité riziko možných útokov, paniky či nehôd. Typickým príkladom s množstvom návštevníkov a úzkymi prechodmi sú vianočné trhy v historickom centre mesta. Aj relatívne malý incident, ako je panika spustená nečakaným hlukom či zranením, môže spôsobiť domino efekt vedúci k masovému úrazu. Toto riziko je najviac podceňované, no je pomerne nebezpečné, pretože je výsledkom neúmyselného útoku vzniknutého zo špatného navrhnutia priestoru, nekontrolovaného davu a jeho hustoty. Úmyselné útoky sú často kombináciou organizačných slabín a prostredím podujatia.

Biologické a chemické hrozby v súvislosti s mäkkými cieľmi nie sú len otázkou bezpečnostných opatrení, ale zahŕňajú širší rámec rizík, ktoré majú vážny dopad aj na zdravie verejnosti a odolnosť prostredia. Význam skúmania a analyzovania hrozieb vo veľkých mestách, ako je Brno, je umocnený špecifickou charakteristikou prostredia. Historické centrum Brna, rôzne kultúrne podujatia a veľké množstvo univerzitných kampusov znamenajú, že verejnosť sa pohybuje na priestranstvách s nízkou fyzickou ochranou. To si vyžaduje efektívnu ochranu a zároveň funkčnú koordináciu medzi bezpečnostnými zložkami a organizátormi podujatí s cieľom znížiť zraniteľnosť a zvýšiť pripravenosť na nežiaduce situácie. Kľúčovým prvkom je

včasná identifikácia, ktorá je možná vďaka moderným technológiám, ako sú kamerové systémy, komunikačné protokoly a monitoring. Tieto prvky napomáhajú predvídať možné incidenty a reagovať na možnú situáciu ešte pred jej rozvinutím do tragických následkov. Takéto opatrenia minimalizujú riziko vzniku vysokého množstva obetí a udržiavajú bezproblémový priebeh verejných podujatí.

2.2 Bezpečnosť a ochrana verejných priestranstiev

2.2.1 Definícia bezpečnosti

Ďalším pojmom, ktorý nemá jednotnú definíciu v dôsledku neustáleho vývoja spoločenských, politických a technologických podmienok, je bezpečnosť. V odbornej literatúre tento pojem nemá presné hranice, keďže ho autori (často bez presného vysvetlenia) definujú rôznym spôsobom. Baldwin vo svojej publikácii *The Concept of Security* (1997) popisuje bezpečnosť takto: *v objektívnom zmysle meria neprítomnosť hrozieb voči získaným hodnotám a v subjektívnom zmysle neprítomnosť strachu, že takéto hodnoty budú napadnuté. Bezpečnosť teda možno chápať ako nízku pravdepodobnosť poškodenia získaných hodnôt.* [21] Možno ju vnímať ako stav istoty, v ktorom sú hodnoty jednotlivcov alebo spoločnosti chránené pred ohrozením. Môžeme ju považovať za stav, v ktorom je systém schopný efektívne odolávať známym aj nepredvídateľným vonkajším a vnútorným hrozbám, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť jednotlivé komponenty alebo celý systém. [8] Bezpečnosť sa môže chápať ako relatívny pojem, čo znamená, že sa mení v závislosti od prostredia a rýchlosti reagovať na možné hrozby. Dnes sa bezpečnosť chápe nielen ako ochrana pred fyzickými útokmi, ale tiež ako schopnosť spoločnosti zvládať kybernetické útoky a prírodné katastrofy.

V histórii sa tento pojem používal najmä ako vojenský a politický pojem v súvislosti s ochranou štátu. V 70. až 80. rokoch 20. storočia sa vplyvom prepojenia krajín rozšíril pojem „rozšírená bezpečnosť“, ktorý sa nevzťahuje už iba k vojenským, ale tiež k ekonomickým, environmentálnym a sociálnym faktorom. Začiatkom 90. rokov sa koncept rozšíril o ľudskú bezpečnosť („human security“), ktorá zdôrazňuje ochranu života, zdravia a ekonomickej stability jednotlivcov. Existuje viacero úrovní na vnímanie bezpečnosti.



Obrázok 4: Rozdelenie bezpečnosti podľa úrovne a zamerania (Zdroj: vlastné spracovanie)

Trendom poslednej doby je tiež mestská bezpečnosť. Tá môže byť vnímaná ako kľúčová pre ochranu dopravných uzlov a spoločenských podujatí.

V spojitosti s mäkkými cieľmi má tento pojem svoj osobitný význam, pretože označuje verejne prístupné priestory alebo objekty poskytujúce služby, či vzdelávacie a zdravotné inštitúcie, ktoré nie sú primárne navrhnuté na ochranu, tá je spravidla sekundárna. Ako napísal Bennett (2007), *jedným z najväčších problémov pri ochrane mäkkých cieľov je práve to, že bezpečnosť nie je ich hlavným poslaním, a preto na ňu nie sú vyčleňované dostatočné finančné ani organizačné zdroje.*[2] Bezpečnosť teda predstavuje relatívny stav, ktorý sa mení v závislosti od hrozieb a prostredia, pričom jeho cieľom je udržiavať stabilitu a spoľahlivosť systému. Môžeme ju vnímať ako jednu z hodnôt spoločnosti, ktorá musí byť v rovnováhe s inými hodnotami, ako napr. spravodlivosť alebo prosperita. V spojitosti s mäkkými cieľmi to znamená, že aj keď je ochrana a bezpečnosť takýchto miest nevyhnutná, nemôžeme ju považovať za jedinú nadradenú hodnotu. Ak by sa tieto priestory úplne uzavreli alebo obmedzili ich prístupnosť, zvýšili by sme bezpečnosť, no na úkor ich skutočnej funkcie a teda poskytnúť voľne prístupné priestory pre verejnosť. Preto je potrebné nájsť rovnováhu medzi zabezpečením ochrany a zachovaním funkčnosti takýchto priestorov.

V súčasnosti sa bezpečnosť vníma komplexne. To znamená, že nezahŕňa iba predchádzanie hrozbám, ale aj pripravenosť a schopnosť efektívne reagovať na krízové situácie a rýchlo sa zotaviť po prípadných útokoch. Hlavnú úlohu hrá koordinácia záchranných zložiek so samosprávou alebo súkromným sektorom.

Z vyššie uvedeného môžeme konštatovať, že bezpečnosť je základným pilierom koncepcie ochrany mäkkých cieľov. Nie je to len jednorazový stav, ale neustála snaha o udržanie stability a prevenciu hrozieb. Zahŕňa všetky potrebné prvky, ako sú pripravenosť reakcie na útoky, preventívne opatrenia a tiež obnovu po nežiaducej situácii. Bezpečnosť umožňuje spoločnosti fungovať bez neprimeraného obmedzovania základných slobôd a zároveň znižuje zraniteľnosť verejných inštitúcií a civilistov. Predstavuje základ v koncepcii ochrany mäkkých cieľov keďže zahŕňa všetky potrebné prvky pre ich ochranu.

2.2.2 Prehľad riešení v zahraničí

V mnohých krajinách sveta sa v posledných desaťročiach stala bezpečnostná politika v spojitosti s mäkkými cieľmi kľúčovou témou. Vzhľadom k stúpajúcemu počtu vzniknutých incidentov páchaných na civilistoch, od teroristických útokov, cez kriminálne až po neúmyselné incidenty, si začali mnohé štáty uvedomovať zložitú bezpečnostnú výzvu, ktorým čelia. Preto kladú dôraz na rozvoj komplexných a koordinovaných bezpečnostných opatrení. Patria sem fyzické, právne a organizačné opatrenia, technologické nástroje a činnosť bezpečnostných zložiek.

V snahe reagovať na možný vznik rizík Európska únia prijala rôzne stratégie a akčné plány. Jedným z nich je aj akčný plán z roku 2017 *Action Plan to support the protection*

of *public spaces*, ktorý definuje jednotlivé kroky zamerané na odovzdávanie osvedčených postupov a nadobudnutých skúseností medzi členskými štátmi EÚ, zlepšenie právnych predpisov a spolupracovanie so súkromným sektorom pri ochrane verejných priestorov. Ďalšou zo zaujímavých stratégií je aj *Security by Design*, ktorej jedným z mnohých cieľov v urbanizme je navrhovať mestské prostredie tak, aby bolo bezpečné a pre život príjemné už od prvej fázy plánovania. V zahraničí sa postoj k riešeniu bezpečnostných opatrení líši na základe politického systému, technologického rozvoja a v neposlednom rade na skúsenostiach z historických udalostí, ktoré formovali jednotlivé štáty a ovplyvnili vnímanie rizík a potrebu ochrany verejnosti. Napriek tomu majú všetky krajiny spoločného menovateľa, a tým je snaha o minimalizovanie rizík pri zachovaní prístupnosti verejných priestranstiev.

1. Fyzické opatrenia

Základným pilierom bezpečnostných stratégií sú fyzické opatrenia, ktoré sa zameriavajú na obmedzenie prístupu potencionálnych útočníkov, čím sa snažia minimalizovať vznik incidentov a ich možné následky. Vo veľkých metropolách sú takéto opatrenia implementované do prostredia pomocou spevnených zábran, stĺpikov či kvetináčov, čo v urbanizme pôsobí nenápadne, vytvára vizuálne príjemný priestor a zvyšuje jeho bezpečnosť. Takéto bariéry teda môžu mať nielen funkčný, ale aj estetický charakter.

Prvým štátom, ktorý prijal rozsiahly bezpečnostný program, je Francúzsko. Paríž nainštaloval výsuvné bariéry proti vjazdu vozidlom na verejné priestranstvá, ako sú napr. vianočné trhy alebo Champs-Élysées. Betónové bloky a mobilné zábrany aplikovali rovnako aj na peších zónach, napr. Promenade des Anglais pre lepšie zabezpečenie a ochranu verejných miest. Veľmi podobné opatrenia zaviedlo aj Spojené kráľovstvo, kde osadili kovové bariéry so schopnosťou zadržať vozidlo o rýchlosti až 80 km/h. Štát fyzické prvky kombinuje s tzv. Hostile Vehicle Mitigation HVM, čo sú dizajnové bezpečnostné prvky chrániace priestory pred útokmi vozidlom. Britská agentúra NPSA uvádza: *je dôležité, aby naše okolie zostalo otvorené a prístupné a aby fyzické bezpečnostné opatrenia, ktoré sú navrhnuté na našu ochranu, boli integrované do prostredia a primerané identifikovanej hrozbe.* [22] Okrem pevných bariér sú často využívané aj mobilné bezpečnostné systémy, inštalované hlavne pri udalostiach s veľkým počtom návštevníkov, ako sú trhy a športové podujatia. Veľkou výhodou je možnosť aktivácie podľa potreby s cieľom reagovať cielene a efektívne, hoci nejde o trvalé riešenie. Dočasné ochranné prvky, je možno si pod nimi predstaviť prenosné kvetináče, aplikujú štáty ako je Nemecko počas vianočných trhov. V podobe kvetináčov sú navrhnuté preto, aby vizuálne nenarúšali historické centrá. Na takýchto opatreniach je vidieť, že aj jednoduché prvky prispievajú k zvyšovaniu bezpečnosti verejných priestorov bez obmedzovania pôvodných funkcií.

Dnes sa preto bezpečnostné prvky integrujú už do architektonických či urbanistických návrhov s cieľom vizuálne zachovať charakter priestoru a znížiť jeho

zraniteľnosť. Podľa Európskej komisie: *Mestské plánovanie a projektovanie môžu prispieť k ochrane verejných priestranstiev. Komisia vyzýva členské štáty a miestne orgány, aby túto iniciatívu podporili.* [23] Ide o aplikáciu už vyššie spomenutej stratégie Security by Design, ktorú je možné opísať aj ako snahu začleniť bezpečnostné prvky priamo do architektonického návrhu a nepridávať ich až dodatočne.

2. Technologické opatrenia

Rozvoj technológií v súčasnosti výrazne ovplyvňuje spôsob, akým mestá pristupujú k ochrane verejných priestranstiev. Inteligentné bezpečnostné systémy umožňujú včasnú detekciu a efektívnejšiu koordináciu medzi jednotlivými bezpečnostnými zložkami. Digitálne technológie, v prípade, že sú používané zodpovedne, môžu výrazne zlepšiť situačné povedomie, včasné odhalenie incidentov a rýchlu komunikáciu medzi záchrannými zložkami. Ich hlavnou úlohou je monitorovanie a detekcia potencionálnych hrozieb a pomáhajú zefektívniť reakcie na vzniknutú situáciu. V dokumente *A guide to key information on the protection of Public Spaces* Európska komisia uvádza že *je potrebné hľadať technické riešenia, ktoré môžu pomôcť urobiť verejné priestranstvá bezpečnejšími, a zároveň zachovať ich otvorený a verejný charakter.* [24] Najpoužívanejší technologický nástroj je videoanalytika a kamerové systémy. Môžu slúžiť na včasnú identifikáciu podozrivých osôb a činností, sledovanie pohybu a tiež rozpoznanie neobvyklého správania osôb v monitorovanom priestore. Videoanalytiku je možno definovať ako *analýzu video obsahu na vytvorenie vyhľadávacieho indexu alebo na automatické varovanie pred konkrétnymi udalosťami alebo činnosťami prostredníctvom kategorizácie predmetov alebo činností uvedených na videu.* [25]

Pri použití takýchto systémov sa znižuje potreba manuálneho dohľadu a fyzická prítomnosť bezpečnostných zložiek v miestach, kde sú chyby často spôsobované zlyhaním ľudského faktora, ako je napr. únava či nepozornosť. Tieto systémy zvyšujú efektívnosť monitorovania, spoľahlivosť detekcie rizikových situácií a sú nápomocné pri rozhodovaní na základe dátovo podložených analýz, čím prispievajú k presnejšiemu a rýchlejšiemu zásahu. Čoraz intenzívnejšie sa aplikujú aj senzorické siete, ktoré sú schopné detegovať neštandardné zvukové signály a netradičné pohybové vzorce. Spracovávajú takéto signály v reálnom čase, a tak sú schopné identifikovať potencionálnu hrozbu alebo nežiadúce správanie aj pri obmedzenej viditeľnosti. Sensorické siete poskytujú vizuálne výstupy a tým zvyšujú schopnosť včasnej reakcie. Skvelým príkladom sú technológie akustickej detekcie výstrelov, ktoré polícii poskytujú presnú polohu incidentu a skracujú tak reakčný čas. Pri hromadných podujatiach je trendom použitie detekčných dronov na monitorovanie vzdušného priestoru. Do technologických opatrení možno zaradiť aj systém včasného varovania a krízovej komunikácie, ktoré slúžia na informovanie verejnosti prostredníctvom integrovaných kanálov. Dokument NIST Technical Note 1779 uvádza že *mnohé budovy majú nainštalované systémy hromadného varovania alebo núdzovej komunikácie na základe požiadaviek stanovených v medzinárodných predpisoch a normách, ktoré môžu byť využité na šírenie informácií v prípade núdzovej*

situácie, a to prostredníctvom zvukových alebo vizuálnych oznámení. [26] Tento systém je potrebný hlavne pri evakuáciách, pričom zlepšujú koordináciu medzi mestom, záchrannými zložkami a obyvateľmi.

Výhodou technologických systémov je flexibilita a prepojenosť, čo poskytuje presné dáta v reálnom čase a efektívnu koordináciu medzi bezpečnostnými zložkami. Naopak, nevýhodou je ich implementácia, ktorá má veľké nároky na infraštruktúru a údržbu. Preto sa kladie dôraz nato, aby boli integrované už v štádiu navrhovania urbanistických plánov. Z vyššie uvedeného je zrejmé, že takéto opatrenia sú neoddeliteľnou súčasťou ochrany verejných priestranstiev a spolu s fyzickými prvkami vytvárajú viacvrstvový preventívny systém.

3. Bezpečnostné zložky

Bezpečnostné zložky sú hlavným pilierom ochrany obyvateľstva a verejných priestorov. Zabezpečujú koordináciu v prípade incidentu, dohľad a prevenciu proti vzniku nežiadúcich situácií. Medzi hlavné zložky patrí štátna polícia, v špeciálnych prípadoch ozbrojené sily, krízové tímy, mestská polícia, hasičské a záchranné zložky. V mnohých krajinách sú tieto zložky prepojené, navzájom spolupracujú a dopĺňajú sa v rámci uceleného systému.

a) Štátna polícia

Primárnou zodpovednosťou verejných policajných zložiek je zodpovednosť za ochranu verejného poriadku a vyšetrovanie trestných činností. V urbanizme sa často uplatňuje model *Community Policing*, čo je nástroj na prevenciu kriminality pomocou aktívneho zapájania komunit a verejnosti s cieľom identifikovať a aktívne riešiť problémy. Moderné bezpečnostné stratégie kladú dôraz na využívanie dátových nástrojov a analytických postupov. Používanie technologických systémov, ako sú analytika, kamerové systémy a modely, zlepšuje koordináciu zásahových jednotiek a urýchľuje ich reakciu na podnety z terénu.

b) Ozbrojené sily

Ozbrojené sily sú povolávané pri vážnych ohrozeniach, ako sú teroristické útoky, kde môžu zasahovať špeciálne ozbrojené jednotky. V Spojenom kráľovstve sa v takýchto prípadoch aktivuje program *Operation Tempere*, ktorý umožňuje nasadenie vojenských síl na podporu civilnej polície pri ochrane verejnosti a kritickej infraštruktúry. Vojaci pôsobia pod velením polície a ich úlohou je posilniť bezpečnostné kapacity štátu pri krízových situáciách.

c) Mestská polícia

Množstvo väčších miest zriaďuje obecnú alebo mestskú políciu, ktorá dozerá na poriadok v mestskej infraštruktúry a dopravných obmedzeniach. Tieto zložky často spolupracujú so štátnou políciou a pôsobia v oblastiach, kde kapacity štátnej polície nepostačujú. Ich výhodou je dobrá orientácia v miestnom prostredí, schopnosť rýchleho zásahu a operačná flexibilita.

d) Hasičské a záchranné zložky

Dôležitým prvkom sú hasičské a záchranné zbory, ktoré nezasahujú iba pri požiaroch, ale aj pri evakuáciách, chemických haváriách a hromadných nešťastiach. Nevyhnutnosťou je ich úzka spolupráca s políciou a záchrannou zdravotnou službou v rámci integrovaného záchranného systému (IZS). Hasičské záchranné zbory sú tiež zodpovedné za prevenciu a kontrolu dodržiavania požiarnej bezpečnosti pri hromadných podujatiach a v objektoch s veľkou koncentráciou osôb.

Koordinácia a spolupráca medzi týmito zložkami je kľúčová pre efektívne využívanie dostupných zdrojov a zvyšuje rýchlosť reakcie na udalosti. Je však nutné presne definovať kompetencie, komunikačné protokoly a systém riadenia. Pri neadekvátnej koordinácii môže dôjsť ku kolízií právomocí a neefektívnosti. Spoločne tvoria štruktúru, ktorá zabezpečuje komplexný dohľad a efektívne riadi riziká. V súlade s modernými princípmi ochrany verejných priestranstiev už nejde len o izolované akcie, ale o prepojený systém zložiek s jasným riadením a právnymi mechanizmami.

4. Právne a organizačné opatrenia

Pri ochrane verejných priestranstiev nestačia iba fyzické a technické opatrenia. Musia mať právnu štruktúru, byť pevne ukotvené v legislatívnych normách a tvoriť súčasť funkčnej štruktúry bezpečnostného riadenia. Takéto opatrenia zaručujú, že bezpečnostné kroky sú zákonné, efektívne realizované a zodpovedne riadené.

a) Právne opatrenia

Právne opatrenia vymedzujú kompetencie, regulujú činnosti bezpečnostných zložiek, definujú práva a povinnosti a ustanovenia pre efektívnu koordináciu medzi inštitúciami. Z pohľadu medzinárodnej spolupráce ide o schvaľovanie zmlúv, ako je napr. *Úmluva Rady Európy o prevencii terorizmu*, ktorý vyžaduje od členských štátov, aby vo vnútroštátnych právnych systémoch definovali a postihovali trestné činy súvisiace s podnecovaním k terorizmu, jeho financovaním či organizovaním výcviku. Základom je udržať rovnováhu medzi bezpečnosťou a ochranou práv občanov. Pri používaní sledovacích technológií a spracovaní veľkého množstva dát je nutné dodržiavať pravidlá ochrany jednotlivcov podľa GDPR. Úlohou právnych opatrení je zabezpečiť právne základy kritických rozhodnutí (napr. nasadenie potrebných prostriedkov), definovať zodpovednosť, hranice zásahov a kontrolné mechanizmy.

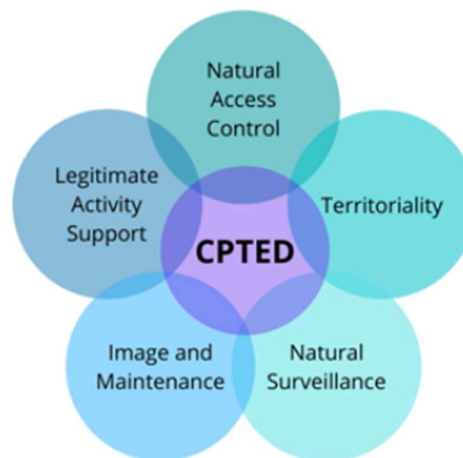
b) Organizačné opatrenia

Tieto opatrenia sú potrebné pre efektívne fungovanie právnych a technologických inštitúcií. Rozumieme pod nimi školenia, protokoly, organizačnú štruktúru, stanovenie zodpovedností a riadenie rizík. Podľa dokumentu *Guide to the Integration of Security Systems in Public Spaces* je na začiatku potrebné vytvoriť bezpečnostnú štúdiu a až následne vytvoriť organizačný rámec pre integrácie systémov. Efektívne zabezpečenie bezpečnosti si vyžaduje jasne stanovené kompetenčné rámce medzi jednotlivými aktérmi. Hlavnú úlohu zohráva mestská samospráva (predovšetkým odbory verejného poriadku), policajné zložky a záchranné služby. Rovnako dôležitá

je tiež spolupráca so súkromným sektorom a prevádzkovateľom verejných priestorov.

2.2.3 Koncept prevencie kriminality prostredníctvom environmentálneho (CTPED)

Pri ochrane verejných priestranstiev sa čoraz častejšie uplatňuje koncept CPTED (Crime Prevention Through Environmental Design), čo v preklade znamená prevencia kriminality prostredníctvom environmentálneho dizajnu. Jeho cieľom je zlepšovať kvalitu prostredia a znižovať kriminalitu spojením poznatkov z kriminológie, sociológie, architektúry a urbanizmu. Podľa International CPTED Association je tento koncept *multidisciplinárny prístup k prevencii kriminality, ktorý využíva urbanistický a architektonický dizajn a manažment zastavaného a prírodného prostredia. Stratégie CPTED sa zameriavajú na zníženie viktimizácie, odrádzanie páchatelov od rozhodnutí, ktoré predchádzajú trestným činom, a budovanie pocitu spolupatričnosti medzi obyvateľmi, aby mohli získať územnú kontrolu nad oblasťami, znížiť kriminalitu a minimalizovať strach z nej.* [27] Hlavnou myšlienkou je, že kvalitne navrhnuté prostredie môže minimalizovať množstvo nebezpečných situácií, zvyšuje prirodzený dohľad a tým ovplyvňuje správanie jednotlivcov či rizikových skupín. Rozdielom oproti tradičným bezpečnostným prístupom je, že CPTED sa zameriava na prevenciu už v počiatočnom štádiu návrhu.



Obrázok 5: Grafické znázornenie princípov CPTED [28]

Medzi kľúčové princípy tejto metodiky patria:

- **Kontrola prístupu** – spája vizuálne a fyzické prvky, ktoré usmerňujú pohyb vozidiel a osôb v priestore.
- **Prirodzený dohľad** – vizuálna kontrola verejných priestorov pomocou kvalitného osvetlenia a otvorenej architektúry pre lepšiu orientáciu, čím sa minimalizuje vznik „slepých miest“.
- **Podpora aktivity** – navrhnutie priestorov tak, aby podporovali aktívne, legálne a spoločenské využívanie priestorov.

- **Manažment a údržba** – zabránenie vzniku zanedbaných, znečistených a rizikových zón prostredníctvom pravidelnej údržby.
- **Územná podpora (Teritorialita)** – Odlišovanie verejného, súkromného a poloverejného priestoru.

Koncept CPTED spája funkčnú bezpečnosť s estetickým dizajnom prostredia. Bez narušenia charakteru priestoru zvyšuje jeho ochranu. V metropolách ako Sydney, Rotterdam alebo Londýn je CPTED neoddeliteľnou súčasťou plánovacích procesov. Ukázalo sa, že tento prístup je efektívny aj z ekonomického hľadiska, nakoľko znižuje vandalizmus a kriminalitu v mestách. V strednej Európe sa tieto prístupy začali postupne presadzovať aj na Slovensku a v Českej republike. Ministerstvo vnútra SR uvádza, že *je potrebné podporovať preventívne opatrenia prostredníctvom návrhu a plánovania verejných priestorov podľa zásad CPTED*. [7] Rovnako aj ČR ho zahrnulo do programu *Bezpečné mesto*, ktorý je zameraný na spoluprácu medzi samosprávou, architektmi a políciou. Je možné ho chápať ako komplexný prístup k bezpečnosti a spája všetky vyššie spomenuté kategórie opatrení do jedného celku.

Tieto opatrenia poskytujú jasnosť zodpovedností a kontrolu nad procesmi. Bez nich by technické systémy mohli byť nekoordinované, mohli by byť nekoordinované, neúčinné alebo dokonca zneužiteľné. Právne a organizačné prvky však čelia viacerým problémom. Jednou z nich je aj legislatíva, ktorá často nestíha reagovať na nové hrozby. Tie sa vyvíjajú rýchlejšie ako zákony. Vznikajú tiež konflikty medzi verejnou ochranou a rešpektovaním práv občanov. Dôležitým prvkom zostávajú pravidelné školenia personálu a častá aktualizácia bezpečnostných protokolov na základe skúseností zo vzniknutých incidentov. Iba kombináciou právnej istoty, organizačnej štruktúry, technologických a fyzických opatrení možno dosiahnuť efektívnu a legitímnu ochranu verejných priestranstiev v mestách.

2.2.4 Osvedčené príklady z praxe

Pre rozvoj moderných miest je potrebné využívať premyslené stratégie, ktoré chránia verejné priestory a zachovávajú estetické a spoločenské hodnoty prostredia. Mestá v Európskej únii aj mimo nej zavádzajú bezpečnostné systémy spájajúce rôzne ochranné prvky. Základom týchto stratégií je začlenenie bezpečnostných zásad už do územného plánovania a riadenia mestského prostredia v koncepte *Security by Design*.

Police Label Secure Housing – Holandsko

Už v 90. rokoch začalo Holandsko aplikovať koncept prevencie kriminality pomocou environmentálnych prvkov (stratégie CPTED). Rovnako štát používa program *Police Label Secure Housing*, čo je certifikovaný systém založený na bezpečnostných kritériách, ako už spomínané osvetlenie, kontrola vstupov atď. Je podložené že *riziko vlámania do obydľí sa výrazne znížilo: o 95 % v nových sídliskách a o 80 % v existujúcich prostrediach*. [29] Mestá ako Rotterdam a Amsterdam tieto kritéria používajú pri tvorbe verejných priestranstiev s cieľom odstrániť vizuálne bariéry. Dizajn

chodníkov, umiestnenie lavičiek a vegetácie sa navrhuje tak, aby nevznikali neprehľadné miesta. *Holandsko preukázalo, že opatrenia v oblasti environmentálneho dizajnu môžu mať významný preventívny účinok na mestskú kriminalitu a porušovanie verejného poriadku.* [30] Holandsko je na základe vyššie uvedeného krajina, ktorej sa podarilo bezpečnostné princípy zakotviť v legislatíve a právnych predpisoch. Dôraz je kladený na rovnováhu medzi kvalitou života v meste a bezpečnosťou.

Integrovaná ochrana mestského prostredia - Spojené kráľovstvo

Spojené kráľovstvo kombinuje architektonické riešenia s organizačnými a technologickými prvkami už dlhodobo. Agentúra NPSA uvádza, že ochrana verejných priestorov vyžaduje *harmonickú integráciu bezpečnostných prvkov do prostredia bez narušenia jeho funkčnosti.* [24] Po teroristických útokoch v Londýne (2005) a v Manchestri (2017) boli do viacerých miest inštalované pokročilé kamerové systémy, výsuvné stĺpiky a bezpečnostné bariéry pre rýchlejšiu reakciu a vyššie zabezpečenie priestoru. Známym projektom je tiež *Project Servator*, ktorý prepája prítomnosť hliadok s analytickými dátami z kamier. Tento model sa osvedčil aj pri masových podujatiach, ako sú športové zápasy či kráľovské oslavy. *Contest 2021* popisuje, že tieto opatrenia prispeli k lepšej prevencii útokov na zhromaždeniach a podujatiach. Viaceré štvrte v celej krajine začlenili ochranné prvky v podobe kvetináčov, lavičiek a osvetlenia priamo do bezpečnostného dizajnu tak. Britský systém tak poukazuje na fakt, že dlhodobá udržateľnosť opatrení závisí od zapojenia týchto prvkov do mestského plánovania a bežného pohybu obyvateľov.

Participatívny model a dôraz na prevenciu - Švajčiarsko

Švajčiarsky model uprednostňuje koordináciu, participáciu a dôveru medzi bezpečnostnými zložkami, obyvateľmi a samosprávou. Ich model ochrany stojí na integrovanom riadení rizík a odolnosti infraštruktúry. Kladú dôraz na prevenciu a koordináciu. Prácu z rizikom Federálny úrad pre civilnú ochranu popisuje takto: *Riziká, ktoré sa považujú za neprijateľné, musia byť znížené vhodnými opatreniami. Určitá úroveň zvyškového rizika je však nevyhnutná a musí byť akceptovaná.* [31] Tento prístup umožňuje použiť bezpečnostné opatrenia také, ktoré znížia hrozbu a zachovávajú otvorenosť verejného priestoru. Mesto Zürich vo svojich plánoch do roku 2040 medzi bezpečnostné ciele zaradil právo na využívanie verejných priestorov bez obmedzení. *Ludia, ktorí v meste bývajú, pracujú alebo tam trávia svoj voľný čas, majú právo na nediskriminačné využívanie verejného priestoru.* [32] V stratégii je tiež zahrnuté *Ohrozenia a riziká, ktoré by mohli viesť ku kríze alebo katastrofe s dopadom na mesto alebo celú správu, sa pravidelne analyzujú a realizujú sa opatrenia na posilnenie odolnosti.* [32] V národnom rámci sa Švajčiarsko už mnoho rokov zapája do koordinovaného boja proti terorizmu v spolupráci s domácimi aj medzinárodnými bezpečnostnými zložkami. Švajčiarsky model predstavuje alternatívu k „tvrdým“ bezpečnostným riešeniam, pričom uprednostňuje dlhodobú prevenciu, zodpovedné plánovanie a spoluprácu s komunitou.

Program bezpečné mesto – Česká republika

Česká republika za ostatnými krajinami EÚ nezaostáva a dlhodobo rozvíja program Bezpečné mesto. Ide o systém prevencie kriminality založený na koordinácii mesta s komunitnými organizáciami, políciou, školami a sociálnymi službami. *Do systému prevencie kriminality sú zapojené orgány samosprávy, polícia, školy, neziskové organizácie, sociálne služby, domovy detí a mládeže, centrá voľného času a ďalší poskytovatelia služieb.* [33] Projekt bol pilotne spustený v mestách Plzeň, Sokolov a Ostrava a postupne bol rozšírený do ďalších miest. Základom projektu je koordinačná dohoda mesta s políciou, kde budú jasne stanovené kompetencie, zodpovednosti a spôsoby komunikácie jednotlivých zložiek. Súčasťou musia byť naplánované osvetové kampane, modernizácia technologických opatrení, práca s rizikovou skupinou ľudí a v neposlednom rade preventívne akcie. Projekt nevytvára nové fyzické bariéry no posilňuje pripravenosť bezpečnostných zložiek a komunikáciu medzi nimi.

Strategické smerovanie a prvé implementácie – Slovenská republika

Slovenská republika sa snaží prepojiť bezpečnostnú politiku s územným rozvojom a prevenciou proti kriminalite. Prijatie dokumentu *Stratégia prevencie kriminality a inej protispoločenskej činnosti v Slovenskej republike do roku 2028*. Cieľom je vytvoriť bezpečné prostredie pomocou vedeckých poznatkov a spoločenskej spolupráce. Mestá ako Trnava alebo Nitra zavádzajú pilotné projekty zamerané na modernizáciu osvetlenia, kamerové systémy a podporu komunitných iniciatív. Tieto kroky dokazujú, že aj Slovensko postupne prechádza na systémové riešenia spájajúce technológie, urbanizmus a prevenciu.

Vyššie uvedené príklady ukazujú, že efektívna ochrana verejných priestranstiev si vyžaduje prepojenie viacerých bezpečnostných opatrení na rôznych úrovniach. Holandsko spolu so Švajčiarskom sú dokonalým príkladom využívania CPTED v urbanizme, zdôrazňujú, že plánovanie a prevencia sú základom efektívnej ochrany obyvateľstva. Spojené kráľovstvo poukazuje na vyváženosť pri používaní fyzických a technologických opatrení, zatiaľ čo Česká republika si zakladá na organizačnej a komunitnej prevencii. Slovensko rozvíja koordinačné modely a snaží sa zapojiť bezpečnostné princípy priamo do dizajnu miest. Najefektívnejšie sú také stratégie, ktoré prepájajú dizajn s bezpečnosťou, čím prispievajú k tvorbe odolného, otvoreného a dôveryhodného mestského prostredia.

2.2.5 Záver a odporúčania

Z uvedených príkladov je zrejmé, že ochrana verejných priestranstiev musí byť súčasťou komplexného systému riadenia bezpečnosti a nemôže využívať iba jednotlivé opatrenia. Tento systém efektívne prepája legislatívu s plánovaním a modernými technológiami. Skúsenosti z Európy poukazujú na to, že najúčinnnejšie sú stratégie, ktoré spájajú princíp *Security by Design* s konceptom CPTED, pričom nevyhnutnou podmienkou je úzka spolupráca samospráv. V európskych krajinách

je evidentná zmena, ktorá smeruje od pasívneho reagovania na vzniknuté situácie k aktívnemu predchádzaniu problémom. V minulosti sa problémové situácie riešili pomocou fyzických či technických zásahov. V súčasnosti vyspelejší a modernejší prístup kladie dôraz na integrované plánovanie. Kombinuje urbanizmus, architektúru so sociálnymi a právnickými aspektami.

Zásadnú úlohu zohráva samospráva, ktorá spája súkromný a verejný sektor. Rozvojom krajiny, ktorá postupne implementuje bezpečnostné prvky ako neoddeliteľnú súčasť mestského rozvoja, je aj Slovensko. Napriek absencii jednotného legislatívneho rámca pre bezpečnosť verejných priestranstiev sa v praxi čoraz častejšie uplatňujú opatrenia, ako sú inštalácia kamerových systémov, modernizácia osvetlenia a obnova mestských priestorov. Uvedené opatrenia reflektujú princíp prevencie kriminality prostredníctvom zmeny dizajnu a vytvárajú bezpečné a otvorené priestranstvá, ktoré podporujú verejné väzby a dôveru obyvateľov. Možno konštatovať, že úspech bezpečnostných stratégií čiastočne závisí na prispôbovaní európskych princípov jednotlivých miest lokálnym podmienkam.

Dôležitým a veľmi významným prvkom je vzdelávanie v oblasti bezpečnosti a plánovania, zdieľanie skúseností medzi jednotlivými mestami a využívanie odborných analýz na hodnotenie rizík. Budúci rozvoj v tejto oblasti by sa mal zameriavať na zakotvenie princípov *Security by Design* do národných predpisov a metodík v územnom plánovaní. To umožní nevnímať verejnú ochranu iba ako dodatočné opatrenie, ale ako prirodzenú súčasť plánovania. Cieľom by malo byť vytvorenie takého prostredia, ktoré je odolné a zároveň prístupné. Prostredie, v ktorom je bezpečnosť neoddeliteľne spojená s kvalitou života.

2.3 Psychológia davu a evakuácia

2.3.1 Definícia a charakteristika davu

Vo vedeckej literatúre je pojem „dav“ chápaný ako špecifická sociálna forma. Nejde len o náhodné zhromaždenie viacerých osôb na jednom mieste, ale o situáciu, v ktorej sú aktivované mechanizmy, zásadne meniace správanie jednotlivcov. *Masové alebo davové správanie sa vzťahuje na správanie, ktoré sa prejavuje na úrovni skupiny a naznačuje, že davy sa správajú odlišne ako jednotlivci.* [34] V praxi to znamená, že po vstupe do skupiny sa správanie jednotlivca môže zmeniť. Nejde len o fyzickú prítomnosť medzi ľuďmi, ale o to, že skupina do istej miery ovplyvňuje jeho myslenie a rozhodovanie.

Psychológia davu sa začala skúmať koncom 19. storočia. Jej hlavným predstaviteľom bol Gustave Le Bon, ktorý vo svojej štúdii *Psychologie des foules* (Psychológia davu) uvádzal, že dav stráca individuálnu zodpovednosť, anonymitu a sugesciu. *Pre dav je charakteristická iracionalita – jeho správanie je riadené vášňami a inštinktmí. Le Bonov prístup bol pomerne dramatický. Vnímal dav ako akúsi „zrubu civilizácie“, v ktorom jednotlivec „klesá o niekoľko priečok“ na rebríčku civilizovaného správania.* [35]

Postupne sa však objavili teórie, ktoré jeho pohľad dopĺňajú. Podľa Druryho teórie ľudia v dave nestrácajú svoju identitu úplne, ale prechádzajú zo stavu „ja“ do stavu „my“, teda k spoločnej sociálnej identite. Správanie davu v takýchto situáciách možno interpretovať ako organizované a významovo podložené, nie výlučne ako iracionálne či deviantné. Skupinová dynamika často odráža spoločné ciele, emócie a reakcie na konkrétny podnet, čo umožňuje chápať kolektívne konanie ako logickú odpoveď na dané okolnosti.

Vytvoriť jednotnú definíciu pojmu „dav“ je náročné vzhľadom k existencii viacerých typov zhromaždení s rozličnou intenzitou sociálneho vplyvu. *Dav je skupina, v ktorej jednotlivci konajú sociálne jednotným spôsobom bez zjavného predchádzajúceho plánovania, komunikácie alebo riadenia.* [35] Zo súčasnej literatúry vyplývajú viaceré charakteristiky, ktoré sú typické pre správanie davu.

Anonymita a znížená individuálna identita

Po vstupe jednotlivca do davu často dochádza k oslobodeniu individuálneho vedomia. Jednotlivec prestáva vnímať svoju jedinečnosť, cíti sa menej viditeľný a tým aj menej zodpovedný. Tento pocit anonymity môže viesť k uvoľneniu vnútorných zábran a k správaniu, ktoré by si v individuálnom kontexte nedovolil. Teória „deindividuation“ uvádza *Ľudia, ktorí sú súčasťou davu, sa často správajú menej ako jednotlivci a viac ako súčasť skupiny. Táto schopnosť splynúť s ostatnými môže viesť k tomu, že si osvoja správanie ľudí vo svojom okolí. Ich individualita sa vytráca a v istom zmysle sa stávajú anonymnými.* [36] Zníženie sebareflexie a vyššia miera sugescie sú faktory, ktoré zásadne formujú konanie jednotlivca v skupinovom kontexte.

Ovplyviteľnosť a šírenie emócií

V dave sa emócie, ako úzkosť, strach, nadšenie či agresivita, šíria rýchlejšie. *Contagion theory* zdôrazňuje, že emócie a impulzy sa môžu prenášať medzi členmi davu často bez plnej vedomej kontroly. Skupinová dynamika umožňuje, šírenie emócií a konania medzi členmi, čím sa individuálne správanie prelína do spoločného prežívania. Napríklad zvýšená hustota, prítomnosť stresového stimulu či nejasnosť situácie zvyšujú pravdepodobnosť, že dav bude reagovať intenzívnejšie než jednotlivci samostatne.

Znížená racionálnosť / zvýšený impulzívny charakter

Tradičné modely, ako Le Bonov, tvrdili, že dav je pôsobisko iracionality, „civilizovaný“ jedinec sa v dave mení na „barbara“, kde prevládajú pudy nad rozumom. Aktuálne výskumy poukazujú na to, že správanie davu nemusí byť nevyhnutne impulzívne či deštruktívne. Naopak, v prípadoch, keď je prítomná silná sociálna identita, môže mať kolektívne konanie aj racionálny, koordinovaný a cieľavedomý charakter.

Dynamika zhromaždenia – rýchle premeny a štruktúrovanie

Dav nie je statický; prechádza neustálymi premenami. Možno definovať fázy od „mustering“ (zhromažďovanie) cez „milling“ (očakávanie a hromadenie) až po fázu aktívnej reakcie (napr. útek alebo evakuácia). Prítomné sú faktory ako hustota, mobilita, usporiadanie priestoru, stimuly a individuálne vnímanie, ktoré ovplyvňujú, či dav zostane pokojný alebo sa radikalizuje. [35] Výskum hovorí, že v nejasných situáciách majú jednotlivci v skupinovom prostredí tendenciu rýchlejšie prijímať kolektívne formy správania, vrátane zdieľania spoločnej identity, emocionálnych impulzov a spoločných reakčných vzorcov.

V rámci výskumu sa rozlišujú rôzne typy davov podľa ich cieľa a správania. Je to dôležité aj z hľadiska bezpečnosti a simulácií. Napriek tomu, že presné rozdelenie sa líši, možno poukázať na niekoľko všeobecných kategórií:

- **Konvenčný dav** (*conventional crowd*) – napr. diváci na vystúpení, zhromaždení, ktorí majú stabilné správanie.
- **Expresívny dav** (*expressive crowd*) – zhromaždenie, kde účastníci vyjadrujú emócie, napr. náladu, protest, oslava.
- **Účelový alebo aktívny dav** (*acting crowd*) – dav, ktorý má v úmysle vykonať určitú akciu, napr. protest, sprievod, evakuácia.

Toto rozdelenie umožňuje lepšie chápať, že správanie „davového“ typu je závislé od účelu, motivácie a kontextu. [35]

Typ davu	Charakteristika	Príklad správania	Rizikové faktory pri evakuácii
Náhodný dav	Radíme sem len náhodnú skupinku ľudí bez spoločného cieľa zdieľajúcich rovnaký priestor.	Ľudia na stanici, metre, námestí, obchodnom centre.	Riziko-nízke , Chaos vzniká až po prepuknutí podnetu (strelba, požiar, výbuch)
Konvenčný dav	Zhromaždenie ľudí za istým cieľom s plánovanou organizáciou.	Diváci v kine, koncerte, verejnom podujatí	Riziko-stredné Reakcie sú závislé na organizácii a jasnosti únikových ciest
Únikový dav	Skupina ľudí ktorých jasným cieľom je uniknúť z nebezpečnej situácie	Ľudia pri evakuácii z budovy pri požiari, výbuchu inej hrozbe	Riziko-extrémne vysoké- vznik paniky, nátlak, chaos, Blokáda únikových ciest
Účelový dav	Dav vyvíjajúci konkrétnu činnosť-positívnu alebo deštruktívnu	Protest, rabovanie, panicky útek	Riziko-vysoké Impulzívne reakcie, tlak, kolízia, možné zranenia
Expresívny dav	Dav ktorý sa spoločne emocionálne vyjadruje	Nábožensky pochod, demonštrácia Zhromaždenie po tragédii	Riziko-zmeny nálady môžu spustiť paniku

Tabuľka 2: Charakteristika typov davu a ich rizikových faktorov pri evakuácii (Zdroj: vlastné spracovanie)

Je nutné chápať rozdiel medzi správaním jednotlivca a správaním davu, predovšetkým pri krízových situáciách. Jednotlivci obvykle disponujú vyššou mierou sebareflexie, osobnej zodpovednosti a možnosti samostatného rozhodovania. V prípade ohrozenia dokážu reagovať pohotovo, analyzovať situáciu, prijať rozhodnutie, konať nezávisle od okolia.

Naopak, dav býva ovplyvnený faktormi, ako sú anonymita, zvýšený emocionálny tlak a zdieľaná sociálna identita. Ľudia, ktorí sú súčasťou davu, majú väčšiu predispozíciu k sledovaniu správania ostatných (tzv. herding behavior), pričom sa riadia skupinovými vzorcami a v stave ohrozenia môžu konať menej racionálne. To môže viesť k pomalšej reakcii či dokonca k zahlteniu únikových ciest. Pri plánovaní evakuácie je preto potrebné rozoznávať rozdiely v správaní ľudí, aby bolo možné navrhnúť efektívne opatrenia (napr. usmernenie davu, vytváranie jasných výziev, „pokračujte týmto východom“) môže výrazne zvýšiť efektivitu úniku. Bez hlbšej znalosti týchto mechanizmov by sa plánovanie mohlo zamerať len na individuálnu reakciu a ignorovať skupinové mechanizmy, čo by v praxi mohlo viesť k menej efektívnej evakuácii.

Dav teda nepredstavuje iba náhodnú masu ľudí, ale sociálno-psychologický jav, v ktorom sa jednotlivci správajú odlišne, než by sa správali mimo skupiny. Vplyv okolitého prostredia, emócií a spoločnej identity môže výrazne zmeniť rozhodovanie, vnímanie rizika či ochotu spolupracovať. V dave sa často aktivujú mechanizmy napodobňovania, zdieľania emócií a kolektívneho konania, ktoré by jednotlivci za bežných okolností neprejavili.

Vývoj teórií od Le Bona až po moderné prístupy sociálnej identity ukazuje, že správanie davu môžeme chápať ako zmysluplné a organizované, nie výlučne patologické či chaotické. V konečnom dôsledku je rozdiel medzi správaním jednotlivca a správaním v dave podstatný, najmä pri evakuácii, kde sa musia brať do úvahy kolektívne mechanizmy, nie len individuálne reakcie.

2.3.2 Faktory vyvolávajúce paniku a typy reakcií ľudí

Psychológia davu je základom pre pochopenie správania jednotlivcov v situáciách ohrozenia. V takýchto momentoch dochádza k výraznému posunu vo vnímaní reality, v spôsobe rozhodovania a v následnom konaní. Ľudia pod vplyvom davu často reagujú impulzívne, intuitívne a menej racionálne, než by konali samostatne. V súvislosti s evakuáciou je nutné porozumieť, ktoré faktory môžu viesť k panike a aké typy reakcií možno očakávať. Paniku je možné popísať ako emocionálny stav vznikajúci ako reakcia na náhlu neočakávanú hrozbu, pričom úzko súvisí so strachom, neistotou a pocitom straty kontroly. V týchto momentoch sa u jednotlivcov aktivujú pudové reakcie, ktoré môžu viesť k impulzívnemu správaniu, dezorientácii či iracionálnym rozhodnutiam. Takýto prejav paniky má zásadný vplyv na priebeh evakuácie. Môže narušiť koordináciu, preťažiť únikové cesty, vyvolať chaos a ohroziť životy. Na druhej strane, pochopenie psychologických mechanizmov paniky umožňuje navrhnúť efektívnejšie stratégie krízovej komunikácie, riadenia

davu a bezpečnostných opatrení, ktoré minimalizujú riziko a podporujú pokojné a organizované správanie v kritických situáciách.

Faktory vyvolávajúce paniku

Pojem panika je z hľadiska psychológie stav náhleho, silného strachu, ktorý vedie k iracionálnemu správaniu a strate sebakontroly. Môže ju vyvolať spojenie psychologických a environmentálnych stimulov (napr. výpadok svetla, dym, hluk). Pri vysokej hustote môže vzniknúť tzv. sociálna nákaza, charakterizovaná rýchlym šírením emocionálnych podnetov prostredníctvom neverbálnej komunikácie, ktoré predchádza racionálnemu spracovaniu informácií. *Dav je vedený takmer výhradne nevedomím* (Le Bon). Prevenciu je preto nutné stavať na modeli *FIST Spoločlivá komunikácia v reálnom čase medzi osobami zodpovednými za riadenie davu a autoritatívna komunikácia s davom sú tiež kľúčovými prvkami pri znižovaní rizika potenciálne smrteľných davových incidentov. Tieto stratégie zároveň predstavujú najmenej nákladný spôsob, ako predchádzať katastrofám spôsobeným davom.* [37] V dave s extrémnou hustotou sa človek stáva súčasťou „masy“, čo možno chápať ako stratu kontroly nad vlastným pohybom a hrozí mu udusenie či stlačenie. Medzi najvýznamnejšie psychologické faktory vyvolávajúce paniku patrí:

- **Strach a neistota** – ľudia konajú impulzívne, najmä v prípadoch ak sa cítia ohrozený a bezmocný.
- **Strata kontroly** – ak jednotlivec nadobudne dojem, že nemá kontrolu nad dianie, narastá v ňom stres a úzkosť.
- **Sociálna nákaza** – v kolektíve sa emócie šíria mimoriadne rýchlo, prostredníctvom mimiky a gest, často bez vedomého spracovania informácií.

K vonkajším faktorom patria predovšetkým:

- **Hluk a zmätok** – narúšajú schopnosť orientácie a zvyšujú pocit ohrozenia.
- **Znížená viditeľnosť a orientácia** – znemožňuje logické uvažovanie a rozhodovanie.
- Vyššie spomínaná zvýšená hustota osôb

V podmienkach vysokej koncentrácie ľudí často vzniká neistota a človek sa tak prestáva správať ako izolovaný jednotlivec a začína napodobňovať správanie ostatných, čím sa aktivuje reťazová reakcia úteku, prejav kolektívnej paniky.

Davové správanie

Najznámejším autorom, ktorý analyzoval systematické správanie davu bol Gustave Le Bon v roku 1895. Tvrdil že dav je nepredvídateľný, impulzívny a riadi sa skôr pudmi než rozumom. Ako už bolo spomenuté, jednotlivci sa v dave vzdávajú osobnej identity a morálnej zodpovednosti, čo vedie k psychologickému anonymite. Gustave Le Bon rozdelil davové správanie do troch stupňov.

1. Fáza napätia a vzrušenia - Vplyvom stresu dochádza k poklesu sebadôvery, nárastu obáv a zníženej schopnosti objektívneho uvažovania.

2. Fáza infekcie a sugescie - Emócie sa v sociálnych skupinách šíria mimovoľne ako „nákaza“ a tým vzniká jednotná dynamika v skupine.

3. Fáza davovej psychózy - *Dochádza k úplnej strate kontroly a morálnych zábran.*[38] V tejto fáze často vzniká nekontrolovateľná panika čo môže viesť až k neúmyselným incidentom.

Elias Canetti popisuje dav (masu) *ako prirodzenú jednotku ľudskej existencie, ktorá je zložená z jedincov, ktorý sa do masy formujú prirodzene, napríklad na základe emocionálneho pôžitku.* [38] Dav je schopný vyvolať pocit slobody a moci, no zároveň podporuje nepredvídateľné a impulzívne správanie.

Sigmund Freud sa vo svojich záveroch do veľkej miery zhoduje s Le Bonom. Dav charakterizuje ako masu, ktorá je *vznetlivá, impulzívna, nerozhodná a pritom vo svojich činoch schopná krajností, mimoriadne ľahkomyselná a ľahko ovplyvniteľná, bez sebavedomia, sebaúcty a pocitu zodpovednosti, ale ochotná nechať sa svojím vedomím zviest' ku všetkým zločinom, aké je možné očakávať iba od nejakej absolútnej a nezodpovednej moci.* [38] Freud konštatuje, že *u jednotlivca vnútri masy často dochádza pod jej vplyvom k hlbokej premene jeho duševnej činnosti.* [38]

Neil Smelser Le Bonovu a Freudovu teóriu neskôr rozvinul v rámci svojej štúdiu kolektívneho správania. Paniku definoval ako napätie a nedostatok sociálnej kontroly.

Všetky tieto prístupy spája spoločná predstava o davovom správaní. Je iracionálne a nepredvídateľné. Autori vychádzajú z presvedčenia, že v dave všetci strácajú individualitu a často majú primitívne správanie, ktoré znižuje schopnosť racionálne konať.

Moderné teórie reakcií davu

V súčasnosti, sa psychológia výrazne odlišuje od tradičných predstáv, ktoré dav popisovali ako iracionálny, nepredvídateľný a chaotický. Dnes je chápaný ako celok s vnútornou štruktúrou, je zmysluplný a vychádza zo zdieľanej identity. Tá zohráva zásadnú úlohu pri jednotlivých reakciách v krízových situáciách. Moderné výskumy poukazujú na to, že ľudia nekonajú náhodne, ale koordinovane, v súlade s hodnotami a cieľmi skupiny, ktorej sú súčasťou.

Jedným z kľúčových konceptov, ktoré posunuli chápanie davového správania, je Sociálny model identity pri správaní davu (SIMCB). Tento model definoval Stephen Reicher (1984) a neskôr ho postupne rozvíjali Drury, Templeton a Stott (2009 – 2020). SIMCB predpokladá, že správanie v dave nie je výsledkom straty individuálneho rozumu, ale prejavom kolektívneho vedomia. V rámci skupiny sa vytvára spoločná definícia situácie, ktorá priaznivo ovplyvňuje rozhodovanie, reakcie a vzájomnú

pomoc. Vďaka tomu sa dav správa predvídateľne, pokiaľ má prístup k informáciám a dôveruje autoritám. Panika, kedysi považovaná za automatickú reakciu na stres, sa dnes chápe skôr ako dôsledok narušenia komunikačných kanálov, nedostatku koordinácie alebo straty dôvery. Ak ľudia nemajú jasné pokyny alebo sa cítia ignorovaní, ich správanie sa odkloní od kolektívneho smerovania a postupne prechádza do individuálnych obranných mechanizmov. V takýchto prípadoch sa oslabuje pocit spolupatričnosti, čo vedie k nekoordinovanému správaniu.

Pozorovania evakuácií a hromadných nešťastí poukázali nato, že ľudia v dave často prejavujú solidaritu a schopnosť spolupracovať. Vzniká spontánna sieť podpory, kde jednotlivci zdieľajú spoločný cieľ a to je bezpečne sa dostať z ohrozenia. Tento typ správania spochybňuje stereotyp o „masovej panike“ a naznačuje, že dav môže byť stabilný a konštruktívny, ak sú splnené základné podmienky dôvery a komunikácie. Hlavným prvkom pri riadení davu je teda efektívna komunikácia. Dôvera a zapojenie verejnosti do procesu rozhodovania znižujú riziko paniky a podporujú kolektívne riešenia. Naopak, ak sa ľudia cítia vylúčení, nepochopení alebo manipulovaní, dochádza k oslabeniu skupinovej identity, čo môže viesť k nekoordinovanému a chaotickému správaniu. Tieto poznatky majú významné dôsledky pre krízový manažment, organizáciu podujatí a bezpečnostné stratégie.

Davová psychóza a masová panika

Oba pojmy patria medzi najzávažnejšie psychologické javy, ktoré veľakrát nepriaznivo ovplyvňujú evakuáciu a môžu viesť k fatálnym a nechceným následkom. Aj keď sa tieto pojmy často zamieňajú, z odborného hľadiska ide o dva rozličné mechanizmy správania.

Masová panika vzniká ako bezprostredná reakcia na vnímané nebezpečenstvo, napríklad požiar alebo výbuch, a prejavuje sa impulzívnym, nekoordinovaným správaním jednotlivcov, ktorí sa snažia uniknúť z ohrozeného priestoru.

Davová psychóza má oproti tomu dlhodobejší a viac sociálny charakter. Ide o stav, keď sa v skupine šíri silná emocionálna odozva alebo presvedčenie, ktoré nie je vždy založené na reálnej hrozbe. Môže vzniknúť postupne, napr. z fám, dezinformácií či kolektívneho strachu, často vedie k iracionálnym, spoločensky zosilneným reakciám.

	Masová panika	Davová psychóza
Trvanie	Krátkodobé, náhle	Dlhodobé, postupné
Spúšťač	Konkrétna hrozba	Abstraktná, neexistujúca hrozba
Emócia	Intenzívny strach	Zdieľané bludy, iracionálne presvedčenie
Správanie	Útek, chaos, impulzívna reakcia	Skupinové presvedčenie, ideologické správanie
Príklad	Panika v dave počas evakuácie	Hromadná viera v konšpiračnú teóriu

Tabuľka 3: Porovnanie masovej paniky a davovej psychózy (Zdroj: vlastné spracovanie)

Z pohľadu fyziológie je panika výsledkom automatickej stresovej reakcie organizmu, známej ako mechanizmus „boj alebo útek“. Táto reakcia sa spustí pri náhlom pocite ohrozenia a pripraví telo na okamžitý útek alebo obranu. Je to stav, často dočasne oslabujúci racionálne uvažovanie, v dôsledku toho že telo uprednostňuje rýchle inštinktívne konanie pred analytickým rozhodovaním. V dave, kde sa táto reakcia synchronizuje medzi stovkami ľudí, sa vytvára slučka: jeden človek začne utekať, ostatní to interpretujú ako signál ohrozenia, čo vyvolá reťazovú reakciu. Takto vzniká reťazová reakcia, pri ktorej sa stresová odpoveď šíri medzi jednotlivcami ako vlna. Výsledkom je kolektívne správanie, ktoré sa samo posilňuje: čím viac ľudí reaguje panicky, tým väčší tlak na ostatných, aby sa pridali. Tento jav môže viesť k nekontrolovateľnému chaosu, aj keď pôvodná hrozba bola minimálna alebo neexistujúca.

Hlavným rozdielom je aj časový vývoj a zdroj spúšťača. Zatiaľ čo masová panika vzniká v dôsledku priameho ohrozenia náhle a trvá krátko, davová psychóza sa rozvíja postupne, veľakrát bez vonkajších podnetov, môže trvať dlhší čas a ovplyvniť správanie celého davu. Ide o sociálny mechanizmus, v ktorom sa kolektívne správanie formuje okolo dominantného emocionálneho vzorca, ako je strach, hnev či nenávisť. Tento stav popísal už Le Bon vo svojej práci *Psychológia davu*. Z odborného hľadiska je podstatné, že oba psychologické javy majú fyzický prejav ako napr. zrýchlený pohyb, strata koordinácie a zvýšený hluk. Z hľadiska riadenia evakuácie sa neodporúča označovať situáciu pojmom „panika“, ale analyzovať podmienky, ktoré ju spôsobili.

Zhrnutie a implikácie pre evakuáciu

Panika ako psychologický jav nevzniká spontánne, ale v dôsledku kombinácie emocionálnych, sociálnych a fyzických faktorov. Kým staršie teórie zdôrazňovali iracionalitu davu, moderný výskum ukazuje, že správanie ľudí v krízových situáciách je často racionálne a motivované snahou o prežitie. Kľúčovú úlohu zohráva komunikácia, dôvera a priestorová organizácia prostredia.

Pre proces evakuácie je preto zásadné, aby boli ľudia informovaní, mali jasne označené únikové cesty a vnímali prítomnosť autorít, ktoré situáciu riadia. Správne riadenie davu a psychologické pochopenie jeho správania môže výrazne znížiť riziko vzniku masovej paniky či davovej psychózy a prispieť k bezpečnému priebehu evakuácie.

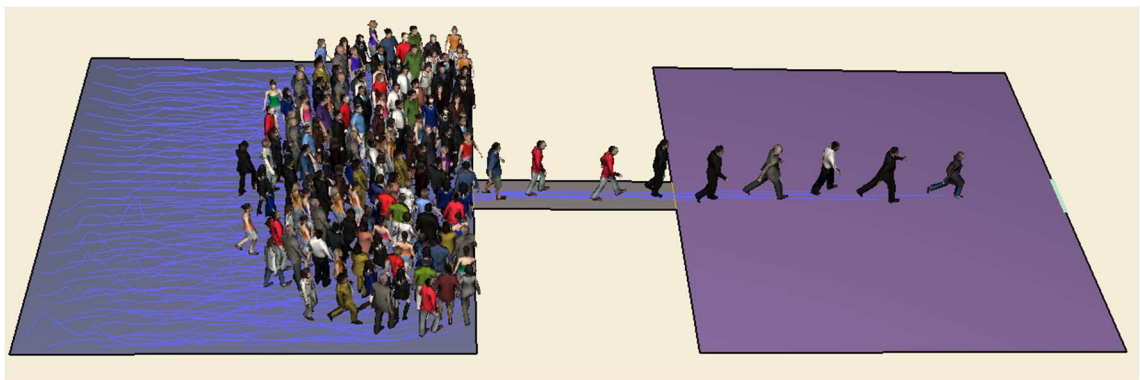
2.3.3 Úzke hrdlá a rizikové zóny

Úzke hrdlá (bottlenecks) sú priestorové alebo organizačné body, v ktorých dochádza k nadmernému nahromadeniu osôb, pričom kapacita daného miesta je využitá naplno alebo dokonca prekročená. V týchto miestach sa spomaľuje pohyb, vznikajú kolízie, stres a panika a v určitých prípadoch môže dôjsť k narušeniu bezpečnosti. Typické príklady sú vstupy do objektov, schodiská, turnikety atď. Sú to oblasti kritické pri evakuáciách alebo masových podujatiach. V dôsledku obmedzeného priestoru

tu dochádza k narušeniu plynulosti pohybu, zvýšenému fyzickému kontaktu a to môže viesť k pádom a stratám rovnováhy a v neposlednom rade k zraneniam spôsobených tlakom davu. Rizikové zóny sú definované ako miesta, v ktorých sa stretáva vysoký prítok ľudí s nízkou odtokovou kapacitou.

Pohyb davu sa z hľadiska fyzikálnych princípov dá popísať analogicky s prúdením tekutín. Tlak sa zvyšuje s menším prierezom. Podrobne to popisuje J. J. Fruin, ktorý uvádza *keď hustota davu dosiahne hodnotu zodpovedajúcu pôdorysnej ploche ľudského tela, jednotlivec stráca kontrolu nad vlastným pohybom a stáva sa nedobrovoľnou súčasťou masy*. [37] Pri koncentrácií 7 osôb/m² vzniká neovládateľný ľudský prúd, v ktorom sa vytvárajú tlakové impulzy schopné nadvihnúť jednotlivca a posunúť ho o niekoľko metrov ďalej. V takejto situácii jednotlivci strácajú kontrolu nad vlastným pohybom a to je spúšťačom reťazových pádov a následných zranení. Fruin upozorňuje aj na miesta s nepretržitým prítokom ľudí bez ohľadu na možnosti ich odchodu či priechodnosti priestoru. *Pohyblivé chodníky majú vlastnosť nepretržitého presunu osôb bez ohľadu na podmienky na výstupe. Ak obmedzenia na výstupe znižujú prietok osôb, dochádza k ich hromadeniu*. [37] V prípade že prítok nie je obmedzený vznikajú tzv. „úzke hrdlá“ kde tlak rýchlo rastie a malá prekážka môže spôsobiť dominový efekt.

Pre lepšiu predstavu o dynamike tohto javu slúži nasledujúca orientačná schéma (Obr. č. 6), ktorá znázorňuje trajektórie osôb pri prechode kritickým zúžením.



Obrázok 6: Ilustračné prúdenia osôb cez úzke hrdlo v simulačnom prostredí [39]

Úzke hrdlá musia byť dimenzované nielen podľa statických noriem, ale aj podľa dynamiky pohybu a psychológie davu. *Úniková cesta musí byť nielen dostatočne široká, ale aj zrozumiteľne vymedzená a opticky čitateľná, aby v krízovej situácii nedochádzalo k hromadeniu osôb v slepých miestach*. [9] Architektúra môže výrazne ovplyvniť vznik týchto miest. Usporiadanie priestoru má vplyv na to či úzke hrdlá vznikajú len fyzicky, alebo aj psychologicky, zlým osvetlením, vizuálnymi bariérami alebo nejednoznačným navádzaním pohybu.

Hoci kapacita únikových otvorov rastie približne úmerne so šírkou, výskumy ukazujú, že aj pri zdánlivo dostatočnej kapacite môže dôjsť k zápche, ak sa naruší rytmus prúdenia osôb. K preťaženiu a tvorbe zápchy môže dôjsť aj vtedy, keď prítok osôb neprevyšuje zdánlivú kapacitu priestoru, no vznikajú lokálne nahromadenia a

narušenia plynulosti pohybu (napr. miešanie protismerných prúdov, nepravidelné prichádzanie skupín alebo prekážky). Najrizikovejšie úzke hrdlá vznikajú v situáciách, kde sa fyzické zúženie priestoru spája s vizuálnym klamom napr. keď ľudia vnímajú iba jediný smer, ktorým sa dá uniknúť ako na festivale Love Parade v Duisburgu (2010).

Pri návrhu evakuačných trás je potrebné chápať úzke hrdlá ako súčasť celkového systému úniku: *Ak je úniková cesta dlhá alebo má viacero zalomení, musí byť prietok na každom úseku vyvážený, inak dôjde k zdržiavaniu osôb a zvýšeniu expozície nebezpečiu.*[9] V praxi je dôležité, aby šírka priechodov, schodísk a dverí bola navrhnutá tak, aby žiadny úsek neobmedzoval plynulosť pohybu viac než tie nasledujúce. Úzke hrdlá sú zvládnuteľné, ak sa reguluje prítok, zabezpečí sa plynulé smerovanie a dokáže sa predchádzať kolíziám protismerných tokov. Ak sa pohyb osôb riadi bez dostatočného poznania toho, ako sa dav správa v konkrétnych podmienkach, môže to namiesto zvýšenia bezpečnosti spôsobiť nečakané a rizikové situácie. Nevhodné rozmiestnenie zábran či uzatvorenie vybraných vstupov môže spôsobiť, že pôvodne bezpečný priestor sa zmení na nebezpečnú pascu. Práve preto sa pri navrhovaní bezpečnostných opatrení čoraz častejšie využívajú simulácie, ktoré zohľadňujú aj jemné vzorce správania jednotlivcov v dave.

Úzke hrdlá a kritické zóny patria medzi najčastejšie miesta vzniku problémov pri evakuáciách a pohybe väčších skupín ľudí. Ich nebezpečenstvo nespočíva len v nedostatočnej šírke, ale predovšetkým v kombinácii fyzikálnych, vizuálnych a organizačných faktorov. Efektívny návrh musí zohľadňovať rovnováhu medzi prítokom a odtokom osôb, zabezpečiť jasnú orientáciu v priestore a rešpektovať dynamiku správania davu. *Prvky modelu tvoria akronym FIST – Force (sila), Information (informácie), Space (priestor) a Time (čas).* [37] Práve rovnováha týchto faktorov rozhoduje o tom, či sa kritické priestory stanú bezpečným koridorom alebo miestom katastrofy.

2.3.4 Riadenie evakuácie

Riadenie evakuácie je komplexný proces s cieľom presúvať ohrozené osoby koordinovane, bezpečne a efektívne. Nejde len o technické spustenie alarmu či otvorenie únikových východov. V kritických situáciách zohráva zásadnú úlohu komplexný súbor opatrení od organizačných cez komunikačné až po psychologické. Tieto faktory zásadne ovplyvňujú správanie ľudí v rozhodujúcich sekundách a môžu výrazne zmeniť priebeh celej udalosti. Cieľom evakuácie nie je len zabezpečiť fyzický únik osôb, ale aj zachovať psychologickú stabilitu davu, predchádzať panike a minimalizovať zranenia. Účinná evakuácia si vyžaduje nielen premyslené rozmiestnenie únikových ciest, ale aj schopnosť efektívne informovať verejnosť, zaistiť jej orientáciu v priestore a cielene nasmerovať ľudí do bezpečia. Kľúčovú rolu tu zohráva personál, signalizačné a akustické systémy a vizuálne prvky.

Spoločiteľná a zrozumiteľná komunikácia je rozhodujúca pre udržanie pokoja a organizácie počas hromadného opúšťania priestorov, pretože pomáha predchádzať

chaosu a znižuje riziko paniky. Nesprávne alebo oneskorené informácie vedú k strate dôvery a dezorientácii. Ak chýbajú presné údaje o správaní a pohybe davu, snaha o jeho usmernenie môže namiesto zvýšenia bezpečnosti spôsobiť nebezpečné situácie. vybavené záložným napájaním a prepojené so systémom včasného varovania. Zvukové signály by mali byť krátke, zrozumiteľné a jasne formulované jednoduchým jazykom. Ich vysielanie je najúčinnnejšie tesne pred začiatkom evakuácie a počas jej priebehu. *Evakuáciu nemožno ponechať na spontánne reakcie osôb, musí byť riadená vyškoleným personálom a jasne signalizovaná.* [9]

Navigačné prvky by mali byť navrhnuté tak, aby aj pri obmedzenej viditeľnosti (napr. pri zadymení) umožnili ľuďom rýchlo a jednoznačne identifikovať smer, ktorým sa majú bezpečne evakuovať. *Značky únikových ciest musia byť trvalo osvetlené, viditeľné z všetkých uhlov a umiestované v miestach predpokladaného nahromadenia osôb.* [9] V otvorených verejných priestoroch musia byť doplnené dočasné navigačné panely a svetelné šípky so záložným napájaním. V situáciách, keď sú vizuálne orientačné prvky nejasné, majú ľudia tendenciu riadiť sa správaním ostatných. Preto je dôležité, aby vizuálne značenie a akustické pokyny boli navzájom zladené a poskytovali jednotné informácie, čím sa predíde zmätku a rozporuplným reakciám. Ak sa zvukové správy nezhodujú so smerom šípky alebo fyzickým pohybom personálu, dochádza k váhaniu a zdržiavaniu.

Riadenie zahŕňa aj monitoring a riadiace centrá, ktoré umožňujú priebežné sledovanie situácie a prijímanie rozhodnutí na základe aktuálnych údajov. Aj dobre pripravené podujatia si vyžadujú flexibilný prístup založený na reálnych dátach o hustote davu, čím sa zabezpečí bezpečná koordinácia a včasná reakcia na vzniknuté okolnosti. Moderné systémy integrujú kamerové záznamy a senzory hustoty davu s centrálnym riadiacim pultom. Tieto technológie umožňujú včas identifikovať tvorbu úzkych hrdiel a presmerovať prúdy osôb. Praktický rámec na vyhodnocovanie efektívnosti týchto opatrení poskytuje Fruinov model FIST (Force–Information–Space–Time). *Každý z týchto prvkov je vzájomne závislý; strata informácií alebo priestoru zvýši sily a zníži dostupný čas na reakciu.* [37] Z toho vyplýva, že nedostatočná komunikácia alebo zlá organizácia priestoru priamo vedie k zvýšenému napätiu a skráteniu času potrebného na bezpečné rozhodovanie a reakciu.

Evakuácia by mala byť organizovaná tak, aby ľudia nadobudli pocit koordinácie pri vnímaní inštrukcií a preto je závislá *od chovania personálu, ktorý musí byť schopný udržať pokoj a poskytovať jednotné informácie.* [9] Bezpečnostní pracovníci a organizátori musia byť viditeľne označení, komunikačne zdatní a disponovať prenosnými rádiostanicami pre rýchlu koordináciu.

Účinné riadenie evakuácie spája technické systémy s psychologickým pochopením davu. Zrozumiteľná komunikácia, spoľahlivé ozvučenie, jasné vizuálne značenie a vyškolený personál sú kľúčom k úspešnému zvládnutiu krízy. Evakuácia nie je len o vydávaní pokynov a dodržiavaní technických postupov. V kritických momentoch ide najmä o schopnosť vytvoriť atmosféru dôvery, v ktorej sa ľudia cítia vedení, nie ponechaní napospas. Práve úzka spolupráca medzi organizátormi, bezpečnostnými

zložkami a verejnosťou rozhoduje o tom, či sa podarí zvládnuť situáciu bez zbytočných komplikácií.

2.4 Simulačné nástroje pre modelovanie evakuácie

2.4.1 Význam simulačných modelov

Postupný rozvoj digitálnych technológií a výpočtových modelov výrazne prispel k efektívnejšiemu plánovaniu a ochrane verejných priestranstiev. Simulačné nástroje zohrávajú kľúčovú úlohu vďaka schopnosti predvídať a analyzovať správanie osôb v krízových situáciách, modelovať tok osôb počas evakuácie, identifikovať kritické body a navrhnúť efektívne opatrenia ešte pred ich zavedením. V rámci moderného inžinierstva sa preto výpočty evakuácie stávajú integrálnou súčasťou analýz postavených na výkonovom prístupe, ktoré prioritne sledujú dosiahnutie požadovanej úrovne ochrany života. Simulačné nástroje tak nie sú len technické ale aj strategické prvky, hodnotiace bezpečnosť. Umožňujú vyhodnotiť potencionálne hrozby a vytvoriť scenáre krízových situácií.

Simulácie sa využívajú na testovanie evakuačných stratégií a umožňujú realizovať scenáre, ktoré by v reálnych podmienkach nebolo možné technicky ani eticky otestovať. Rovnako je vďaka nim možné experimentovať so stratégiami, parametrami toku osôb, rozmiestnením evakuačných trás a prekážok. Simulácia dokáže predvídať správanie ľudí a minimalizovať riziká ešte pred ich vznikom. Výsledky môžu byť následne integrované do urbanistického plánovania, návrhu mobiliáru alebo technologickej infraštruktúry verejných priestorov. Optimalizuje evakuačný čas a zvýši odolnosť priestoru voči nežiadúcim udalostiam. Jedným z hlavných dôvodov využívania je identifikácia tzv. úzkych hrdiel (bottlenecks), kde dochádza k spomaleniu alebo kolízii pohybu osôb počas evakuácie. V oblasti bezpečnosti verejných priestranstiev má simulácia význam aj pri testovaní nových opatrení ešte pred ich implementáciou. Umožňuje hodnotiť, ako zmena usporiadania priestoru, pridanie prekážok, alebo rozšírenie priechodov ovplyvní plynulosť pohybu a čas evakuácie. Simulačné nástroje nie sú uplatňované iba v objektoch ale aj pri plánovaní úniku z masívnych zhromaždení a veľkých udalostí.

Štúdia *Comparative Analysis of Two Evacuation Simulation Tools* (2024) uvádza, že rôzne softvérové nástroje môžu vykazovať odlišné výsledky a identifikovať rôzne kritické body. Takéto porovnávanie a využívanie viacerých nástrojov zvyšuje presnosť výstupov a zabezpečuje aplikovanie výsledkov v reálnom prostredí. Je nutné simulácie zaradiť aj do krízového riadenia a plánovaní reakcií. Výsledky modelov môžu slúžiť ako vstupy pre záchranné zložky, orgány civilnej ochrany či mestské úrady. Pomáhajú určiť najbezpečnejšie zóny zhromaždenia, optimálny počet únikových trás a predpokladaný čas opustenia priestoru. Scenáre evakuácie môžu byť integrované do modelov mobility, dopravných tokov a priestorového správania v danom mieste. Z praktického hľadiska simulácie znižujú potrebu fyzických cvičení, ktoré sú finančne aj organizačne náročné. Virtuálne modely

dokážu overiť rovnaké scenáre v krátkom čase a pri rôznych parametroch. V bezpečnostnej praxi sa využívajú aj pri školeniach záchranných zložiek, ktoré na základe simulácií analyzujú najefektívnejšie trasy zásahu, rozmiestnenie techniky či evakuáciu zranených osôb.

Na záver možno konštatovať, že význam simulácie spočíva v jej schopnosti testovať, predvídať a optimalizovať opatrenia bez potreby fyzického zásahu do prostredia. Výstupy zo simulácií je potrebné interpretovať s vedomím ich predpokladov, vstupných dát a limitácií. Bez kvalitných vstupných dát (napr. hustota osôb, chovanie v núdzových situáciách, rýchlosť reakcie) nemôže simulácia poskytnúť spoľahlivé výsledky. Spojením empirických dát, vedeckých modelov a praktických skúseností sa simulácia stáva nástrojom, ktorý dokáže premeniť teóriu bezpečnosti na efektívne, overiteľné a udržateľné riešenia v praxi.

2.4.2 Typológia modelov

Metódy a technológie používané pri modelovaní pohybu osôb sa rozlišujú podľa princípu, akým opisujú správanie chodcov a vzájomné interakcie medzi nimi. Rôzne typy modelov umožňujú odlišnú úroveň detailu, presnosti a výpočtovej náročnosti. Podľa Johanssona je *hlavným rozdielom medzi modelmi pohybu chodcov je úroveň detailu pri popise individuálneho správania*, [40] teda základným kritériom rozdelenia modelov je stupeň detailu, akým zachytávajú správanie jednotlivca. Na základe toho rozlišujeme 3 typy modelov – makroskopické, mezoskopické a mikroskopické.

Makroskopické modely

Pri makroskopických modeloch je možno pohyb osôb popísať analogicky k prúdeniu tekutín. *Makroskopické modely opisujú pohyb chodcov analogicky k prúdeniu kvapaliny*. [40] Jednotlivci nie sú vnímaní samostatne, ale ako súčasť kontinuálneho prúdu, ktorého hlavnými parametrami sú hustota, rýchlosť a intenzita pohybu. Tento typ modelu umožní vyhodnotiť celkový prietok ľudí cez danú oblasť napr. vstupy, koridory alebo schodiská. Je schopný určiť miesta kde môže dôjsť k potencionálnemu preťaženiu priestoru. Výhodou makroskopických modelov je nízka výpočtová náročnosť a použiteľnosť pri analýze veľkých priestorov, ako sú železničné stanice či športové štadióny. Nevýhodou je však absencia individuálneho správania – model nevie zohľadniť reakcie jednotlivcov na prekážky, paniku alebo vizuálne podnety.

Mezoskopické modely

Mezoskopické modely predstavujú tzv. prechod medzi makroskopickými a mikroskopickými modelmi, pretože umožňujú zachytiť správanie na úrovni, ktorá zahŕňa individuálne správanie (ako v mikroskopických modeloch), ale zároveň poskytuje agregované informácie vhodné pre popis celkového správania (ako v makroskopických modeloch). Aj napriek tomu sa však dá správa stále ako tok tekutiny a zanedbáva individuálne vlastnosti jednotlivcov. *Mezoskopické prístupy*

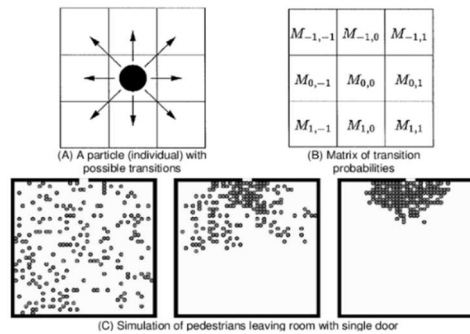
opisujú skupiny chodcov ako celky so zjednodušenými vnútornými interakciami. [40] Hoci tieto modely sa často používajú pre veľké dopravné uzly, kde sa sleduje presun davov, ale individuálne rozhodovanie nie je kľúčové. Ich výhodou je rýchlosť výpočtu, nevýhodou menšia presnosť pri modelovaní núdzových situácií.

Mikroskopické modely

Takýto typ modelov je z hľadiska modelovania pohybu osôb najideálnejším a najdetailnejším simulačným prístupom. Na rozdiel od predchádzajúcich metód, ktoré opisujú pohyb ako celkový tok, mikroskopické modely sledujú každého jednotlivca samostatne, vrátane jeho reakcií, rozhodovania a interakcií s okolím. *Mikroskopické modely explicitne zobrazujú každého jednotlivého chodca a jeho interakcie s ostatnými.* [40] Tým umožňuje zachytiť správanie človeka v reálnom čase a priestore. Tento prístup umožňuje simulovať javy, ktoré iné modely nedokážu zachytiť (napr. vznik paniky, vytváranie pretlakov, zmenu smeru pohybu, zdržanie či reakciu na prekážku). Mikroskopické modely sú dnes základom moderných softvérových riešení a dominujú vo vedeckom výskume aj v bezpečnostnej praxi. Ich hlavnou výhodou je schopnosť kombinovať fyzikálne, psychologické a sociálne aspekty správania. Takéto nastavenie umožňuje vytvárať realistické simulácie, v ktorých sa správanie osôb mení v závislosti od prostredia, hustoty davu alebo viditeľnosti únikových trás. Hlavnou nevýhodou zostáva vyššia výpočtová náročnosť a potreba kvalitných vstupných dát, no napriek tomu poskytujú najpresnejšie výsledky a sú neoceniteľné pri prediktívnej analýze správania davu.

1. Celulárne automaty

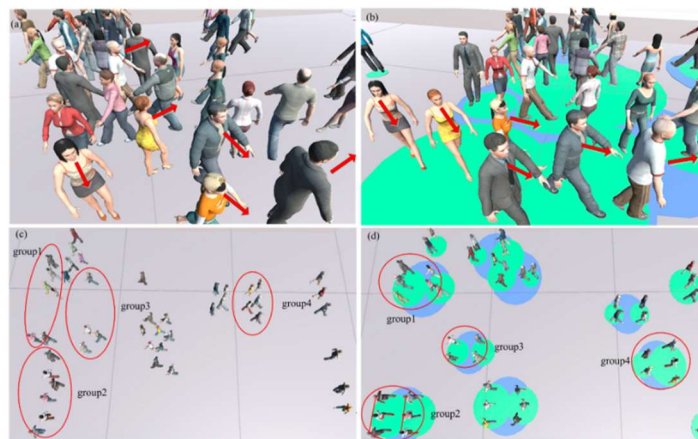
Jedným z najstarších typov mikroskopických modelov sú tzv. celulárne automaty (CA). Ide o modely, v ktorých je prostredie rozdelené na mriežku, ako je zobrazené v obr. č. 7, pričom každá bunka môže byť buď prázdna, alebo obsadená osobou. *Prostredie je rozdelené na diskkrétne bunky a chodci sa pohybujú podľa jednoduchých pravdepodobnostných pravidiel.* [40] Pohyb agentov v modeli CA prebieha v diskrétnych časových krokoch, pričom smer a rýchlosť pohybu sú limitované geometriou mriežky – najčastejšie ide o pohyb do susedných buniek. Hlavnou výhodou takýchto modelov je nízka výpočtová náročnosť a možnosť simulovať veľké množstvo osôb v krátkom čase. Vďaka svojej algoritmickej jednoduchosti sú vhodné pre rozsiahle analýzy, kde nie je prioritou detailná biomechanika pohybu. Nevýhodou je ich obmedzená geometrická presnosť. Keďže je pohyb viazaný na mriežku, tieto modely neumožňujú simulovať plynulé trajektórie a môžu nerealisticky obmedzovať rýchlosť chôdze či uhly zatáčania. V moderných simuláciách sa preto od klasických CA často upúšťa v prospech spojitých modelov, ktoré dokážu lepšie zachytiť prirodzenú dynamiku ľudského pohybu.



Obrázok 7: Ilustračné znázornenie celulárneho automatu [41]

2. Silové modely – Social Force Models

Vychádzajú z princípu, že jednotlivci sú ovplyvňovaní sociálnymi silami určujúcimi ich pohyb. Sú priťahované k cieľu teda východom a odpudzujú sa od iných ľudí, stien alebo okrajov. Prvými odborníkmi, ktorí tento koncept dali do formálnej podoby boli Helbing a Molnár (1995). Neskôr bol práve Johansson kto tento koncept prehýbil vo svojom výskume. Podľa neho sú *chodci sú ovplyvňovaní sociálnymi silami, ktoré predstavujú ich vnútorné motivácie a vzájomné interakcie*. [40] Každý jednotlivec sa snaží udržať si svoj osobný priestor a vyhnúť sa tak kolíziám. Silové modely sa považujú za najrealistickejšie, pretože umožňujú presný opis individuálneho pohybu v spojitom priestore. Dokážu simulovať plynulé interakcie a panické správanie. Hlavnou nevýhodou zostáva vysoká výpočtová náročnosť a citlivosť na nastavenie vstupných parametrov, kde aj malé zmeny môžu výrazne ovplyvniť výslednú simuláciu. Práve preto sú tieto modely jadrom pokročilých simulačných softvérov využívaných na vedecké a bezpečnostné účely.

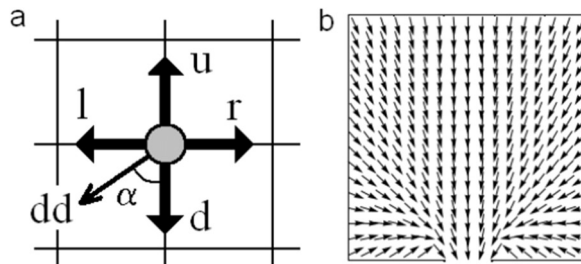


Obrázok 8: Porovnanie správania chodcov v silových modeloch. Časti (a, b) zobrazujú smerovanie chodcov v sociálnych skupinách, časti (c, d) ilustrujú formovanie skupinových štruktúr po vyhýbaní sa [42]

3. Modely na báze hier

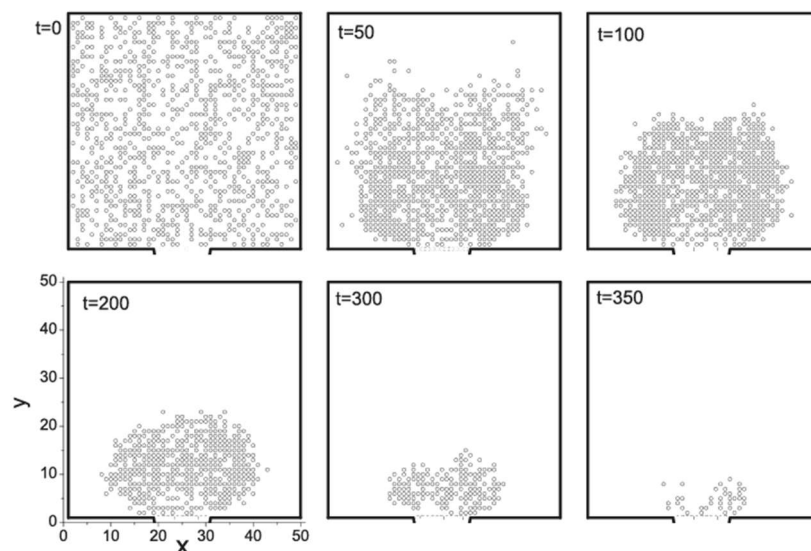
Špecifickou kategóriou mikroskopických prístupov sú modely založené na princípoch teórie hier. Správanie chodcov vnímajú ako neustály proces rozhodovania počas pohybu. Každý jednotlivec sa snaží optimalizovať svoje kroky s ohľadom na ostatných. *Modely založené na teórii hier opisujú interakciu chodcov ako*

dynamický optimalizačný problém. [40] Základnú logiku tohto rozhodovania v mriežke, kde si agent vyberá smer pre najefektívnejšie dosiahnutie cieľa, znázorňuje obr. č. 9.



Obrázok 9: Model pohybu agenta: (a) Povolené smery v mriežkovom prostredí; (b) Pole žiadanych smerov vedúce k východu [43]

Tento pomáha pochopiť, ako sa ľudia rozhodujú v bežných situáciách napríklad pri vyhýbaní sa, určovaní poradia alebo pohybe v úzkych miestach. Hlavnou výhodou je schopnosť zachytiť realistické rozhodovanie, ktoré zohľadňuje kooperáciu alebo súťaživosť medzi jedincami. Nevýhodou však zostáva komplikovaná matematická implementácia a potreba rozsiahlych empirických dát pre kalibráciu modelov. V českom odbornom prostredí sa tejto problematike venuje Jaroš. zdôrazňuje, že pre modelovanie pohybu davu sa ako mimoriadne účinné ukazuje prepojenie teórie hier s agentnými modelmi, keďže táto kombinácia umožňuje zachytiť realistické rozhodovanie jednotlivcov aj dynamiku celku.

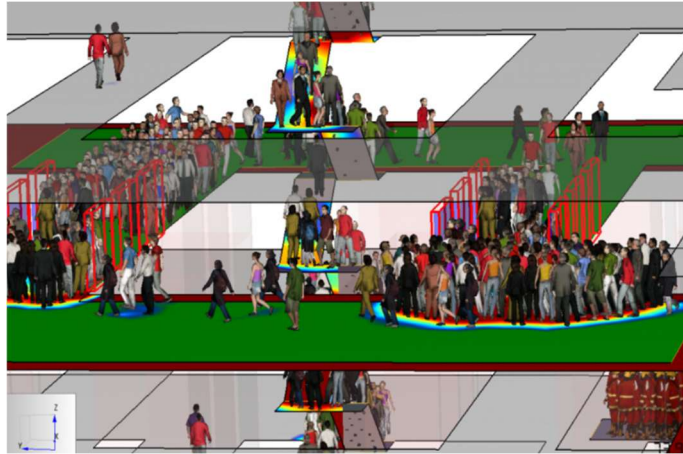


Obrázok 10: Ilustračné znázornenie modelu na báze hier s populáciou kooperujúcich agentov v čase (t) [43]

4. Agentné modely

Tento typ modelu predstavuje rozšírenie mikroskopického prístupu, kde každá osoba ma vlastné pravidlá správania, cieľ, rýchlosť, úroveň stresu a rozhodovacie procesy. V týchto modeloch je možné implementovať aj psychologické a sociálne faktory, ako sú solidarita, panika či nasledovanie davu. Agentné modely umožňujú simulovať zložité situácie, ako je evakuácia počas krízových udalostí, kde správanie

ľudí nie je homogénne. Jeden z českých autorov uvádza: Agentné modely dokážu v rámci jedného výpočtu prepájať fyzikálne faktory s psychologickými procesmi, ktoré ovplyvňujú správanie jednotlivcov v dave. V súčasnosti sa tieto modely stávajú nezastupiteľným nástrojom nielen v projektovej praxi, ale aj vo výučbe krízového manažmentu. Pomáhajú vizualizovať správanie osôb pri rôznych typoch hrozieb a testovať účinnosť organizačných opatrení.



Obrázok 11: Ilustračné znázornenie agentného modelu [44]

Každý typ modelu má svoj špecifický účel, mieru presnosti a oblasť uplatnenia. Makroskopické modely sú vhodné pre globálne analýzy a strategické plánovanie, mezoskopické pre analýzu pohybov skupín a mikroskopické pre detailné simulácie správania jednotlivcov. V rámci mikroskopických modelov sa v súčasnosti najviac uplatňujú silové a agentné, pretože poskytujú rovnováhu medzi realistikosťou a výpočtovou náročnosťou. Tieto modely predstavujú základ pre moderné simulačné softvéry, ktoré sú dnes využívané pri analýze bezpečnosti verejných priestranstiev, v urbanizme a tiež pri návrhu opatrení pre ochranu mäkkých cieľov.

2.4.3 Pathfinder ako simulačný nástroj

Simulačné nástroje sú nenahraditeľným prvkom v oblasti analýzy evakuácie a pohybu osôb pri krízových situáciách. Dokážu vizualizovať správanie osôb a interakcie medzi jednotlivcami v rôznych priestorových podmienkach a v rôznych úrovniach ohrozenia. Vďaka týmto nástrojom je možné testovať hypotetické scenáre bez rizika pre ľudské životy a optimalizovať evakuačné stratégie ešte pred ich reálnym nasadením. Jedným z najpoužívanejších softvérov je práve Pathfinder. Program je schopný modelovať evakuácie budov, verejných priestranstiev a tiež dopravných terminálov. Podľa oficiálnej charakteristiky, *Pathfinder umožňuje realizovať analýzy pohybu chodcov, evakuácie a preťaženia na základe výkonnostného prístupu prostredníctvom softvérovej simulácie.* [44]

Softvér kombinuje agentný model s kontinuálnym modelom pohybu, čo znamená, že každá osoba v simulácii (tzv. agent) sa pohybuje samostatne na základe svojich špecifických parametrov, no zároveň reaguje na okolie. Každému agentovi je definovaná rýchlosť chôdze, cieľ, reakčný čas na situáciu a jeho osobný priestor.

Tieto parametre priamo ovplyvňujú jeho správanie počas evakuácie. Program umožňuje modelovať interakcie medzi osobami, kolízie a formovanie prúdov v rámci davu. Jednou z výhod programu je prepojenie s technickou dokumentáciou a geometriou objektu či riešeného priestoru. Je možné importovať súbory z programov ako napr. AutoCAD (DXF) alebo Revit (IFC) a definovať vďaka nim priestor simulácie. Softvér umožňuje zadať viaceré výstupy, schodiská, prekážky, šírky dverí a koridorov, ktoré následne ovplyvňujú priebeh evakuácie. *Pathfinder umožňuje používateľovi definovať geometriu budovy, únikové východy a charakteristiky osôb a simulovať proces evakuácie, pričom generuje grafické a numerické výsledky, ktoré opisujú tok osôb a časy evakuácie.* [44]

Pathfinder ponúka dva režimy simulácií a to SFPE Model a Steering Mode. Režim SFPE riadi pohyb osôb podľa empirických vzťahov definovaných v príručke *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Skupinové správanie sa v tomto modeli chápe ako prúd, podobne ako pri prúdení kvapalín, pričom sa sledujú veličiny ako hustota davu, rýchlosť pohybu a smer toku. Tento prístup je vhodný pre základné overenie kapacít únikových ciest, kde nie je potrebné sledovať individuálne manévrovanie. Naopak režim Steering Mode využíva agentný model, ktorý umožňuje prirodzenejšie manévrovanie jednotlivcov a vyhýbanie sa prekážkam. *V režime Steering Mode každý účastník využíva riadiaci systém, ktorý neustále upravuje jeho pohyb s cieľom vyhnúť sa kolíziám a nájsť najrýchlejšiu cestu k bezpečiu.* [44] Vďaka týmto dvom režimom je možné prispôbiť simuláciu požadovanej úrovni presnosti od základného odhadu po detailnú analýzu chovania davu.

Simulácie v Pathfinderi poskytujú množstvo kvantitatívnych aj kvalitatívnych údajov, ktoré sú kľúčové pre posúdenie bezpečnosti. Medzi hlavné výstupy patria celkový čas evakuácie, priebeh evakuácie v čase, hustota osôb v jednotlivých zónach a využívanie východov. Program vygeneruje grafický výstup, 2D mapu hustoty osôb a 3D animácie evakuácie, ktoré možno využiť pre prezentáciu výsledkov alebo komunikáciu s odbornou verejnosťou. Výstup majú význam nielen pre projektovanie budov, ale aj pre hodnotenie bezpečnosti verejných priestranstiev a hromadných akcií, ktoré patria medzi tzv. mäkké ciele. Program analyzuje viaceré scenáre napr. evakuáciu pri požiari, výbuchu alebo iného incidentu a porovnáva efektivitu riešení ako napr. zmena šírky priechodov alebo rozmiestnenie výstupov atď.

Spoločnosť WSP upozorňuje na to, že *Pathfinder je agentový simulačný nástroj pohybu, ktorý využíva kontinuálny model ľudskej chôdze. Spojenie so simuláciami požiaru alebo dymu však prináša dodatočné praktické obmedzenia a neistoty.* [45] Hoci Pathfinder detailne simuluje pohyb osôb, fyzikálne javy ako šírenie dymu, pokles viditeľnosti či toxické podmienky sa zvyčajne riešia v samostatnom softvéri, napr. Fire Dynamics Simulator (FDS), pričom ich vzájomné prepojenie býva technicky komplikované. Okrem toho je nutné uvedomiť si, že presnosť výsledkov závisí od vstupných parametrov, tzn. od správneho zadania rýchlosti, reakčných časov a správania evakuujúcich sa osôb. Pre zvýšenie spoľahlivosti simulácie sa odporúča jej výsledky konfrontovať s experimentálnymi či empirickými dátami.

Pathfinder predstavuje komplexný nástroj, ktorý umožňuje podrobné hodnotenie správania davu v reálnych aj hypotetických situáciách. V rámci ochrany mäkkých cieľov umožňuje hodnotiť efektivitu fyzických bezpečnostných prvkov, optimalizovať návrh únikových trás a minimalizovať riziko zlyhania evakuačných mechanizmov počas hromadných podujatí. Výstupy treba interpretovať s ohľadom na vstupné predpoklady a modelové obmedzenia. Napriek uvedeným limitom a nutnosti odbornej interpretácie vstupov zostáva Pathfinder jedným z najrelevantnejších nástrojov pre vedecký výskum aj bezpečnostnú prax v oblasti evakuácie osôb.

2.4.4 Verifikácia a validácia simulácií

Spôľahlivosť výsledkov simulačných modelov je základným predpokladom ich praktického využitia. Na jej zabezpečenie je nevyhnutné overiť správnosť a presnosť výstupov prostredníctvom verifikácie a validácie, ktoré slúžia na potvrdenie technickej správnosti modelu a jeho zhody s reálnym správaním systému. Tieto pojmy sa veľakrát zamieňajú aj napriek ich výrazným rozdielom. Verifikácia sa zameriava na správnu technickú realizáciu modelu, zatiaľ čo validácia posudzuje, či model verne vystihuje skúmaný jav. Bez týchto procesov nemožno zaručiť, že model bude nielen matematicky presný, ale aj realistický pri simulácii ľudského správania počas evakuácie.

Verifikácia modelu

Verifikácia je prvým krokom posudzovania spoľahlivosti simulačného modelu. Cieľom je overiť, či bol model vytvorený správne po technickej stránke a či jeho výpočty zodpovedajú matematickým princípom, na ktorých je založený. Zjednodušene: verifikácia skúma, či je implementácia programu bezchybná a zodpovedá špecifikácii. V podstate ide o otázku: „Robí program to, čo má, a robí to správne?“. Nehodnotí, či je výsledok realistický, ale či samotný výpočtový proces prebieha bez chýb.

Model sa testuje na jednoduchých, dobre známych prípadoch, kde sa očakávaný výsledok dá ľahko vypočítať. Ak simulácia pri týchto úlohách dosiahne rovnaký alebo veľmi podobný výsledok ako teoretický výpočet, považuje sa za správnu. Typickým príkladom je modelovanie pohybu osôb cez únikové dvere so známou šírkou alebo výpočet času evakuácie malého priestoru, ktorý je možné analyticky overiť.

Účelom verifikácie je teda potvrdiť, že model sa správa podľa svojho návrhu, že v ňom nie sú logické alebo numerické chyby a že jednotlivé algoritmy fungujú stabilne. V akademickej alebo projektovej praxi je úlohou používateľa skontrolovať, či je daný softvér vhodný pre konkrétny typ úlohy a či jeho výpočtové metódy zodpovedajú princípom, ktoré chce pri analýze použiť. Neposudzuje teda reálnosť správania ľudí, ale technickú správnosť fungovania modelu. Ak by model nebol verifikovaný, výsledky by mohli byť nespoľahlivé aj vtedy, ak by vychádzali z realistických predpokladov, pretože by ich poškodzovala samotná chyba vo výpočtovom procese.

Validácia modelu

Validácia nadväzuje na verifikáciu a predstavuje overenie, či model dokáže realisticky napodobniť správanie ľudí v skutočných podmienkach. Kým verifikácia rieši otázku, či model funguje správne, validácia skúma, či model opisuje správnu realitu. Tento proces je zložitejší, pretože sa už nezaobera len technickou presnosťou výpočtu, ale aj tým, či sú výsledky porovnateľné s reálnymi údajmi z experimentov alebo z reálnych evakuácií. Dôležité je, že validácia nikdy nie je absolútna; model môže byť overený pre jednu kategóriu prostredí napr. administratívne budovy, no nemusí spoľahlivo fungovať v inej napr. na otvorených verejných priestranstvách.

Proces validácie je dôležitý aj preto, že poukazuje na hranice použiteľnosti modelu. Ak simulácia nezohľadňuje paniku, dym alebo hluk, výsledky budú zodpovedať ideálnym podmienkam, nie skutočnej krízovej situácii. Cieľom validácie nie je vytvoriť dokonalý model reality, ale získať dostatočne presný a spoľahlivý nástroj na analýzu a porovnávanie rôznych scenárov.

Prečo sú výsledky orientačné

Aj pri použití validovaných a verifikovaných modelov zostávajú výsledky simulácií orientačné. Dôvodom je, že modely vychádzajú z určitých zjednodušení a priemerov, ktoré nezohľadňujú všetky možné faktory reality.

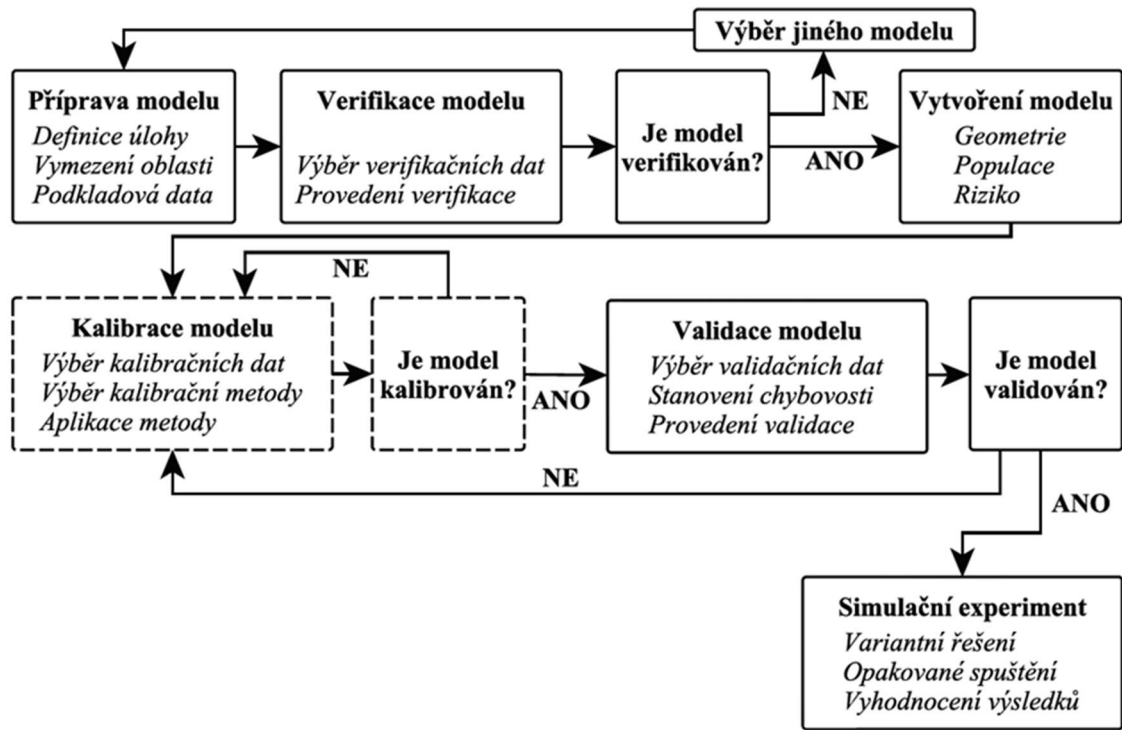
Medzi hlavné obmedzenia patria:

- Do simulácie sa zadávajú všeobecné hodnoty rýchlosti chôdze alebo reakčného času, nie reálne správanie konkrétnych osôb.
- Malé zmeny vo vstupných údajoch (napr. zablokovanie dverí, zmena hustoty) môžu výrazne zmeniť výsledky.
- Model síce simuluje kolízie a prúdy ľudí, ale nie vždy realisticky reaguje na panické správanie, strach alebo efekt „nasledovania ostatných“.
- Softvér väčšinou neuvažuje dym, hluk, tmu či paniku, pokiaľ nie je prepojený s inými modelmi.

Z týchto dôvodov sa výsledky simulácií používajú hlavne na porovnanie rôznych variantov riešení, nie na určenie presného času evakuácie. Simulácia teda nehovorí: „Evakuácia potrvá 3 minúty,“ ale skôr: „Variant s dvoma východmi je o 30 % rýchlejší než variant s jedným východom.“

Obr. č. 12 znázorňuje celý proces, ktorým musí simulačný model prejsť predtým, než je možné považovať jeho výsledky za dostatočne spoľahlivé. Tento postup ukazuje, že presnosť a dôveryhodnosť výstupov závisí od viacerých navzájom prepojených krokov. Každý z týchto krokov má svoj význam: verifikácia potvrdzuje technickú správnosť modelu, kalibrácia zabezpečuje prispôbenie výpočtových parametrov reálnym podmienkam a validácia overuje, či model realisticky opisuje správanie

osôb v skúmanej situácii. Ak niektorý z týchto procesov nie je vykonaný správne alebo je zanedbaný, presnosť simulácie výrazne klesá. Preto aj výsledky, ktoré sa na prvý pohľad javia presne, môžu v skutočnosti predstavovať iba orientačný odhad reálneho priebehu evakuácie.



Obrázok 12: Diagram overenia spoľahlivosti spoľahlivosti [9]

Aj pri najpresnejších modeloch a simuláciách existujú obmedzenia, ktoré ovplyvňujú presnosť a použiteľnosť výsledkov. Verifikácia, kalibrácia a validácia sú nevyhnutné pre dosiahnutie spoľahlivých výsledkov, ale aj napriek tomu zostávajú simulácie orientačné. Preto je dôležité správne interpretovať výsledky a využívať ich hlavne na porovnanie rôznych riešení alebo scenárov, nie na presné predpovedanie času evakuácie. Diagram jasne ukazuje, že presnosť výsledkov závisí od dôsledného vykonania všetkých krokov a od kvality vstupných údajov.

3 Praktická časť

Praktická časť diplomovej práce sa zameriava na analýzu priebehu evakuácie z priestoru vianočných trhov v centre mesta Brna, konkrétne na Námestí Svobody a Zelnom trhu. Ide o dve centrálné a vysoko frekventované lokality, ktoré sú počas adventného obdobia charakteristické extrémne vysokou návštevnosťou, hustým pohybom osôb a dočasnou zástavbou v podobe stánkov, technického vybavenia a mobilných prvkov. Takáto sezónna zmena zasahuje do usporiadania priestorov, obmedzuje priepustnosť ciest a spôsobuje, že evakuácia je podstatne náročnejšia než za normálnych okolností. Cieľom praktickej časti je preto zhodnotiť priebeh evakuačných procesov pomocou simulačného nástroja Pathfinder, identifikovať kritické miesta, porovnať rozdielne scenáre a vyhodnotiť, ktoré opatrenia majú najvýraznejší vplyv na bezpečný odchod osôb z priestoru.

Model vychádza z reálnych pôdorysných podkladov, rozmiestnenia stánkov, šírkových pomerov komunikácií a predpokladaného počtu osôb prítomných počas exponovaných časov konania Vianočných trhov. Simulácia zohľadňuje dynamiku davu, smer pohybu osôb, dostupné únikové trasy a priestorové obmedzenia spôsobené dočasnou zástavbou. Následne sú spracované štyri scenáre: východzí stav bez zásahu (bežná návštevnosť bez incidentu) a tri scenáre s ohrozením, ktoré reprezentujú typické situácie, pri ktorých môže dôjsť k narušeniu bezpečnosti na hromadnom podujatí. V jednotlivých scenároch sa menia predpoklady o hustote osôb, blokovaní vybraných únikových trás alebo rýchlosti reakcie návštevníkov.

Výstupom simulácií je predovšetkým celkový čas evakuácie, priebeh pohybu osôb v priestore, identifikácia kritických miest a úzkych miest, kde dochádza k výraznejšiemu spomaleniu alebo hromadeniu osôb. Cieľom praktickej časti nie je len kvantifikovať čas potrebný na evakuáciu, ale aj porovnať jednotlivé varianty a zistiť, aký vplyv majú zmenené podmienky na výsledný priebeh evakuácie. Na základe týchto zistení je možné formulovať odporúčania, ktoré môžu prispieť k zlepšeniu organizácie Vianočných trhov a zvýšeniu ich fyzickej bezpečnosti.

3.1 Spracovanie vstupných dát

3.1.1 Vstupné dáta

Základným podkladom pre spracovanie simulačného modelu evakuácie boli dostupné priestorové údaje z katastrálnej mapy územia, ktoré boli získané prostredníctvom verejne dostupného mapového portálu pre územie Českej republiky (ČÚZK). Tieto dáta poskytli presné hranice riešeného územia, pôdorysné členenie príslušných objektov, komunikačných priestorov a mestského mobiliára, čo umožnilo vytvoriť základnú geometrickú kostru modelu. Katastrálne údaje zároveň slúžili ako podklad pre identifikáciu šírkových pomerov hlavných komunikačných smerov a veľkosti jednotlivých plôch, ktoré sú rozhodujúce pre správne určenie kapacít a priepustnosti jednotlivých častí riešeného priestoru.

Kľúčovým podkladom pre vytvorenie dispozičného usporiadania počas adventného obdobia bol aj plán rozmiestnenia stánkov, ktorý poskytol Mestský úrad mestskej časti Brno-stred. Tento dokument obsahoval presné umiestnenie predajných stánkov, technických zariadení a jednotlivých prvkov dočasnej zástavby na Námestí Svobody a Zelnom trhu. Vďaka tomu bolo možné verne simulovať skutočné priestorové usporiadanie počas konania Vianočných trhov, vrátane obmedzení priechodnosti spôsobených dočasnými objektmi. Tieto údaje boli následne prenesené do modelu ako pevné bariéry ovplyvňujúce pohyb a smerovanie osôb.

Ďalšiu skupinu vstupných údajov tvorili špecifické parametre definujúce vlastnosti modelovaných agentov, ako sú rýchlosť pohybu, reakčné časy a priestorové nároky jednotlivých osôb. Tieto hodnoty boli v softvéri Pathfinder nastavené s ohľadom na charakter podujatia (teda verejné vianočné trhy), kde sa predpokladá heterogénne zloženie populácie (vrátane detí a seniorov). Tieto parametre umožňujú realisticky zachytiť dynamiku davu v otvorenom priestranstve a slúžia ako základ pre následné porovnávanie evakuačných časov v jednotlivých scenároch.

Spracovanie vstupných dát vytvorilo ucelený súbor informácií potrebný pre realistické nastavenie simulačného modelu. Na základe týchto údajov je možné následne vytvoriť presné priestorové prostredie v softvéri Pathfinder, definovať modelované skupiny osôb a pripraviť jednotlivé scenáre, ktoré sú podrobnejšie rozpracované v ďalších kapitolách.

3.1.2 Popis riešeného územia

Diplomová práca sa zaoberá dvomi centrálnymi lokalitami historického jadra mesta Brna a to Námestie Svobody a Zelný trh. Obe námestia sa vyznačujú výrazne zvýšenou návštevnosťou, vysokou koncentráciou osôb a rozsiahlym počtom dočasných objektov, ktoré zásadným spôsobom menia priechodnosť územia aj charakter pohybu návštevníkov.

Námestie Svobody

Námestie Svobody je otvorený mestský priestor približne lichobežníkového tvaru, na ktorý sa zbíha viacero peších komunikácií a ulíc. Počas Vianočných trhov je námestie kompletne zaplnené stánkami, dekoráciami, mobiliárom, pódium a dočasnými bariérami, ktoré vytvárajú špecifickú vnútornú štruktúru priestoru. V jeho centrálnej časti sa nachádza dominantný vianočný strom, ktorý je obklopený okruhom predajných stánkov. Po obvode námestia sú rozmiestnené ďalšie predajné miesta, gastro zóny, sezónne atrakcie a prevádzkové stánky.

Výrazným a trvalým mestským prvkom je morový stĺp, umelecký objekt známy ako Brnenské hodiny a veľká kašna, ktoré predstavujú pevné prekážky ovplyvňujúce priechodnosť centrálnej časti námestia. V severovýchodnej časti sa nachádza pódium so zázemím, ktoré zaberá významnú časť plochy a vytvára oblasť obmedzenej priechodnosti. Po obvode námestia sú situované viaceré skupiny

stojanov na bicykle, malé stavby, zariadenia pre gastro prevádzky, zázemia pre obslužný personál či skladové priestory sezónnych prevádzok.



Obrázok 13: Situácia Námestie Svobody v Brne (Zdroj: Interný podklad)

Priestor je čiastočne členený pomocou stálych stromov, ktoré tvoria prirodzené bariéry. Najvýraznejším prvkom priestoru je električková trať, ktorá prechádza priamo cez stred námestia a vedie z ulice Masarykova do ulice Rašínová. Počas konania Vianočných trhov sa električková doprava v určitých hodinách odkláňa mimo územia. Námestie Svobody je zároveň previazané s okolím viacerými ulicami, ktoré prirodzene slúžia ako prístupové aj únikové trasy. Ich šírka a kapacitné možnosti sa však odlišujú, čo ovplyvňuje mieru bezpečnosti a plynulosť pohybu ľudí v priestore. Hlavné únikové smery z Námestia Svobody sú:

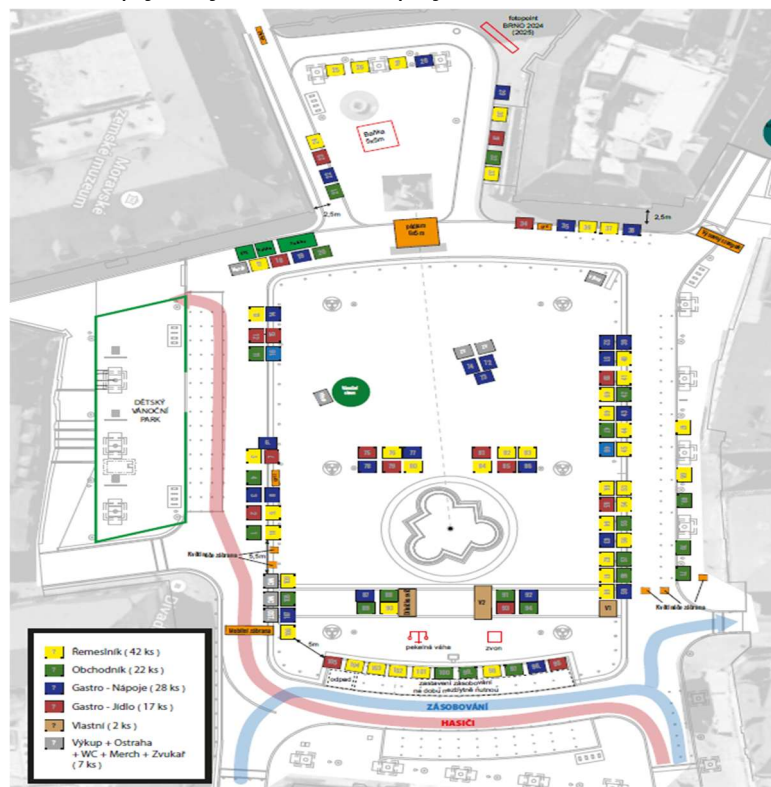
- **Ulica Česká** – severný výstup smerom k rušnej obchodnej časti a zastávkam MHD.
- **Ulica Rašínová** – výrazný komunikačný smer smerom k severovýchodnej časti mesta.
- **Ulica Běhounová** – priechodná komunikácia so stabilným peším tokom.
- **Ulica Koblížná** – východná trasa smerujúca k nákupným priestorom.
- **Ulica Zámečnická** – úzky priechod smerom k menším mestským uliciam.
- **Ulica Masarykova** – najväčší juhozápadný únikový smer spájajúci námestie so železničnou stanicou.

Tieto smery predstavujú základnú sieť komunikácií pre evakuáciu návštevníkov počas mimoriadnych situácií.

Zelný trh

Zelný trh je menšie, avšak dlhodobu stabilné námestie s charakteristickým terasovitým usporiadaním a vyšším sklonom terénu. Na rozdiel od Námestia Svobody má Zelný trh výrazne členitejší tvar a terén, pričom jeho charakter je určený kombináciou trvalých urbanistických prvkov a hustej dočasnej trhovej zástavby, ktorá mení priechodnosť celého priestoru. Dispozícia námestia je v priečnom smere mierne svahovitá, čo ovplyvňuje rozloženie ľudí aj smerovanie prirodzených peších prúdov. Dominantným trvalým prvkom územia je kašna Parnas, umiestnená v centrálnej časti námestia. Ide o rozsiahlu kamennú monumentálnu fontánu, ktorá predstavuje nepriechodnú bariéru a zásadne formuje pohyb osôb v jej okolí. Terénne rozdiely a existujúce kamenné schodiská v južnej časti námestia taktiež predstavujú dôležitý stabilný prvok, ktorý ovplyvňuje priechodnosť a smer pohybu návštevníkov.

Počas konania Vianočných trhov je Zelný trh zaplnený hustou sieťou predajných miest, ktoré sú organizované v niekoľkých radoch. Ide o kombináciu remeselných stánkov, obchodníckych prevádzok a gastronomických zariadení. V južnej časti námestia sa nachádza pódium so zázemím, doplnené o priestory pre organizátorov podujatia. Súčasťou dočasnej zástavby sú aj mobilné zábrany, detský Vianočný park a ďalšie architektonické prvky, ktoré usmerňujú tok návštevníkov do konkrétnych komunikačných smerov. V severnej časti územia je situovaný vianočný strom, ktorý spolu s ďalšími dekoratívnymi prvkami tvorí lokálne zúženia. Rôzne prvky predstavujú pevné, nepriepustné bariéry, ktoré je potrebné v modeli zahrnúť, pretože významne ovplyvňujú šírku dostupných koridorov.



Obrázok 14: Situácia Zelný trh v Brne (Zdroj: Interný podklad)

Z hľadiska evakuačných trás je Zelný trh napojený na viacero komunikačných smerov, ktoré tvoria hlavné výstupné prúdy návštevníkov. Medzi najvýznamnejšie patria:

- **Ulica smer Masarykova** – predstavuje hlavnú os smerujúcu k železničnej stanici.
- **Ulica Starobrněnská** – spája Zelný trh s historickým centrom a Šilingrovým námestím.
- **Ulica Radnická** – umožňuje odchod smerom k Starej radnici a k Turistickému informačnému centru.
- **Ulica Květinářská** – úzky priechod využívaný najmä pri vysokom zaťažení centrálnej časti námestia.
- **Kapucínské náměstí** – južný únikový smer napojený na pešiu sieť smerom k Mendlovu náměstí.
- **Ulica Petrská** – predstavuje juhozápadný únikový smer, ktorý spája Zelný trh s areálom pod Petrovom a nadväzuje na komunikačnú sieť pod katedrálou sv. Petra a Pavla.
- **Ulica Peroutková** - predstavuje juhozápadný únikový smer, ktorý zabezpečuje odchod návštevníkov smerom k ulici Starobrněnská.

Trvalé aj dočasné prvky tak vytvárajú vnútornú sieť koridorov, ktoré definujú smerovanie davových prúdov, určujú kapacitu únikových smerov a tvoria potenciálne kritické miesta so zvýšeným rizikom hromadenia osôb počas evakuácie.

3.2 Parametre davu

3.2.1 Vekové rozloženie a rýchlosť pohybu

Pre potreby simulačného modelu evakuácie vianočných trhov bolo stanovené orientačné vekové rozloženie populácie, ktoré umožní zohľadniť rozdielnu pohybovú dynamiku jednotlivých vekových skupín. Dav na verejnom priestranstve je tvorený hlavne dospelými osobami, menší podiel tvoria deti a mládež a osobitnú skupinu tvoria seniori a osoby s obmedzenou schopnosťou pohybu. Modelové vekové rozloženie bolo určené kombináciou poznatkov zo štúdií o pohybe chodcov a porovnaním s dátami z podobných podujatí. Začlenenie vekového rozloženia do modelu prebehlo na základe hodnôt uvedených v tabuľke 4. Toto rozloženie umožňuje v modeli zohľadniť rozmanitosť populácie v dave napr. pomalšiu chôdzu seniorov alebo vysoká pohybová aktivita detí.

Vekové skupiny ľudí	Počet ľudí v percentách
Mládež (do 25 r.)	20%
Dospelí (26-64 r.)	70%
Seniori (65 r. a viac)	9%
Osoby s obmedzenou mobilitou	1%

Tabuľka 4: Vekové rozloženie osôb (%) (Zdroj: vlastné spracovanie)

Vek má priamy vplyv na rýchlosť pohybu. Pri pohybe chodcov s rôznym vekovým zložením sa ukazuje, že priemerná rýchlosť chôdze seniorov býva nižšia než u mladších skupín. V kontrolovaných podmienkach sa voľná rýchlosť chôdze u starších osôb pohybuje približne okolo 1,28 m/s, zatiaľ čo u mladších dosahuje hodnoty blízke 1,40 m/s. Tieto hodnoty zodpovedajú aj normovým požiadavkám uvedených v ČSN 73 0802, ktorá uvádza priemernú rýchlosť dospeljej populácie približne 1,25–1,35 m/s, zatiaľ čo pre seniorov odporúča počítať s nižším rozpätím 1,0–1,2 m/s.

V tab. č. 5 sú uvedené rýchlosti pohybu osôb pre jednotlivé vekové kategórie, ktoré boli následne implementované do simulačného modelu.

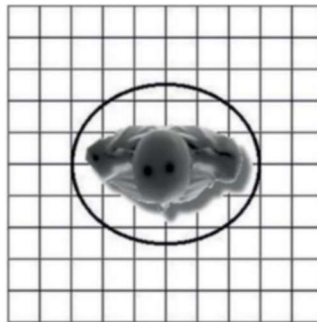
Vekové skupiny ľudí	Rýchlosť pohybu
Mládež (do 25 r.)	1,40 m/s
Dospelí (26-64 r.)	1,30-1,35 m/s
Seniori (65 r. a viac)	1,20 m/s
Osoby s obmedzenou mobilitou	0,50 m/s

Tabuľka 5: Rýchlosti pohybu osôb (m/s) podľa vekových skupín (Zdroj: vlastné spracovanie)

Takéto rozloženie umožňuje realisticky simulovať dynamiku pohybu davu v situácii evakuácie, keďže jednotlivé skupiny sa vyznačujú rozdielnymi reakčnými časmi, rýchlosťou chôdze a schopnosťou orientácie v prostredí s vysokou hustotou osôb. Najmä seniori a osoby s obmedzenou mobilitou predstavujú skupiny, ktoré môžu významne ovplyvniť celkový čas evakuácie a vytvárať lokálne spomalenia pri prechode cez užšie komunikačné smery alebo zúžené profily. Toto vekové a rýchlostné rozloženie bolo zapracované do modelu tak, aby bolo možné neskôr analyzovať rozdiely v priechodnosti priestorov a identifikovať úseky, kde môže vyšší podiel menej mobilných osôb viesť k vzniku úzkych profilov alebo zhromaždeniu osôb. Predstavuje teda základný parameter, od ktorého sa odvíjajú ďalšie dynamické vlastnosti davu v simulačnom modeli. Tieto parametre tvoria základ pre definovanie tzv. profilov agentov v simulačnom prostredí, čo umožňuje analýzu nielen celkového času evakuácie, ale aj identifikáciu miest, kde dochádza k interakcii skupín s rozdielnou kinetikou pohybu.

3.2.2 Priestorové nároky osôb

Priestorové nároky predstavujú jeden zo základných parametrov používaných pri modelovaní evakuácie davu, pretože určujú minimálny osobný priestor jednotlivcov potrebný na plynulý pohyb bez výrazného obmedzenia. Ide o veličinu, ktorá priamo ovplyvňuje hustotu davu, rýchlosť pohybu aj celkovú priepustnosť komunikácií. Podľa prístupu, ktorý zaviedol Fruin, sa osobný priestor človeka v simulačných modeloch spravidla znázorňuje ako pôdorysný kruh alebo elipsa, tzv. body ellipse, vychádzajúca z obrysu tela. Konkrétny tvar sa volí podľa toho, aký charakter má samotný model. *Priestor je definovaný ako eliptická čiara znázorňujúca 95. percentil pôdorysných rozmerov oblečeného dospelého muža s určitým pridaným priestorom, ktorý odráža snahu jednotlivca vyhýbať sa priamemu kontaktu s okolím.* [9] Popisovaný priestor nie je konštantný, pretože jeho veľkosť ovplyvňujú telesné rozmery jednotlivca, rýchlosť a aj to, či sa človek pohybuje v chaotickom, alebo organizovanom prostredí.



Obrázok 15: Elipsa tela [46]

Za osobný priestor človeka sa spravidla považuje kruhový pôdorysný priemet s priemerom približne 0,50 m, čo zodpovedá ploche asi 0,20 m². V praxi sa však používa širšie spektrum hodnôt, pretože vnútro davové odstupy a komfortný osobný priestor sú vyššie ako len fyzický priemer tela. V podmienkach reálneho davu sa preto odporúča počítať s priemerom 0,55–0,60 m, teda s osobnou plochou približne 0,28–0,32 m². Osobný priestor jednotlivcov sa mení v závislosti od rýchlosti pohybu. Čím je pohyb rýchlejší, tým väčšia vzdialenosť medzi chodcami je potrebná. V prostredí, kde je pravdepodobnosť pohybu osôb rýchlejšia alebo kde sa dav šíri vlnovito, treba uvažovať s väčšou osobnou plochou než v statických alebo pomaly sa pohybujúcich skupinách.

Rozdiely medzi osobami s rôznou mobilitou

Pre potreby simulačného modelu boli priestorové nároky osôb stanovené tak, aby reflektovali reálne rozloženie návštevníkov vianočných trhov:

- **Bežná populácia:** priemer osobného priestoru približne 0,55 m, plocha \approx 0,30 m².
- **Seniori:** väčší bočný odstup z dôvodu opatrnejšej chôdze, osobná plocha \approx 0,32–0,35 m².

- **Osoby s obmedzenou mobilitou:** pevný minimálny priestor v rozsahu 0,50 – 0,80 m podľa typu obmedzenia, čo zodpovedá osobnej ploche 0,40 – 0,50 m².

Pre osoby s nižšou pohyblivosťou je potrebné počítať s výrazne väčšími nárokmi na priestor, predovšetkým v priečnom profile pohybu. V kontexte hustého prostredia Vianočných trhov to znamená, že aj malý podiel takýchto osôb môže výrazne ovplyvniť priepustnosť úzkych koridorov.

Pri priestorových nárokoch je treba brať do úvahy aj fakt, že rozmery jednotlivcov sa menia v závislosti od ich pôvodu a pohlavia.

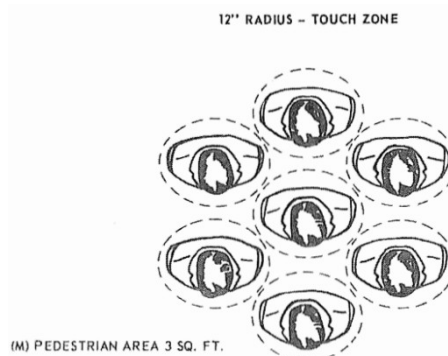
Vplyv priestorových nárokov na hustotu davu

Priestorové nároky jednotlivcov tvoria základ pre výpočet hustoty davu, keďže maximálny počet osôb, ktoré sa môžu nachádzať na určitej ploche, je priamo podmienený veľkosťou osobného priestoru. Komfortný pohyb chodcov je možný pri hustote približne 1,0–1,5 os./m². Ak sa hustota zvýši na 3–4 os./m², začínajú sa objavovať kolízie, spomalenie pohybu a narušenie plynulosti prúdu. Pri hodnotách nad 5 os./m² sa dav dostáva do kritického stavu, ktorý môže viesť k obmedzeniu pohybu, stláčaniu osôb či strate stability.

Fruin vo svojej publikácii „Pedestrian planning and design“ rozlišuje štyri úrovne osobného priestoru a priamo súvisia s hustotou davu a kvalitou pohybu v ňom. Každá úroveň predstavuje inú mieru fyzického odstupu, a teda aj inú hustotu osôb na ploche. Základným prvkom je body ellipse, ktorá je popisovaná vyššie a znázornená na obr. č. 15.

Touch zone – kontaktná zóna

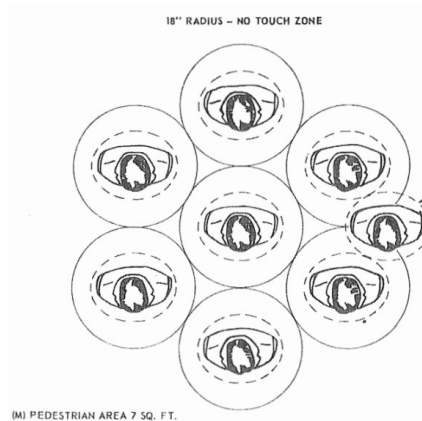
Simuluje skupinu chodcov rovnomerne rozmiestnených v ochranných zónach s priemerom 2 stopy. Ide o situáciu, pri ktorej je osobný priestor natoľko zmenšený, že dochádza k priamemu fyzickému kontaktu osôb. Tento predpoklad vedie k ploche 3 ft² na osobu, čo možno označiť za hranicu tzv. dotykovej zóny (touch-zone). [46] V tejto oblasti sa nedá voľne pohybovať ani obchádzať ostatných. Postup je obmedzený len na posúvanie sa dopredu v slede. Ide o veľmi rizikový stav, keďže stabilita davu je nízka, rýchlosť pohybu klesá a každé zúženie môže vyvolať hromadenie osôb.



Obrázok 16: Zobrazenie kontaktnej zóny podľa Fruina [46]

No - touch zone – bezkontaktná zóna

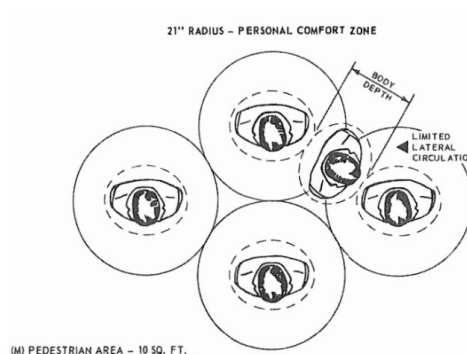
Ochranná zóna je rozšírená na medziludský odstup približne 3 stopy, čo predstavuje plochu 7 ft² na osobu. [46] Ľudia sa dokážu vyhnúť priamemu dotyku, no musia výraznejšie upravovať krok.



Obrázok 17: Zobrazenie bezkontaktnéj zóny podľa Fruina [46]

Personal comfort zone – komfortná zóna

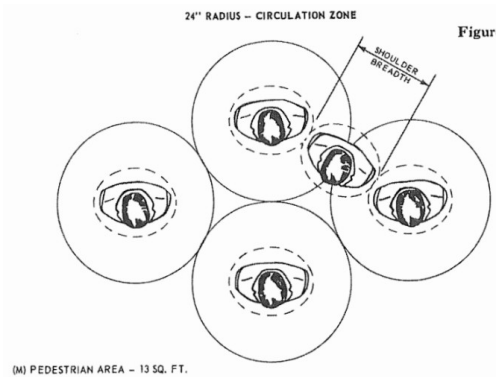
Ukazuje rozšírenie ochrannéj zóny na priemer približne 3,5 stopy a plochu 10 ft² na osobu. [46] Najprirodzenejšia forma pohybu vzniká pri komfortnom osobnom priestore, ktorý umožňuje stabilnú chôdzu bez zásadného ovplyvňovania okolia. V tejto zóne je pohyb najplynulejší a dav sa správa stabilne.



Obrázok 18: Zobrazenie komfortnej zóny podľa Fruina [46]

Circulation zone – zóna pohybu

Ochranná zóna tela rozšírená na priemer 4 stopy, čo predstavuje plochu 13 ft² na osobu. [46] Takýto priestor už umožňuje voľné prechádzanie medzi osobami, náhle zmeny smeru a plynulý rozptyl davu.



Obrázok 19: Zobrazenie zóny pohybu podľa Fruina [46]

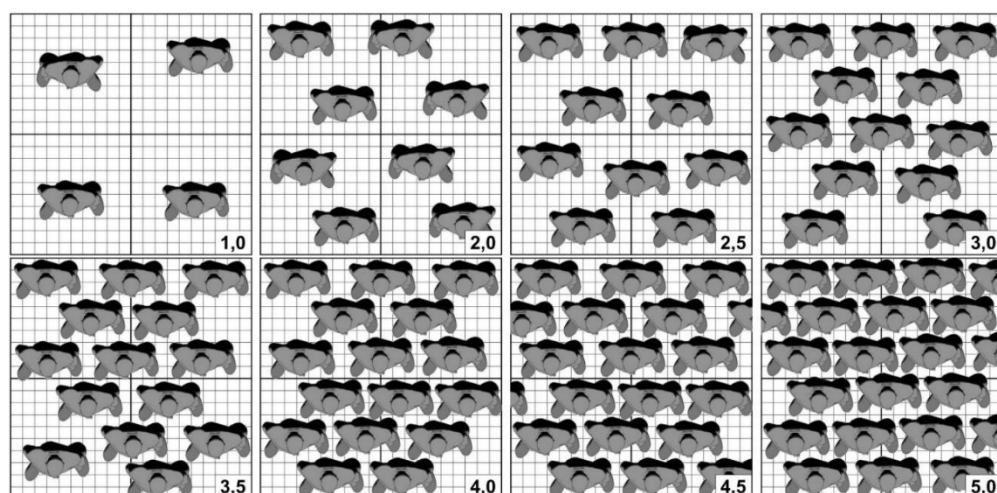
V prostredí zaplnenom stánkami, bariérami a úzkymi prechodmi, aké sú typické pre Vianočné trhy, je preto osobná plocha kľúčovým parametrom pre odhad reálnej priepustnosti jednotlivých komunikačných trás.

Hustota davu

Hustota davu je parameter určujúci výsledné správanie skupiny osôb pri pohybe. Odráža počet osôb nachádzajúcich sa na jednotke plochy a priamo súvisí s priepustnosťou komunikácií, bezpečnosťou aj rýchlosťou pohybu.

Statická hustota davu

Určuje sa v situáciách kedy sa dav nepohybuje alebo je pohyb veľmi obmedzený. Príklad statickej hustoty davu je státie v rade, čakanie alebo pri zhoršených podmienkach, kde je rýchlosť pohybu nútené znížená. Statická hustota teda vyjadruje, koľko osôb dokáže fyzicky zabrať danú plochu pri rôznych úrovniach komfortu. Obrázok 21 ukazuje, ako sa postupne zvyšuje hustota davu až po kritickú hodnotu 5 os./ m². Ako je vidieť, keď hustota davu dosiahne približne 5 os./ m², nastáva kritický stav. Ľudia sa už takmer nedokážu voľne pohybovať, telo tlačí na telo a vznikajú podmienky, ktoré môžu viesť k mechanickým zraneniam.

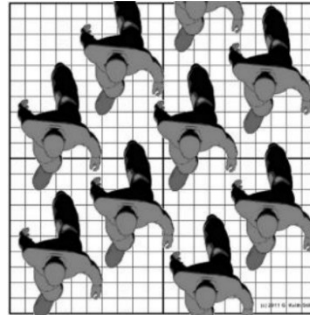


Obrázok 20: Statická hustota osôb [47]

Pri plánovaní evakuácie z veľkých podujatí, ako sú napr. vianočné trhy, je potrebné zabezpečiť, aby sa hustota davu v hlavných komunikačných priestoroch pohybovala najviac okolo 2–3 os./m². V užších miestach, kde sa ľudia zdržiavajú len krátkodobo, je prípustná hustota maximálne 4 os./m².

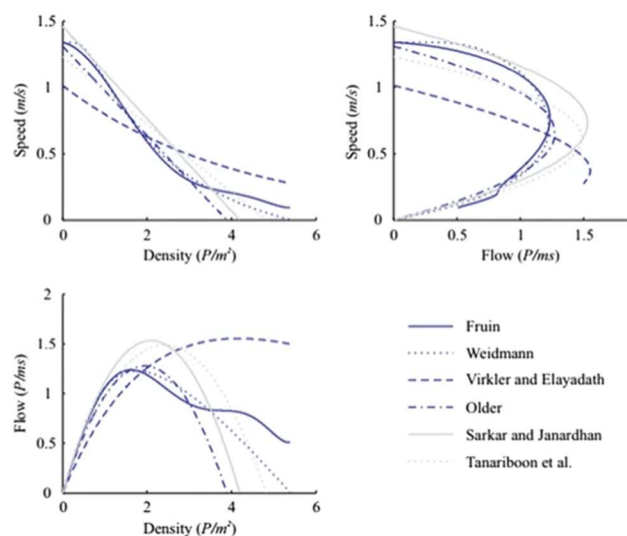
Dynamická hustota davu

Predstavuje hustotu osôb pri pohybe, je to počet osôb na jednotke plochy v situácii, keď sa dav už posúva jedným smerom. Kým pri statickej hustote ide o počet osôb na ploche, tu je kľúčová rýchlosť pohybu a interakcia medzi jednotlivcami.



Obrázok 21: Dynamická hustota osôb [47]

So zvyšujúcou sa hustotou davu dochádza k výraznému poklesu rýchlosti pohybu, ktorý má charakter prudkého, až exponenciálneho útlmu. Vplyv hustoty na dynamiku davu je vedecky opísaný prostredníctvom tzv. fundamentálnych diagramov (Obrázok 23). Graf vľavo hore jasne ukazuje nepriamu úmeru: so zvyšujúcou sa hustotou (Density) lineárne aj nelineárne klesá rýchlosť pohybu (Speed). Z grafu vpravo hore je zároveň zrejmé, že existuje optimálna hodnota hustoty, kedy je prietok davu (Flow) najvyšší; po jej prekročení dochádza k tzv. zahlteniu trasy a prudkému poklesu priepustnosti. Zásadný pohľad však poskytuje graf vľavo dole, ktorý znázorňuje priamy vzťah medzi hustotou a prietokom osôb (Flow vs. Density). Krivky v tomto grafe majú tvar paraboly, čo dokumentuje, že priepustnosť komunikačnej trasy rastie len do určitej hraničnej hodnoty.



Obrázok 22: Fundamentálne diagramy [48]

Dynamickú hustotu nemožno hodnotiť samostatne, pretože je vždy podmienená priestorovými požiadavkami osôb, ich reakčným časom a kapacitou únikových trás. V praxi aj krátkodobé zúženie komunikácie – napríklad v okolí stánkov či bariér – môže viesť k rýchlemu nárastu hustoty a následnému poklesu rýchlosti pohybu.

Porovnanie statickej a dynamickej hustoty

Parameter	Statická hustota	Dynamická hustota
Charakter	stáli ľudia alebo veľmi pomalý pohyb	aktívny pohyb v jednom alebo viacerých smeroch
Limitujúci faktor	dostupná plocha a osobný priestor	rýchlosť, interakcie, kolízie
Kritická hodnota	> 5 os./m ² - riziko stláčania	> 3-4 os./m ² - kolaps plynulosti
Kde sa vyskytuje	zhromaždenia, fronty, začiatok evakuácie	koridory, uličky, priechody
Riziká	tlak na telo, obmedzenie slobody pohybu	turbulencie, zablokovanie, pádové reťazenie

Tabuľka 6: Statická a dynamická hustota osôb – základné rozdiely (Zdroj: vlastné spracovanie)

3.2.3 Reakčný čas

Reakčný čas predstavuje časový interval medzi vznikom mimoriadnej udalosti a začiatkom pohybu osôb smerom k únikovým trasám. V prostredí hromadného podujatia, akým sú Vianočné trhy, zohráva reakčný čas významnú úlohu pri formovaní počiatkovej dynamiky davu a vzniku lokálnych zhustení. Na rozdiel od budov s jasnou organizačnou štruktúrou a evakuačnými postupmi je reakcia osôb vo verejnom priestore ovplyvnená najmä individuálnym vnímaním hrozby, vizuálnymi a akustickými podnetmi a správaním okolitých osôb.

V simulačnom modeli je reakčný čas uvažovaný ako variabilná veličina, ktorá odráža rozdielnu schopnosť jednotlivcov rozpoznať vzniknutú hrozbu a adekvátne na ňu reagovať. Tento prístup bol zvolený preto, aby model realisticky odrážal rozdielnu schopnosť jednotlivcov rozpoznať vzniknutú hrozbu. V nastaveniach modelu je implementovaný rozptyl hodnôt, ktorý zabezpečuje, že evakuácia nezačína u všetkých osôb súčasne. Časť návštevníkov reaguje na podnet okamžite, zatiaľ čo u iných dochádza k oneskoreniu spôsobenému neistotou, snahou overiť situáciu alebo sledovaním reakcií okolia.

Nastavenie parametrov reakčného času bolo v modeli zvolené tak, aby zodpovedalo charakteru otvoreného priestranstva bez centrálného riadenia evakuácie. Zvolené hodnoty vychádzajú z konzervatívnych odhadov pre neorganizovaný dav, čím sa v simulácii vytvárajú podmienky pre vznik reálnych kritických javov (napr. nelineárne zaťaženie únikových ciest, vznik rázových vln v hustnúcim dave). Tento prístup umožňuje v počiatkovej fáze simulácie identifikovať vznik dynamických úzkych

hrdiel, kde dochádza k prieniku osobných zón osôb a nárastu hustoty nad kritickú úroveň 5 os./m².

3.3 Analýza rizík

Kapitola analýza rizík sa zameriava na komplexné posúdenie negatívnych javov, ktoré sú pre priestory Vianočných trhov (Námestie Svobody a Zelný trh) reálne a môžu kriticky ovplyvniť bezpečnosť návštevníkov. Pre tento účel diplomovej práce bola zvolená metóda RIPRAN (Risk Identification, Probability and Risk Analysis), ktorá predstavuje systematický nástroj na identifikáciu, analýzu a hodnotenie rizík na základe posúdenia pravdepodobnosti ich výskytu a závažnosti možných dopadov.

Voľba metódy RIPRAN vychádza z charakteru riešeného prostredia, ktorým je otvorený mestský priestor s vysokou koncentráciou osôb, dočasným priestorovým usporiadaním a výrazne dynamickým správaním davu. V takomto prostredí nie je možné spoľahlivo stanoviť presné číselné hodnoty pravdepodobnosti výskytu jednotlivých hrozieb ani kvantifikovať rozsah ich dopadov. Z tohto dôvodu je metóda RIPRAN v tejto práci aplikovaná v kvalitatívnej forme, pričom pravdepodobnosť aj dopady sú vyjadrené pomocou slovných kategórií.

Cieľom je identifikovať relevantné hrozby (negatívne javy), ktoré môžu počas konania trhov nastať a ktoré majú potenciál priamo ovplyvniť evakuáciu. Každá z hrozieb je následne hodnotená z hľadiska pravdepodobnosti výskytu a závažnosti následkov, čo umožňuje vytvoriť maticu rizík, jednotlivé riziká medzi sebou porovnať a určiť závažnosť. Tento proces umožňuje vytvoriť register rizík. Keďže Vianočné trhy sú charakteristické vysokou koncentráciou osôb v obmedzenom priestore, rizikové situácie často nevznikajú ako izolované incidenty, ale ako kombinácia faktorov, ktoré sa prejavujú rýchlým nárastom hustoty, obmedzením priepustnosti komunikácií alebo náhlou zmenou smeru pohybu davu. Práve preto je analýza rizík nevyhnutným predpokladom pre následné modelovanie evakuácie a posúdenie toho, ako jednotlivé hrozby ovplyvnia správanie davu a celkový čas evakuácie vo vybraných scenároch. Výsledky tejto analýzy umožňujú zvoliť tri najrelevantnejšie hrozby, ktoré vykazujú najvyššiu hodnotu rizika a budú slúžiť ako podklad pre tvorbu simulačných scenárov v prostredí softvéru Pathfinder.

Hlavným prínosom analýzy v rámci tejto práce je prepojenie teoretických odhadov s praktickou simuláciou. Analýza poskytuje prehľad o tom, v ktorých častiach územia sa rizikové situácie môžu formovať najčastejšie, zatiaľ čo simulácia následne overuje účinnosť navrhovaných stratégií riadenia rizík, ako je eliminácia, zmiernenie alebo tvorba záložných plánov.

Analýza je spracovaná pre Vianočné trhy na Námestí Svobody a Zelnom trhu ako jeden funkčný celok. Obe lokality majú rovnaký charakter hromadnej akcie, podobné zloženie návštevníkov a porovnateľné typy rizík. Špecifiká jednotlivých priestorov, ako sú rozdiely v šírke komunikácií, usporiadaní stánkov a možnostiach

úniku, sú zohľadnené v popise dopadov jednotlivých hrozieb a v následných simulačných scenároch.

3.3.1 Identifikácia možných hrozieb

Identifikácia rizík predstavuje kľúčovú fázu metódy RIPRAN. Jej cieľom je v predstihu rozoznať zdroje možného ohrozenia a stanoviť realistické scenáre ich vývoja. V prostredí s vysokou hustotou ľudí, akým sú Vianočné trhy v Brne, môže aj malý incident spôsobiť výraznú zmenu správania davu, preto je potrebné zamerať sa na hrozby, ktoré majú potenciál vyvolať náhly pohyb smerom k únikovým trasám alebo k ich preťaženiu.

Pri identifikácii hrozieb pre riešené územie (Námestie Svobody a Zelný trh) sa vychádza z kombinácie historických dát o incidentoch na hromadných podujatiach a špecifických geografických charakteristík Brna.

Ozn.	Hrozba	Konkrétny scenár
H1	Narušenie bezpečnosti uprostred davu	konflikt, krik, pád osoby, zhromažďovanie okolo incidentu - panika
H2	Útok vozidlom na vstupných komunikáciách	náhle vniknutie vozidla cez nezabezpečený alebo chybné chránený vstup
H3	Úmyselné zablokovanie únikových trás	blokovanie Masarykovej, Rašínovej alebo Radnickej úmyselnou prekážkou
H4	Požiar stánku alebo dymová technická udalosť	vznik malého ohňa / dymu v gastro stánku alebo elektroinštalácii
H5	Panika spôsobená falošnou informáciou	mylný výkrik (strelba !, bomba!) zle interpretovaný zvuk, šírenie paniky
H6	Kolaps konštrukcie alebo prvku výzdoby	pád dekorácie, svetelného prvku alebo dočasnej konštrukcie do priestoru davu

Tabuľka 7: Identifikované hrozby a ich konkrétne scenáre (Zdroj: vlastné spracovanie)

Narušenie bezpečnosti uprostred davu

Je to ohrozenie, pri ktorom dôjde k narušeniu bezpečnosti priamo v centrálnej časti zhromaždenia. Ide o incident / incidenty, ktoré nemusia byť svojou povahou vysoko nebezpečné, ale v prostredí s vysokou hustotou môžu vyvolať okamžitú panickú reakciu. Spúšťačom môže byť krik, konflikt dvoch osôb, náhle zhromaždenie okolo zraneného návštevníka alebo situácia, ktorú ľudia vyhodnotia ako ohrozenie. V takomto prostredí môže veľmi rýchlo dôjsť k tzv. crowd turbulence, čo je chaotický pohyb davu, pri ktorom jednotlivci strácajú kontrolu nad smerom a rýchlosťou pohybu. Tento typ hrozby je zvlášť rizikový na miestach, kde je vysoká statická hustota (napr. okolie vianočného stromu alebo plocha pred pódium na Zelnom trhu). Pri následnom úteku dochádza k preťaženiu únikových trás, čo môže viesť k zaseknutiu osôb v úzkych profiloch medzi stánkami.

Aj keď ide o hrozbu s relatívne nižšou závažnosťou ako cielený útok, jej pravdepodobnosť je najvyššia, pretože vzniká z každodenných situácií, ktoré sa na hromadných akciách bežne vyskytujú.

Útok vozidlom na vstupných komunikáciách

Útok vozidlom predstavuje hrozbu s vysokou závažnosťou a potenciálom spôsobiť okamžité zranenia veľkého počtu osôb. Z hľadiska riešeného územia je najrizikovejšia Rašínova ulica, ktorá ústi priamo na severnú stranu Námestia Svobody. Ide o priamy a relatívne široký koridor, ktorým by vozidlo dokázalo prejsť hlboko do davu, pokiaľ by nebol dostatočne chránený pevnými alebo mobilnými bariérami. Hrozba je charakterizovaná veľmi krátkym reakčným časom a vysokou rýchlosťou šírenia. Pohyb vozidla po spevnenej komunikácii môže vytvárať tlakové vlny v dave a spôsobiť náhle nárasty dynamickej hustoty. Zároveň ide o situáciu, pri ktorej vzniká kombinovaný pohyb. Ide o útek pred vozidlom smerom k únikovým trasám a súčasné vytváranie kolízií medzi osobami.

V kontexte Vianočných trhov sú rizikové najmä vstupy, ktoré nie sú chránené stacionárnymi alebo rozšírenými HVM prvkami. Táto hrozba sa týka predovšetkým Námestia Svobody, no v menšej miere aj Zelného trhu, kde je vstup z Radnickej rovnomerne úzky. Absencia týchto certifikovaných bariér na exponovaných miestach vytvára kritické body, ktoré by mohli byť zneužitú na nekontrolovaný vjazd vozidla do pešej zóny. Zabezpečenie týchto vstupov pomocou mobilných zábran je preto kľúčovým faktorom pre minimalizáciu bezpečnostných rizík počas konania hromadných podujatí.

Úmyselné zablokovanie únikových trás

Táto hrozba predstavuje úmyselné konanie páchatela alebo skupiny, ktorého cieľom je narušiť priepustnosť hlavných únikových trás. Ide o jeden z najväznejších scenárov, pretože únikové trasy predstavujú kľúčový prvok zabezpečenia bezpečnosti návštevníkov. Zablokovanie Masarykovej ulice, smerujúcej na Hlavní nádraží, a Rašínovej ulice, ktorá vytvára prepojenie na Moravské náměstí, znamená okamžité obmedzenie evakuácie smerom k dvom najdôležitejším komunikačným trasám. Tento typ útoku má potenciál vytvoriť sekundárne hrozby, napríklad kolaps prúdenia, nadmerné zhustenie v alternatívnych únikových smeroch alebo vznik tlakových polí v dave.

Nebezpečenstvo pramení aj z toho, že blokácia hlavných trás spôsobuje presmerovanie tisícov osôb do menej kapacitných úzkých prechodov, čo môže viesť k dramatickému nárastu hustoty, chaosu a predĺženiu evakuačných časov.

Požiar stánku alebo elektroinštalácie

Požiar alebo dymová udalosť predstavuje málo pravdepodobnú, ale stále relevantnú hrozbu, ktorá môže vzniknúť pri poruche elektroinštalácie, manipulácii s tepelnými spotrebičmi alebo technickej závade. Ide o hrozbu, ktorá môže vzniknúť bez úmyslu

páchateľa, má rýchly priebeh a v hustote davu spôsobuje okamžité šírenie paniky. Každý stánok je vybavený hasiacim prístrojom, čo minimalizuje riziko rozšírenia požiaru. Nebezpečenstvo však spočíva v bezprostrednej reakcii davu, zníženej viditeľnosti, šírení dymu a rýchlom preskupení osôb, ktoré môže viesť k preťaženiu únikových trás.

Kolaps konštrukcie

Vianočné trhy zahŕňajú množstvo dočasných konštrukcií a dekorácií umiestnených nad hlavami osôb. Zlyhanie upevnenia, silný vietor alebo technická porucha môže spôsobiť pád svetelnej výzdoby, závesných prvkov alebo menšej konštrukcie. Aj keď pravdepodobnosť veľkého kolapsu je nízka, samotný incident dokáže spôsobiť šok, lokálnu paniku a náhle zhustenie davu, ktoré môže viesť k sekundárnemu ohrozeniu na únikových trasách.

Panika spôsobená falošnou informáciou

Ide o psychologickú hrozbu, ktorá môže vzniknúť bez prítomnosti skutočného útočníka. Stačí mylný výkrik, zle interpretovaný zvuk, pád kovového predmetu alebo falošná informácia šírená medzi návštevníkmi. Tento typ incidentu môže veľmi rýchlo vyvolať panické správanie davu a spôsobiť nekontrolovaný pohyb smerom k únikovým trasám. Hrozba je obzvlášť významná v úzkych profiloch a v miestach s vysokou statickou hustotou.

3.3.2 Kvantifikácia rizík

Kvantifikácia rizík spočíva v priradení hodnôt pravdepodobnosti výskytu scenára a závažnosti jeho dopadov. Vzhľadom na dynamické prostredie vianočných trhov a vysokú mieru neistoty pri odhadoch ľudského správania je v tejto práci aplikované kvalitatívne hodnotenie. Tento prístup umožňuje odborný odhad rizík bez nutnosti zavádzania zavádzajúcich číselných hodnôt.

Pre potreby analýzy boli v súlade s metodikou RIPRAN stanovené nasledujúce stupnice pre pravdepodobnosť (P) a dopady (D).

1. Pravdepodobnosť scenára (P):

Vyjadruje mieru očakávania, že daný scenár nastane počas trvania podujatia.

- **Vysoká (VP):** Scenár s vysokou pravdepodobnosťou výskytu (nad 33 %), javy, ktoré sa na hromadných akciách vyskytujú opakovane (napr. drobné konflikty, pády).
- **Stredná (SP):** Scenár, ktorého výskyt je možný, ale menej častý (10 – 33 %), vyžaduje súbeh niekoľkých nepriaznivých faktorov.
- **Nízka (NP):** Scenár s veľmi malou pravdepodobnosťou (pod 10 %), javy výnimočné alebo extrémne (napr. cielený útok).

2. Dopad scenára (D):

Vyjadruje mieru negatívnych následkov na zdravie návštevníkov a bezpečnosť evakuačného procesu.

- **Veľký nepriaznivý (VD):** Kritické ohrozenie životov a zdravia, hromadné zranenia, úplné zlyhanie evakuačného plánu.
- **Stredný nepriaznivý (SD):** Vážne narušenie plynulosti evakuácie, vznik nebezpečných hustôt, vyžadujúce odborný zásah zložiek IZS.
- **Malý nepriaznivý (MD):** Lokálne narušenie poriadku, ktoré nevyvoláva celoplošnú paniku ani vážne ohrozenie zdravia väčšiny účastníkov.

Na základe kombinácie pravdepodobnosti výskytu scenára (P) a závažnosti jeho dopadov (D) je v rámci metódy RIPRAN určená výsledná miera rizika. Vzhľadom na kvalitatívny charakter hodnotenia je miera rizika stanovená pomocou väzobnej tabuľky, ktorá umožňuje transparentné a jednotné priradenie hodnoty rizika jednotlivým scenárom.

Väzobná tabuľka vyjadruje vzťah medzi úrovňami pravdepodobnosti a dopadov a rozdeľuje riziká do troch základných kategórií.

	VD	SD	MD
VP	vysoká hodnota rizika VHR	vysoká hodnota rizika VHR	stredná hodnota rizika SHR
SP	vysoká hodnota rizika VHR	stredná hodnota rizika SHR	nízka hodnota NHR
NP	stredná hodnota rizika SHR	nízka hodnota NHR	nízka hodnota NHR

Tabuľka 8: Väzobná tabuľka (Zdroj: interný zdroj)

V nasledujúcej tabuľke sú jednotlivé hrozby ohodnotené podľa vyššie definovaných stupní.

Ozn.	Hrozba	Pravdepodobnosť (P)	Dopad (D)	Miera rizika
H1	Narušenie bezpečnosti uprostred davu	Vysoká (VP)	Veľký nepriaznivý (VD)	VHR
H2	Útok vozidlom	Nízka (NP) až Stredná (SP)	Veľký nepriaznivý (VD)	VHR
H3	Zablokovanie únikových trás	Stredná (SP)	Veľký nepriaznivý (VD)	VHR
H4	Požiar stánku	Nízka (NP)	Stredný nepriaznivý (SD)	NHR/SHR
H5	Kolaps konštrukcie	Nízka (NP)	Stredný nepriaznivý (SD)	NHR
H6	Panika z falošnej informácie	Stredná (SP)	Stredný nepriaznivý (SD)	SHR

Tabuľka 9: Tabuľka hodnotenia rizík (Zdroj: vlastné spracovanie)

Na základe výsledkov analýzy metódou RIPRAN boli pre simulačné modelovanie evakuácie vybrané tri scenáre, ktoré dosiahli kategóriu vysoká hodnota rizika (VHR): narušenie bezpečnosti uprostred davu, útok vozidlom z ulice Rašínova a úmyselné zablokovanie hlavných únikových trás. Tieto hrozby kombinujú vysokú alebo strednú pravdepodobnosť výskytu s kritickými dopadmi na život a zdravie návštevníkov.

Scenár narušenia bezpečnosti uprostred davu predstavuje hrozbu s najvyššou pravdepodobnosťou výskytu, ktorá v prostredí s extrémnou hustotou osôb (nad 4 os./m²) môže spustiť nekontrolovanú reťazovú reakciu. Oproti tomu útok vozidlom a úmyselné zablokovanie únikových trás vykazujú síce nižšiu pravdepodobnosť, ale ich dopady sú strategické a vedú k fatálnemu zlyhaniu evakuačných kapacít územia. Práve tieto tri stavy sú v rámci praktickej časti simulované v softvéri Pathfinder, aby bolo možné kvantifikovať nárast evakuačných časov a identifikovať kritické miesta (tzv. bottlenecks).

Výber týchto troch scenárov predstavuje modelovanie tzv. worst-case situácií, ktoré preveria odolnosť priestoru pri extrémnych podmienkach. Ostatné identifikované hrozby s nižšou mierou rizika (NHR) sú v simulácii uvažované ako sekundárne faktory, ktoré sú v reálnom čase eliminované existujúcimi technickými a organizačnými opatreniami. Výsledky modelovania týchto kritických stavov následne poslúžia ako podklad pre návrh finálnych nápravných opatrení v záverečnej kapitole práce.

Ostatné identifikované hrozby (požiar stánku, kolaps konštrukcie, falošná informácia) dosiahli nízku hodnotu rizika (NHR). Ich dopad je buď lokálne obmedzený, alebo sú ich riziká dostatočne eliminované existujúcimi technickými a organizačnými opatreniami (revízie, hasiace prístroje). Výsledky tejto analýzy tak poskytujú metodicky zdôvodnené východisko pre definovanie okrajových podmienok simulácie a pre následný návrh opatrení na zvýšenie úrovne ochrany návštevníkov.

3.4 Simulačný model evakuácie

3.4.1 Úvod do modelovania

Simulačné modelovanie evakuácie nadväzuje na vykonanú analýzu rizík a slúži na praktické overenie predpokladaného správania davu v krízových situáciách. Tento prístup umožňuje kvantifikovať mieru priepustnosti verejného priestoru a identifikovať faktory, ktoré by v prípade reálneho narušenia vianočných trhov mohli negatívne ovplyvniť plynulosť evakuácie.

Pre účely simulácie bol zvolený softvér Pathfinder (verzia 2024.2), ktorý, ako už bolo podrobnejšie popísané v teoretickej časti práce. Nástroj využíva agentný prístup, ktorý umožňuje detailne simulovať pohyb každého návštevníka ako individuálneho agenta. Model zohľadňuje nielen fyzické parametre osôb, ale aj ich vzájomné

interakcie a reakcie na prekážky v prostredí. Vďaka tomu je možné v simulácii identifikovať nielen celkový čas evakuácie, ale aj kritické javy, ako sú lokálne zhustenia, tvorba úzkych hrdiel či dynamické zmeny hustoty davu.

Hlavným cieľom simulácie je verifikácia evakuačných procesov pre scenáre, ktoré boli v kapitole 3.3.2 tejto práce vyhodnotené ako kritické. Konkrétne ide o scenáre narušenia bezpečnosti v dave (H1), útoku vozidlom (H2) a úmyselného zablokovania únikových trás (H3). Model sa zameriava na hodnotenie rýchlosti vyprázdnenia priestoru a identifikáciu miest, kde dochádza k preťaženiu únikových trás. Posúdenie špecifik dvoch lokalít, námestia Svobody a Zelného trhu, umožňuje porovnať vplyv odlišných urbanistických charakteristík a priestorového usporiadania na celkovú bezpečnosť návštevníkov.

3.4.2 Vstupné parametre modelu

Vstupné parametre simulačného modelu definujú okrajové podmienky a technické predpoklady, za ktorých je proces evakuácie modelovaný. Ich korektné nastavenie je kľúčové pre dosiahnutie relevantných výsledkov a objektívnu interpretáciu dynamiky davu počas simulovaných mimoriadnych situácií. V diplomovej práci boli tieto parametre stanovené na základe technických charakteristík vianočných trhov, priestorových limitov riešeného mestského prostredia.

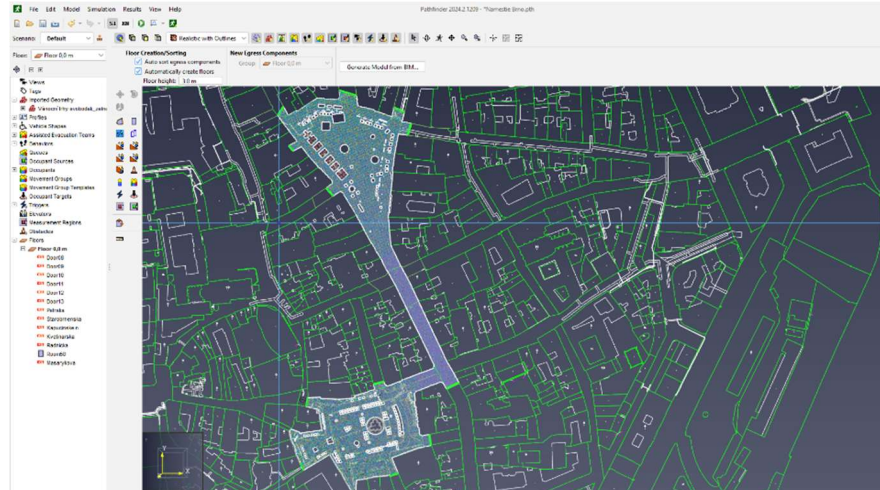
Z hľadiska presnosti modelu boli vstupné dáta rozdelené do niekoľkých kategórií, ktoré zahŕňajú priestorovú geometriu, charakteristiku agentov (návštevníkov) a časové faktory ovplyvňujúce začiatok a priebeh pohybu. Model v rámci týchto parametrov uvažuje s najnepriaznivejším stavom naplnenia kapacity, čím umožňuje identifikovať reálne limity priepustnosti únikových ciest a vplyv dočasných prekážok, akými sú predajné stánky či pódia, na celkovú plynulosť evakuačného procesu.

Priestorové dáta modelu

Priestorový model bol vypracovaný na základe digitálnych katastrálnych a situačných podkladov riešeného územia, ktoré poskytujú presné priestorové vymedzenie Námestia Svobody a Zelného trhu. Podkladové dáta boli spracované v CAD prostredí a následne exportované do formátu DXF, ktorý umožňuje ich priamy import do simulačného prostredia softvéru Pathfinder 2024.2. Po importe vektorových podkladov do programu bola vykonaná kontrola správnosti mierky a polohopisného osadenia geometrie v pracovnom priestore. Následne bola geometria účelovo upravená a zjednodušená s cieľom zachovať len tie štruktúry, ktoré majú priamy vplyv na pohyb osôb a priepustnosť priestoru. Detaily bez významu pre simuláciu evakuácie boli odstránené, aby sa predišlo zbytočnému zaťaženiu výpočtového procesu a zároveň bola zachovaná prehľadnosť modelu.

Ako je znázornené na obr. č. 23, do modelu boli zapracované všetky štruktúry ovplyvňujúce priechodnosť územia, najmä predajné stánky, pódium, vianočný strom a prvky mestského mobiliáru. Tieto objekty boli definované ako nepriechodné

prekážky, čím sa presne vymedzila čistá dochádzková plocha dostupná pre pohyb agentov. Model reflektuje reálne šírky únikových ciest a rešpektuje umiestnenie stánok tak, ako je to v praxi realizované. Osobitná pozornosť bola venovaná miestam so zníženou priechodnosťou, ktoré boli identifikované ako potenciálne úzke hrdlá.



Obrázok 23: Priestorový model námestí v prostredí softvéru Pathfinder s importovanými podkladmi a dočasnými objektmi (Zdroj: vlastné spracovanie)

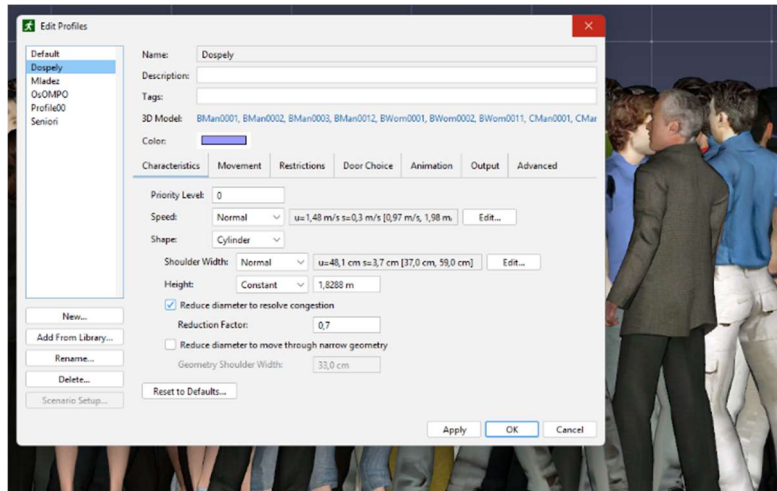
Parametre davu v simulácii

Parametre davu použité v simulačnom modeli vychádzajú z analýzy demografického zloženia návštevníkov a charakteristík ich pohybu, ktoré sú podrobne spracované v kapitole 3.2. tejto práce. Ide predovšetkým o hodnoty statickej hustoty osôb, predpokladanú maximálnu návštevnosť riešeného územia, vekovú skladbu a špecifické priestorové nároky jednotlivých skupín osôb. Tieto údaje sú v tejto časti práce považované za fixné vstupné dáta a nie sú opätovne duplikované, čím je zachovaná prehľadnosť dokumentu.

V prostredí softvéru Pathfinder sú uvedené charakteristiky aplikované pomocou definície špecifických profilov agentov (napr. dospelí, seniori, mládež), ako je znázornené na obr. č. 24. Každý profil je charakterizovaný súborom parametrov, najmä rýchlosťou pohybu, priestorovými nárokmi a schopnosťou reagovať na zmeny hustoty davu. V modeli sú tak zohľadnené rozdiely medzi jednotlivými vekovými kategóriami, ako aj osoby so zníženou pohyblivosťou, ktorých prítomnosť môže mať významný vplyv na plynulosť pohybu v exponovaných miestach.

Model automaticky zohľadňuje nelineárny vzťah medzi hustotou davu a rýchlosťou pohybu osôb (tzv. fundamentálny diagram). V dôsledku zvyšovania hustoty dochádza k postupnému znižovaniu rýchlosti agentov, čo umožňuje realisticky zachytiť správanie davu v podmienkach vysokého zaťaženia verejného priestoru. Tento mechanizmus je kľúčový najmä pri hodnotení evakuačných procesov, keďže umožňuje identifikovať lokálne zhustenia a vznik preťažených úsekov. Takto nastavené parametre davu vytvárajú jednotný a porovnateľný základ pre všetky

uvažované simulačné scenáre. Vďaka tomu je možné objektívne hodnotiť vplyv priestorového usporiadania a umiestnenia dočasných objektov na priebeh evakuácie bez skreslenia výsledkov rozdielnymi vstupnými predpokladmi.



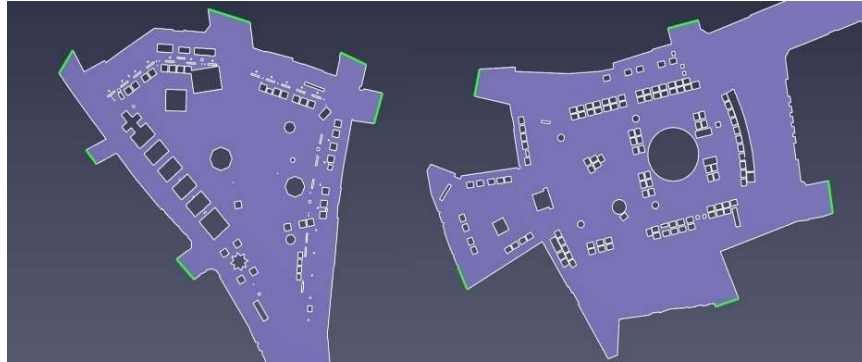
Obrázok 24: Znáznornenie nastavenia parametrov agentov v softvéri Pathfinder (Zdroj: vlastné spracovanie)

Prekážky a obmedzenia pohybu

Prítomnosť prekážok a obmedzení pohybu predstavuje dominantný faktor, ktorý ovplyvňuje priebeh evakuácie v špecifickom prostredí vianočných trhov, kde je verejný priestor dočasne limitovaný rozmiestnením dočasných stavieb a technického zázemia. V porovnaní s bežným stavom námestí dochádza počas konania trhov k výraznému zmenšeniu voľnej dochádzkovej plochy a k zmene priestorových vzťahov medzi jednotlivými časťami územia.

V simulačnom modeli sú preto zahrnuté všetky objekty, ktoré majú priamy vplyv na priechodnosť priestoru a usmerňovanie pohybu návštevníkov.

V prostredí softvéru Pathfinder sú tieto prvky definované ako nepriechodné bariéry, ktoré agenti nemôžu prekročiť a sú nútení ich obchádzať. Ide najmä o radové usporiadanie predajných stánkov, ktorý vytvára koridorový charakter pohybu, pódium určené pre kultúrny program, vianočný strom ako centrálny prvok zhromaždenia, ako aj technické zázemie. Na oboch riešených námestiach boli tieto prvky modelované v ucelených blokoch a radoch presne podľa ich reálneho umiestnenia v teréne. Toto priestorové usporiadanie mení pôvodne otvorený charakter námestí na sieť vzájomne prepojených koridorov, čo v modeli priamo ovplyvňuje vyhľadávania únikových ciest. Ich zapracovanie umožňuje realisticky zachytiť vznik úzkych hrdiel a nerovnomerné rozloženie hustoty davu v priestore, najmä v počiatkových fázach evakuácie.



Obrázok 25: Rozmiestnenie nepriechodných prekážok v simulačnom modeli Námestia Svobody (vľavo) a Zelného trhu (vpravo) (Zdroj: vlastné spracovanie)

Predpoklady a obmedzenia modelu

Vzhľadom na zložitosť dynamiky davu a špecifiká vianočných trhov v Brne, je simulačný prístup použitý v tejto diplomovej práci založený na viacerých predpokladoch, ktoré umožňujú zjednodušiť komplexné správanie davu do podoby vhodnej pre numerické modelovanie.

Základným parametrom je racionálne správanie osôb, ktoré v prípade mimoriadnej udalosti smerujú k dostupným únikovým trasám s cieľom opustiť priestor. V diplomovej práci sa neuvažuje s individuálnymi extrémnymi reakciami, ako sú náhle pády, agresívne správanie alebo úplná dezorientácia jednotlivcov, čím je umožnené sústrediť analýzu na priepustnosť samotného priestoru bez vplyvu nepredvídateľných psychologických faktorov.

Ďalším dôležitým zjednodušením, ktoré je v práci uplatnené, je nastavenie reakčného času agentov. Hoci sa v reálnych podmienkach reakcie jednotlivcov líšia v závislosti od ich polohy a vnímania situácie, pre účely tejto diplomovej práce je zvolený prístup, ktorý umožňuje objektívnejšie porovnanie jednotlivých simulačných scenárov a vplyvu priestorového usporiadania trhov na celkový čas evakuácie.

Pri interpretácii výsledkov sú v práci zohľadnené aj limity modelu v oblasti fyzikálnych vplyvov. Simulácia nezohľadňuje účinky dymu, tepla ani zníženej viditeľnosti, ktoré by v reálnej situácii mohli ovplyvniť rýchlosť pohybu osôb. Rovnako nie je do modelu zahrnutý aktívny zásah bezpečnostných zložiek ani riadenie davu organizátormi, čím simulácia reprezentuje situáciu spoliehajúcu sa na prirodzenú priechodnosť územia.

Model ďalej predpokladá nemenné priestorové usporiadanie Námestia Svobody a Zelného trhu počas celej simulácie. Neuvažuje sa o možnostiach dynamického presúvania prekážok či spontánneho vytvárania nových priechodov návštevníkmi. Napriek týmto vedomým obmedzeniam, Predložený model v rámci tejto diplomovej práce umožňuje identifikovať kritické miesta s potenciálnom preťažením (úzka hrdlá) a poskytuje dostatočne presný obraz o kapacitných možnostiach Námestia Svobody a Zelného trhu v čase ich maximálneho zaplnenia.

3.4.3 Definovanie únikových trás

Námestie Svobody

Únikové trasy v simulačnom modeli Námestia Svobody boli navrhnuté tak, aby kopírovali skutočný tvar územia a rešpektovali prirodzené pohybové návyky návštevníkov. Do simulačného prostredia boli implementované výstupné body (exity) smerujúce do ulíc Česká, Rašínova, Běhounská, Kobližná, Zámečnická a Masarykova. Do celkovej kapacity bola zahrnutá aj príhlá pasáž s podchodom, ktorej súčasťou je krátke schodisko predstavujúce lokálnu bariéru, ktorá môže v modeli spomaliť plynulosť prúdu. Model potvrdzuje, že kľúčovú úlohu v evakuačnom procese zohrávajú najmä ulice Masarykova a Rašínová, ktoré fungujú ako primárny evakuačný koridor s najvyššou mierou vyťaženia.

Analýza pohybu agentov v simulačnom prostredí (obrázok 27) umožnila identifikovať miesta so zníženou priechodnosťou, ktoré v modeli generujú charakteristické úzke hrdlá (bottlenecks). Tieto javy sú vyvolané najmä koridorovým usporiadaním predajných stánkov, ktoré fixne obmedzujú efektívnu šírku plochy. V simulácii sa najväčšia koncentrácia ľudí prejavuje v centrálnej zóne námestia a pri jeho napojení na ulicu Rašínova, ktorá funguje ako hlavná odtoková trasa v smere k ulici Joštova. V týchto úsekoch dochádza v simulácii k automatickému nárastu hustoty a následnému zníženiu individuálnej rýchlosti agentov v dôsledku fyzického obmedzenia priestoru medzi stánkami.

Kapacita jednotlivých únikových trás je v modeli definovaná ich skutočnými priestorovými parametrami po odpočítaní dočasných prekážok. Variabilná kapacita jednotlivých trás, ovplyvnená ich šírkou a dĺžkou zúžených úsekov, priamo formuje dynamiku evakuačného prúdu v čase. Tento postup v praktickej časti práce umožňuje presne vyhodnotiť, akým spôsobom priestorové usporiadanie vianočných trhov ovplyvňuje dĺžku evakuačného procesu. Z výsledkov simulácie vyplýva, že kým široké profily ulíc Masarykova a Rašínova sú schopné absorbovať najväčší objem osôb, ich efektívna priepustnosť je v počiatočných fázach evakuácie limitovaná práve geometriou usporiadania predajných miest na námestiach.



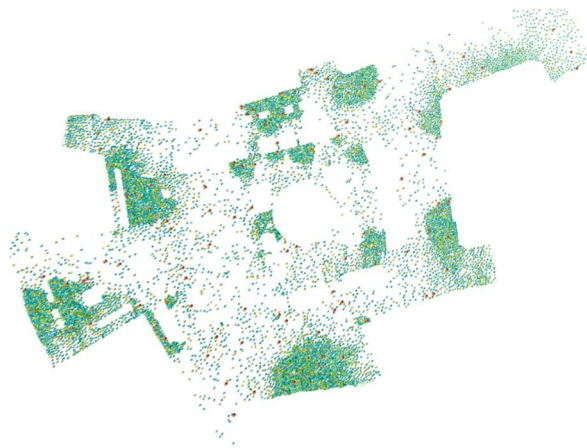
Obrázok 26: Simulácia evakuačných prúdov – Námestie Svobody (Zdroj: vlastné spracovanie)

Zelný trh

Hlavné únikové trasy z plochy Zelného trhu boli v simulačnom modeli definované s ohľadom na špecifické členité usporiadanie územia a jeho napojenie na sieť historických komunikácií. Do simulačného prostredia boli implementované únikové smery vedúce do ulíc Radnická, Starobrněnská, Petrská, Květnářská, ako aj smery na Kapucínské námestie a ulicu Masarykova. Tento priestorový charakter, definovaný užšími výstupnými profilmi, sa v modeli prejavuje odlišnou dynamikou evakuačných prúdov v porovnaní s otvorenou plochou Námestia Svobody.

Analýza správania agentov v rámci modelu umožnila identifikovať kritické miesta, ktoré pre svoju limitovanú šírku fungujú ako úzke hrdlá (bottlenecks). Výrazné lokálne zhustenie osôb sa v simulácii objavuje najmä v miestach napojenia trhu na ulice Radnická a Květinářská. Vizuálne výstupy simulácie potvrdzujú, že v týchto úsekoch dochádza k rýchlemu nárastu hustoty už v počiatkovej fáze evakuácie, nakoľko historická zástavba a radové usporiadanie stánkov neumožňujú plynulý rozptyl davu. Ďalšie miesta s vysokou koncentráciou pohybu sú v modeli lokalizované pri prechodoch smerom na Kapucínské námestie a k ulici Masarykova, kde dochádza ku kolíziám viacerých evakuačných prúdov.

Kapacita únikových trás na Zelnom trhu je v modeli posudzovaná na základe ich reálnych šírkových pomerov po odpočítaní trvalých a dočasných prekážok. Vzhľadom na obmedzenú kapacitu historických uličiek model zachytáva zvýšenú náchylnosť územia na tvorbu lokálnych zhustení pohybu. Takto zvolený analytický postup v praktickej časti diplomovej práce umožňuje presne posúdiť, ako priestorová konfigurácia Zelného trhu spolu s dočasnými trhovými stavbami vplýva na celkovú dĺžku evakuácie aj na plynulosť pohybu v najviac zaťažených bodoch územia.



Obrázok 27: Simulácia evakuačných prúdov – Zelný trh (Zdroj: vlastné spracovanie)

3.5 Nastavenie simulačných scenárov

Cieľom tejto kapitoly je špecifikovať jednotlivé varianty mimoriadnych situácií, ktoré sú v simulačnom modeli uvažované a následne vyhodnocované z hľadiska dynamiky pohybu osôb a celkového priebehu evakuácie. Zvolené scenáre vychádzajú z analýzy

rizík v kapitole 3.3. a umožňujú porovnať vplyv rozdielnych typov narušenia správania davu, vznik úzkych hrdiel a časovú náročnosť opustenia riešeného priestoru.

Jednotlivé scenáre sú v rámci modelu aplikované konzistentne pre celé riešené územie, čo zabezpečuje objektivitu pri následnom porovnávaní výsledkov medzi Námestím Svobody a Zelným trhom. Rozdiely v správaní agentov sa v simulácii prejavujú prirodzene prostredníctvom odlišného priestorového usporiadania, špecifickej kapacity únikových trás a prítomnosti pevných bariér vianočných trhov.

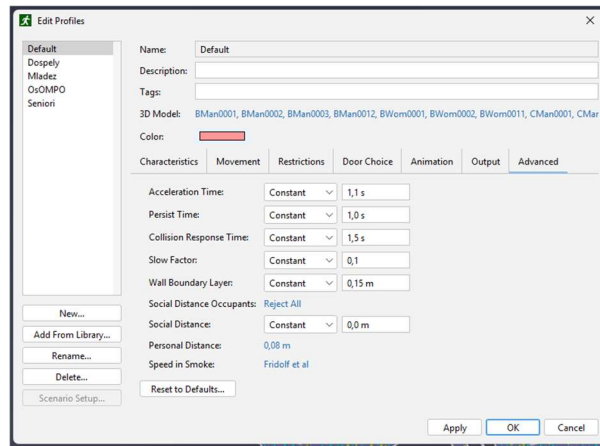
V nasledujúcich podkapitolách sú podrobne charakterizované tri základné simulačné scenáre, ktoré reprezentujú odlišné prevádzkové stavy. Scenáre sa líšia najmä v počiatočnom rozmiestnení osôb, ich celkovom počte a v dostupnosti vybraných únikových smerov, čím vytvárajú komplexný rámec pre vyhodnotenie bezpečnosti a evakuačnej kapacity riešených lokalít v mestskom prostredí.

Scenár A - Narušenie bezpečnosti uprostred davu

Scenár A predstavuje simuláciu, ktorá modeluje náhle narušenie bezpečnosti uprostred zhromaždeného davu bez presného určenia miesta vzniku incidentu. Model simuluje situáciu zodpovedajúcu náhlej hrozbe, akou je násilná kriminálna činnosť (napr. strelba), ktorá vyvoláva okamžitú panickú reakciu návštevníkov. Toto riešenie reflektuje reálne podmienky mäkkých cieľov, kde vznik hrozby nie je možné vopred lokalizovať a správanie davu je definované snahou o okamžitý únik z ohrozeného priestoru.

V simulačnom modeli je vznik mimoriadnej udalosti reprezentovaný náhlou zmenou správania všetkých agentov, ktorí po zaznamenaní hrozby reagujú evakuačným pohybom smerom k dostupným únikovým trasám. Reakcia agentov nie je viazaná na jeden konkrétny bod vzniku incidentu, ale prejavuje sa plošne v rámci celého riešeného územia. To zodpovedá situáciám, pri ktorých sa informácia o ohrození šíri medzi osobami rýchlo a nekontrolovane, napríklad prostredníctvom zvukových vnemov alebo panického správania okolia.

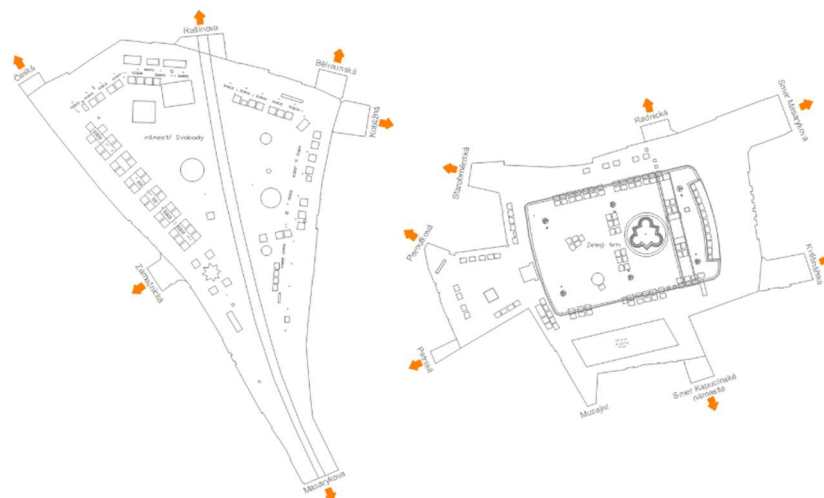
Na rozdiel od zjednodušených modelov, evakuácia v tomto scenári nezačína v ideálnom čase $t = 0$. Reálny začiatok pohybu a šírenie evakuačnej vlny sú ovplyvnené pokročilými nastaveniami profilov agentov v softvéri Pathfinder, ktoré sú detailne zobrazené na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 28: Nastavenie parametrov pohybu agentov v softvéri Pathfinder (Zdroj: vlastné spracovanie)

Kľúčovým faktorom simulácie je nastavený čas zrýchlenia *Acceleration Time* – 1,1 s, ktorý určuje čas potrebný na dosiahnutie plnej únikovej rýchlosti, a čas zotrvania *Persist Time* – 1,0 s, ktorý simuluje krátke váhanie agenta pred definitívnou zmenou smeru pohybu. Interakcia v hustom dave je ďalej upresnená parametrom reakčného času na kolíziu *Collision Response Time* – 1,5 s, ktorý definuje časovú odozvu agenta pri fyzickom kontakte s inou osobou alebo prekážkou. Tieto parametre zabezpečujú, že hoci je povel na evakuáciu vydaný plošne, fyzický pohyb ľudí zostáva prirodzene pomalý a nerovnomerný.

V rámci scenára A sú všetky únikové trasy považované za plne priechodné a dostupné počas celého priebehu simulácie. Neuvažuje sa s blokovaním ulíc, uzatváraním priechodov ani so zmenami organizácie pohybu v dôsledku zásahu bezpečnostných zložiek. Počiatočný počet osôb v riešenom území je stanovený na 25 000 agentov, pričom ich rozmiestnenie je v modeli uvažované ako rovnomerné v rámci oboch námestí. Osobitne je zohľadnená ulica Masarykova, ktorá slúži ako významný komunikačný a prepojavací priestor medzi Námestím Svobody a Zelným trhom, kde sa v čase simulácie nachádza približne 1 500 osôb. Toto rozdelenie reflektuje charakter územia počas zvýšenej návštevnosti a umožňuje zachytiť interakcie davu v prechodových priestoroch s vysokou intenzitou pohybu.



Obrázok 29: Mapa únikových trás a východov (Zdroj: vlastné spracovanie)

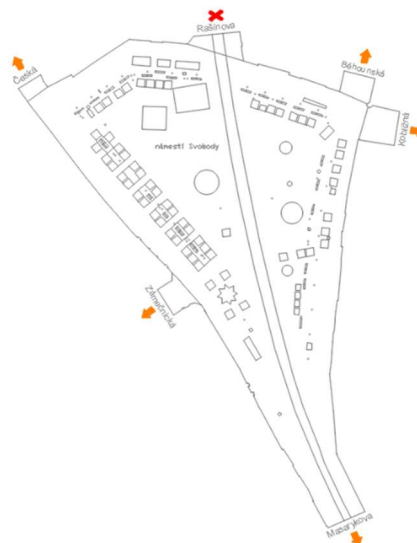
Scenár B - Útok vozidlom

Scenár B predstavuje simuláciu zameranú na mimoriadnu situáciu spôsobenú úmyselným útokom vozidlom v priestore verejného zhromaždenia. Tento typ hrozby patrí medzi typické riziká mäkkých cieľov v mestskom prostredí, najmä v lokalitách s vysokou koncentráciou osôb a s priamym napojením na komunikačné trasy umožňujúce vjazd vozidiel do priestoru námestí.

Na rozdiel od Scenáru A je v tejto variante uvažované s čiastočným obmedzením dostupnosti únikových trás v dôsledku vzniku incidentu. V simulačnom modeli je uzatvorená vždy iba jedna z dvoch kľúčových komunikácií, ulica Rašínova alebo ulica Masarykova, pričom tieto varianty nie sú kombinované súčasne. Ostatné únikové smery zostávajú počas celej simulácie plne priechodné. Takto definovaný prístup umožňuje posúdiť vplyv lokálneho obmedzenia významnej komunikačnej trasy na správanie davu a priebeh evakuácie bez úplnej straty prepojenia medzi riešenými námestiami.

Vznik mimoriadnej udalosti je, podobne ako v Scenári A, modelovaný ako náhla zmena správania agentov v dôsledku bezprostredného ohrozenia. Reakcia osôb sa prejavuje snahou o čo najrýchlejšie opustenie riešeného priestoru prostredníctvom dostupných únikových smerov. Parametre pohybu agentov, vrátane času zrýchlenia *Acceleration Time*, času zotrvania *Persist Time* a odozvy na kolíziu *Collision Response Time*, sú v Scenári B nastavené identicky podľa konfiguračného profilu definovaného v Scenári A. Tento prístup zaručuje metodickú konzistentnosť simulácie a umožňuje priame porovnanie vplyvu priestorových obmedzení na dynamiku evakuácie.

Scenár B tak vytvára prechod medzi referenčným stavom s plne dostupnými únikovými trasami a komplexnejšími krízovými situáciami uvažovanými v nasledujúcej simulačnej variante. Jeho účelom je overiť citlivosť riešeného územia na lokálne obmedzenie kľúčových komunikácií a vytvoriť podklad pre porovnanie s ďalším scenárom s vyššou mierou priestorových obmedzení.



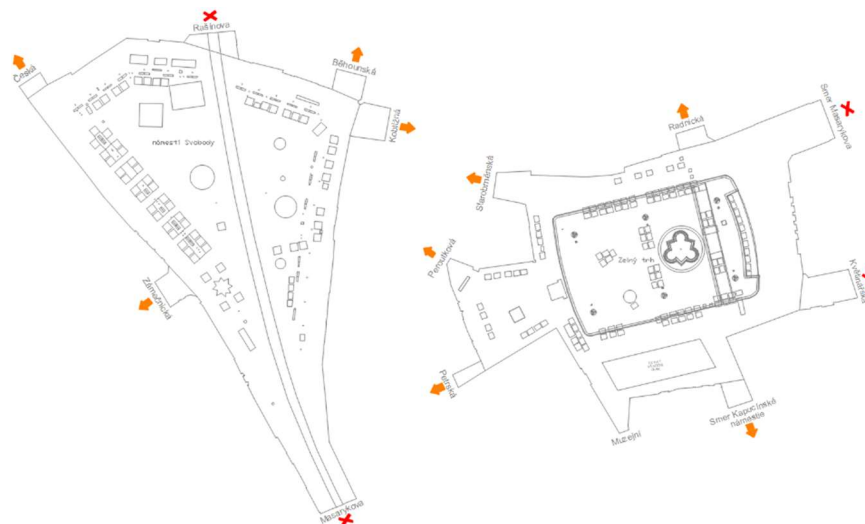
Obrázok 30: Mapa únikových trás s vyznačením uzavery Rašínovej ulice (Zdroj: vlastné spracovanie)

Scenár C – Zablokovanie hlavných únikových trás

Scenár C predstavuje kritickú simuláciu (tzv. *worst-case scenario*), v ktorej je uvažované s úmyselným obmedzením vybraných kľúčových únikových smerov z verejného priestoru s cieľom modelovať stav výrazne zníženej evakuačnej kapacity. Na rozdiel od predchádzajúcich simulácií nedochádza len k lokálnemu obmedzeniu jednej komunikácie, ale k súčasnému uzatvoreniu dvoch hlavných únikových trás, ktoré zohrávajú zásadnú úlohu v organizácii pohybu osôb na oboch námestiach a v ich vzájomnom prepojení.

V rámci scenára je uvažované s úplným uzatvorením ulice Masarykova, ktorá predstavuje najvýznamnejší evakuačný koridor riešeného územia a zabezpečuje priame prepojenie medzi Námestím Svobody a Zelným trhom. Zablokovanie tejto tepny má systémový dopad na evakuáciu oboch lokalít. Na Námestí Svobody dochádza k prerušeniu hlavného južného únikového smeru, pričom ako ďalší uzavretý hlavný smer je v modeli uvažovaná ulica Rašínova. Tým je dav nútený presmerovať sa do bočných a menej kapacitných komunikácií, čím sa simuluje kombinované priestorové obmedzenie typické pre kritický stav verejného priestoru. Na Zelnom trhu uzatvorenie ulice Masarykova spôsobuje nielen stratu hlavného severného únikového smeru, ale má aj funkčný dopad na dostupnosť nadväzujúcich komunikácií smerujúcich ku Květinárskej ulici. Tým dochádza k výraznému zníženiu počtu efektívnych únikových možností a k zvýšeniu hustoty osôb v úzkych profiloch pri uliciach Radnická a Starobrněnská.

Ostatné sekundárne komunikácie sú v modeli zámerne ponechané otvorené, aby evakuácia prebiehala presmerovaním davu do menej komfortných priestorov, čo umožňuje sledovať vznik „úzkych hrdiel“ *bottlenecks* a kriticky zvýšených koncentrácií osôb v reálnom čase. Počet osôb a ich počtiatočné rozmiestnenie zostávajú v Scenári C nastavené identicky ako v predchádzajúcich variantách.



Obrázok 31: Mapa únikových trás s kombinovanou uzávierou komunikácií (Zdroj: vlastné spracovanie)

3.6 Analýza a vyhodnotenie výsledkov simulácií

Výsledky simulácií predložené v tejto kapitole sú vyhodnotené s cieľom posúdiť evakuačnú kapacitu riešeného územia v špecifických podmienkach vianočných trhov a identifikovať miesta so zvýšeným rizikom tvorby preťaženia davu. Simulácie boli spracované v jednom ucelenom modeli, ktorý zahŕňa Námestie Svobody, Zelný trh a ich funkčné prepojenie (ulica Masarykova), ktorý v rámci evakuačnej siete predstavuje významný únikový smer. čo umožňuje sledovať dynamiku pohybu v celom systéme nadväzujúcich komunikácií.

Interpretácia výsledkov kombinuje globálne vyhodnotenie časového priebehu evakuácie s detailnou priestorovou analýzou pohybu osôb. V prvej rovine sú prezentované súhrnné výsledky, ktoré vystihujú celkovú časovú náročnosť evakuácie a základnú distribúciu evakuačných prúdov v rámci riešeného územia. V druhej rovine nasleduje podrobnejšia analýza výsledkov vo vzťahu k nastaveným skupinám agentov a k priestorovým špecifikám oboch lokalít, čo umožňuje objasniť rozdiely v priebehu evakuácie vyplývajúce z odlišnej geometrie priestoru, šírkových pomerov únikových smerov a lokálnych obmedzení.

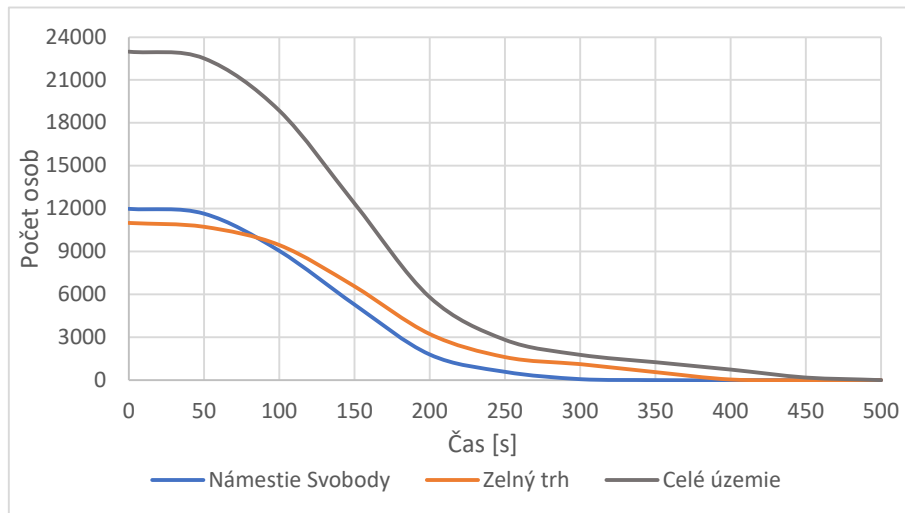
Samotné vyhodnotenie sa sústreďuje na časový priebeh evakuácie, kapacitné zaťaženie východov a priestorovú dynamiku pohybu osôb. Tú dopĺňajú mapové výstupy hustoty davu, relatívnej rýchlosti pohybu a miest s kumulatívnym výskytom preťaženia, ktoré slúžia na identifikáciu kritických zón v nadväznosti na geometriu koridorov, zbiehanie evakuačných prúdov a prítomnosť bariér (napr. rozmiestnenie stánkov). Na základe takto spracovaných výstupov je možné vecne vysvetliť, ktoré časti riešeného územia limitujú plynulosť evakuácie a z akých priestorových dôvodov k týmto javom dochádza. Zistené nedostatky a identifikované kritické miesta následne tvoria základ pre formuláciu technických a organizačných opatrení zameraných na zvýšenie evakuačnej kapacity a celkovej bezpečnosti vianočných trhov.

3.6.1 Scenár A

Časový priebeh evakuácie

Časové vyhodnotenie evakuácie v scenári A sa zameriava na dynamiku vyprázdňovania riešeného územia a na porovnanie dvoch hlavných lokalít vianočných trhov (Námestím Svobody a Zelným trhom), v rámci jedného spoločného simulačného modelu. Scenár A predstavuje základný model narušenia bezpečnosti uprostred davu, v ktorom sú všetky únikové cesty plne funkčné (podrobný popis v kapitole 3.5). V modeli sa v čase $t = 0$ nachádza celkovo 23 000 osôb, pričom rozmiestnenie agentov bolo definované pre dve základné skupiny: 12 000 osôb bolo inicializovaných v priestore Námestia Svobody a 11 000 osôb v priestore Zelného trhu. Priebeh evakuácie je v tejto práci interpretovaný prostredníctvom ukazovateľa *Remaining*, ktorý vyjadruje zostávajúci počet osôb v sledovaných oblastiach. Grafické znázornenie tohto priebehu má klesajúci charakter, kde sklon jednotlivých kriviek

priamo súvisí s kapacitou únikových ciest a rýchlosťou pohybu davu v rôznych fázach simulácie.



Obrázok 32: Priebeh evakuácie - Remaining (Zdroj: vlastné spracovanie)

V úvodnej fáze simulácie (približne do 23,5 s) zostáva krivka takmer konštantná. Tento stav zodpovedá nastavenému reakčnému času, počas ktorého agenti ešte nezačali proces trasovania smerom k východom. Po uplynutí reakčného času nasleduje fáza intenzívneho odtoku, prejavujúca sa najstrmším poklesom kriviek. Porovnanie oboch lokalít ukazuje, že Námestie Svobody aj Zelný trh vykazujú v hlavnej vlne evakuácie veľmi podobnú dynamiku, čo potvrdzuje vyváženú priepustnosť príľahlých komunikácií vzhľadom na počiatkové zaťaženie oboch námestí.

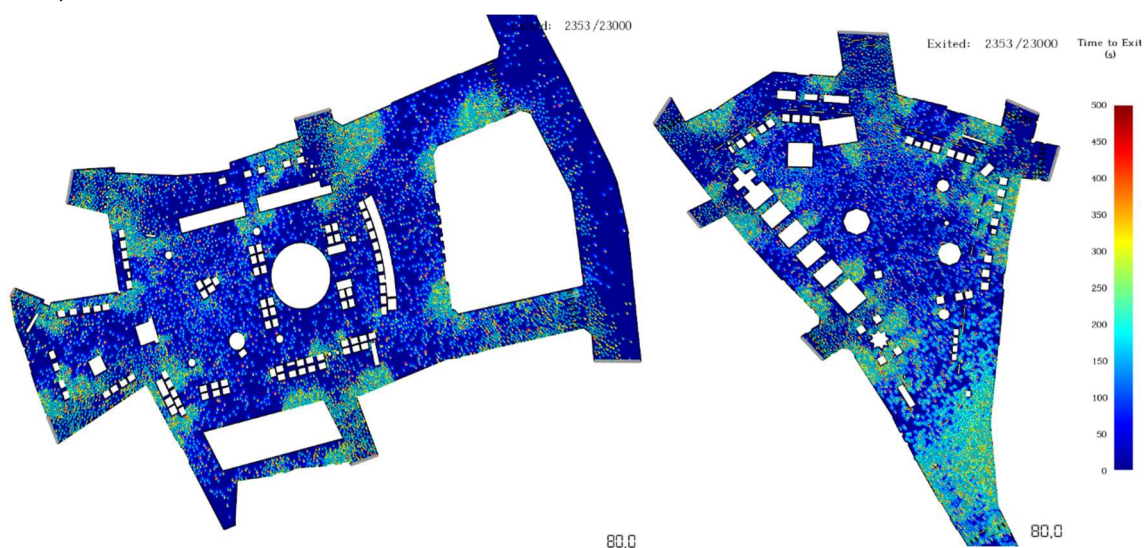
Kvantitatívne vyhodnotenie časového priebehu ukazuje, že rozhodujúca časť evakuácie prebieha v intervale približne 100 – 250 s, kedy dochádza k najvýraznejšiemu úbytku osôb v oboch lokalitách. Z tabuľkových hodnôt (tab. č. 10) je zrejmé, že zatiaľ čo v čase $t = 150$ s zostáva v celom území ešte približne 12 378 osôb, do času $t = 200$ s sa tento počet znižuje na približne 5 806 osôb. Tento takmer 50 % pokles v priebehu 50 sekúnd dokumentuje vysokú efektivitu únikových ciest v počiatkovej fáze, kedy ešte nedochádza k masívnemu zahlteniu východov. V záverečnej fáze sa pokles kriviek spomaľuje, čo je typický prejav doevakuovania okrajových zón. V tomto štádiu už proces neobmedzuje len priepustnosť východov, ale primárne fyzická vzdialenosť agentov z priestorovo členitejších častí modelu.

Dôležitým výsledkom scenára A je rozdiel medzi dobou vyprázdnenia samotných námestí a dobou úplného ukončenia evakuácie celého riešeného územia. Zatiaľ čo jadro oboch námestí je vyprázdnené v čase 308,2 s, celková doba evakuácie celého územia dosiahla 588,8 s. Do výsledného času sa premieta aj dobiehajúci pohyb osôb v nadväzujúcich priestoroch (najmä v koridore Masarykovej ulice), kde sa evakuácia ukončuje až v poslednej fáze simulácie. Výsledky tak naznačujú, že aj pri plynulom odtoku z hlavných plôch môžu nadväzujúce komunikácie predĺžiť celkový čas potrebný na úplné vyprázdnenie územia. Presné hodnoty časových míľnikov pre jednotlivé sledované zóny sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Čas	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Námestie Svobody	12000	11662	9048	5299	1788	585	76	0	0	0	0
Zelný trh	11000	10727	9467	6556	3231	1614	800	0	0	0	0
Celé územie	23000	22521	18865	12378	5806	2816	1776	1249	747	179	9

Tabuľka 10: Kvantitatívne vyhodnotenie časov evakuácie. (Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre detailnejšie pochopenie priestorovej distribúcie času potrebného na opustenie územia sú výsledky doplnené o mapové výstupy *Time to Exit* (obr. č. 33). Analýza potvrdzuje, že jednotlivé časti územia sa líšia svojou schopnosťou zabezpečiť rýchly odchod, pričom niektoré oblasti sú z hľadiska evakuácie výrazne efektívnejšie než iné. Najkratšie časy (tmavomodré oblasti) sa sústreďujú v blízkosti východov. Smerom do vnútorných častí námestí, najmä k oblastiam s vysokou koncentráciou stánkov, sa čas potrebný na únik zvyšuje. Tieto zóny so zvýšeným časom úniku identifikujú miesta, kde bariérové prvky (stánky) spôsobujú lokálnu turbulenciu v prúde davu a vynucujú si zníženie rýchlosti pohybu. Mapové výstupy zároveň poukazujú na to, že aj keď je jadro oboch námestí vyprázdnené relatívne skoro (čo zodpovedá času 308,2 s pre námestia), v nadväzujúcich častiach územia sa čas do úplného opustenia predlžuje čo je v súlade s celkovým ukončením evakuácie v čase 588,8 s.

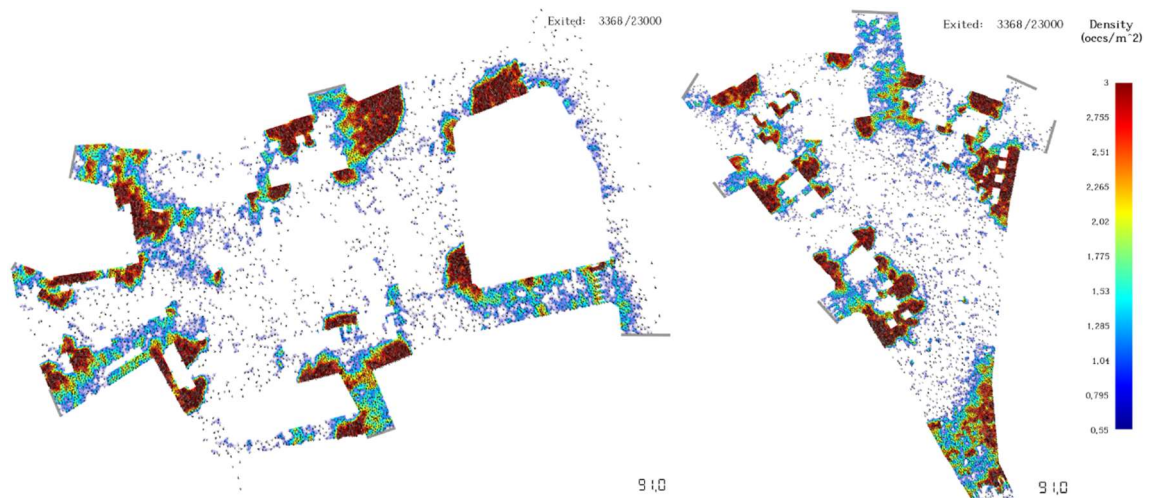


Obrázok 33: Porovnanie mapových výstupov ukazovateľa *Time to Exit* – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo), (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Hustota davu

Na detailné objasnenie dynamiky evakuácie popísanej v predchádzajúcej časti je nevyhnutné analyzovať priestorové javy, ktoré priamo ovplyvňujú nameraný celkový čas evakuácie. Zatiaľ čo časový graf ukazuje momenty, v ktorých dochádza k spomaleniu pohybu osôb, mapové výstupy zo softvéru Pathfinder umožňujú presne identifikovať kritické body (bottlenecks), v ktorých dochádza k lokálnemu

spomaleniu pohybu a k vzniku zvýšenej koncentrácie osôb. Základným ukazovateľom, ktorý vysvetľuje priebeh evakuačných kriviek, je hustota davu *Density*.

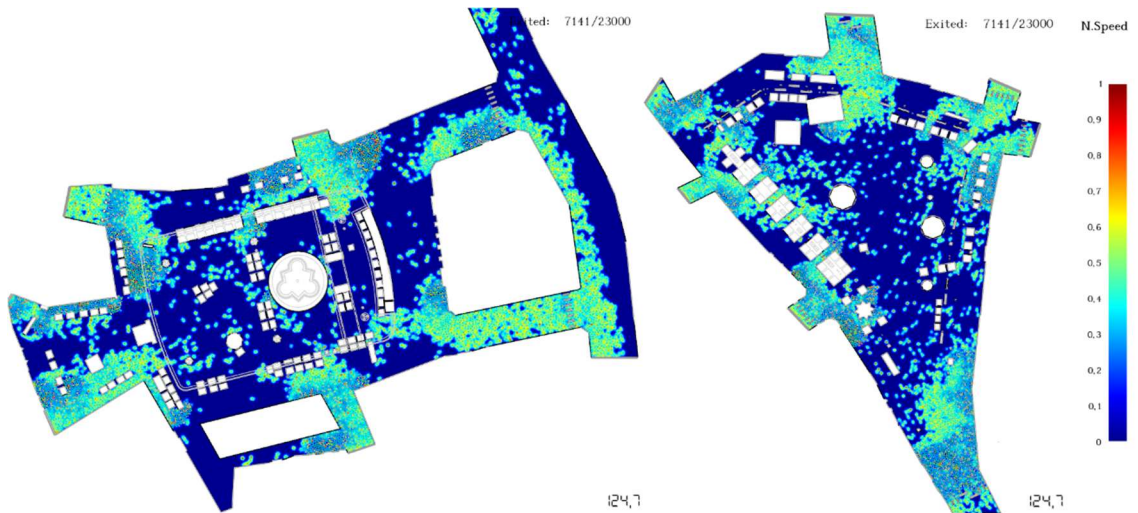


Obrázok 34: Mapový výstup ukazovateľa *Density* (occs/m^2) – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo) $t = 91,0$ [s] (Zdroj: výstup softvéru *Pathfinder*)

Mapové výstupy hustoty davu v čase $t = 91,0$ s (obr. č. 34) achytávajú počiatočnú fázu hlavnej evakuačnej vlny. Z výsledkov je zrejmé, že zvýšené hodnoty hustoty (teplejšie farby v rozsahu približne $2,0 - 3,0 \text{ occhs}/\text{m}^2$) sa nekonzentrujú rovnomerne po celej ploche námestí, ale vytvárajú viacero lokálnych „ostrovov“. Tie vznikajú primárne v zónach, kde evakuačné prúdy smerujú do užšieho profilu ulíc, prípadne tam, kde priestorové prekážky (najmä stánky) znižujú efektívnu priechodnú šírku. Na oboch námestiach je možné pozorovať tvorbu kritických miest, najmä na okrajoch územia pri vyústeniach do komunikačných koridorov, čo potvrdzuje vznik úzkych hrdiel v miestach, ktoré sa napojujú na únikové trasy. Tento jav potvrdzuje, že aj pri nízkej priemernej hustote na celom námestí dochádza k lokálnemu prekročeniu komfortnej zóny pohybu, čo je kľúčový faktor pre vznik psychologického tlaku v dave.

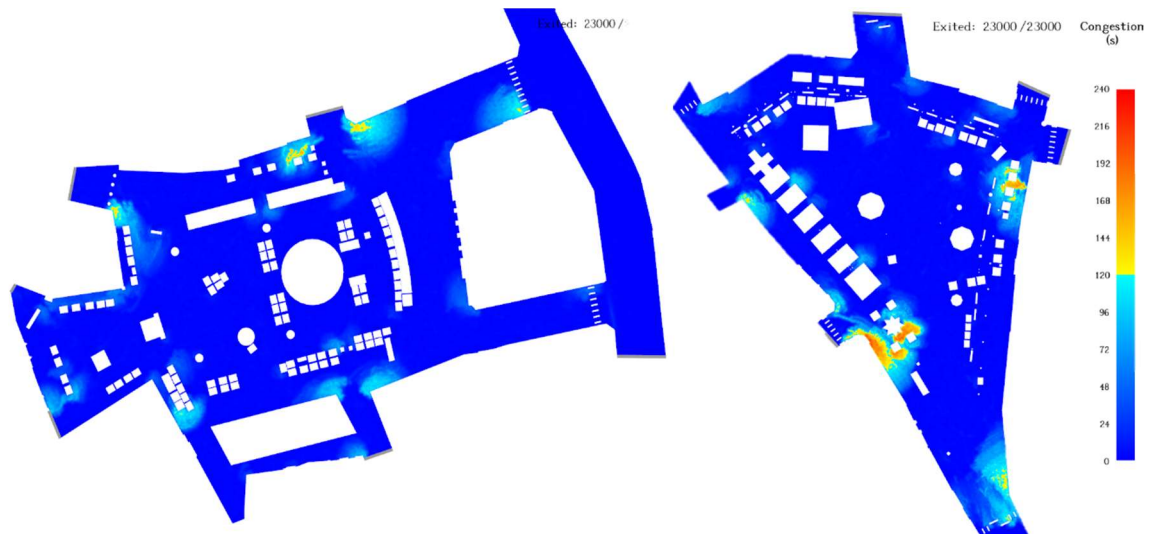
Na Námestí Svobody sú tieto oblasti viazané na koridory medzi predajnými blokmi. Zelný trh vykazuje špecifickú dynamiku, kde centrálna časť zostáva voľnejšia, no hustota graduje pri vyústeniach do komunikačných koridorov. Tento rozdiel dokumentuje vplyv urbanistickej morfológie: kým otvorené priestranstvo umožňuje počiatočný rozptyl, nečlenené východy sa následne stávajú nárazovými zónami.

Vzťah medzi hustotou davu a plynulosťou pohybu osôb je ďalej zachytený prostredníctvom mapových výstupov ukazovateľa *Normalized Speed* v čase $t = 124,7$ s (obr. č. 35). Analýza potvrdzuje priamu nepriamu úmeru: v zónach s hustotou nad $2,5 \text{ os.}/\text{m}^2$ dochádza k poklesu relatívnej rýchlosti agentov pod 50 % ich nominálnej hodnoty. Modré odtiene na mape signalizujú nútený pohyb (tzv. *shuffling*), kedy sú interakcie medzi osobami natolko intenzívne, že znemožňujú slobodnú voľbu rýchlosti chôdze.



Obrázok 35: Mapový výstup ukazovateľa Normalized Speed – Zelny trh (vľavo) a Namestie Svobody (vpravo) $t = 124,7$ [s] (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Pre komplexné posúdenie bezpečnosti riešeného územia je rozhodujúci mapový výstup *Congestion* (obr. č. 36), ktorý zachytáva výskyt preťažených miest počas celého priebehu simulácie až do jej ukončenia v čase 588,8 s. Tento výstup slúži ako finálna diagnostika kapacitnej priepustnosti územia. Z hľadiska krízového riadenia tieto body predstavujú lokality, kde by v reálnej situácii mal byť prítomný personál na usmerňovanie tokov, aby sa predišlo statickému hromadeniu osôb.



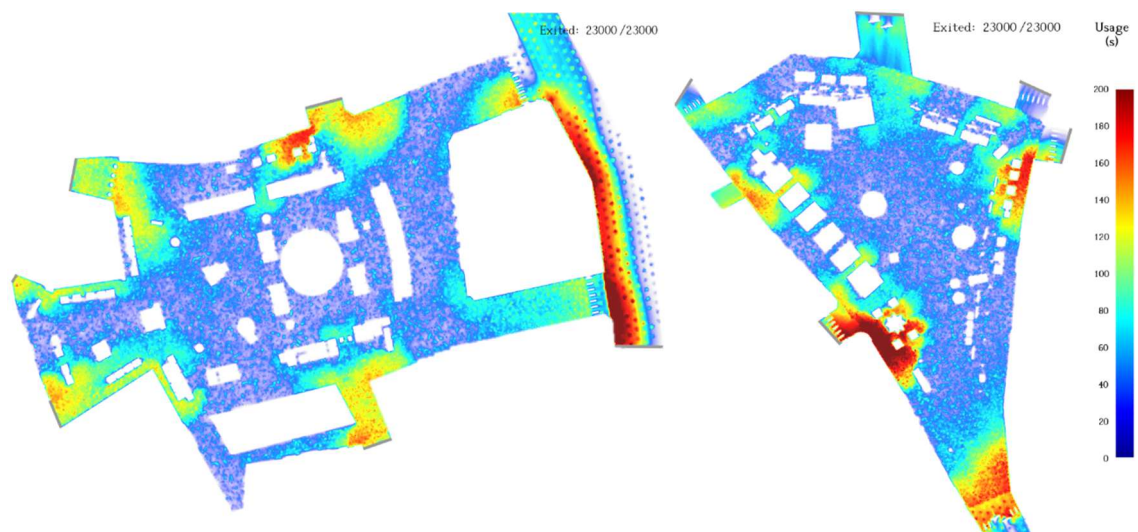
Obrázok 36: Mapový výstup ukazovateľa Congestion – Zelny trh (vľavo) a Namestie Svobody (vpravo) $t = 588,8$ s (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Tento mapový výstup finálne lokalizuje kapacitne citlivé miesta. Na Namestí Svobody sa výrazné preťaženie objavuje najmä v oblastiach vyústenia do hlavných únikových trás, zatiaľ čo na Zelnom trhu sú kritické zóny rozptýlené v koridoroch medzi radmi stánkov. Priestorová zhoda medzi zónami zvýšenej hustoty, zníženej rýchlosti a výskytom preťažených úsekov potvrdzuje, že tieto lokality predstavujú rizikové miesta pre riadenie davu.

Priestorová zhoda medzi oblasťami zvýšenej hustoty *Density*, zníženej rýchlosti pohybu *Normalized Speed* a výskytom preťažených úsekov *Congestion* potvrdzuje, že tieto lokality predstavujú kapacitne citlivé miesta riešeného územia. Výsledky scenára A tak jednoznačne ukazujú, že aj pri celkovo plynulom priebehu evakuácie vznikajú lokálne kritické zóny, ktoré sú determinované najmä geometriou priestoru, rozmiestnením stánkov a napojením na únikové trasy.

Tok osôb a využitie únikových ciest

Komplexné posúdenie evakuácie v scenári A je nevyhnutné prepojiť priestorové rozloženie pohybu osôb s časovou intenzitou prietoku cez jednotlivé východy. Tento vzťah zachytávajú mapové výstupy *Usage*, ktoré znázorňujú mieru využitia jednotlivých častí priestoru v priebehu celej simulácie, a grafov *Door Flow Rates*, ktoré kvantifikujú dynamiku prietoku osôb cez konkrétne východy v čase.

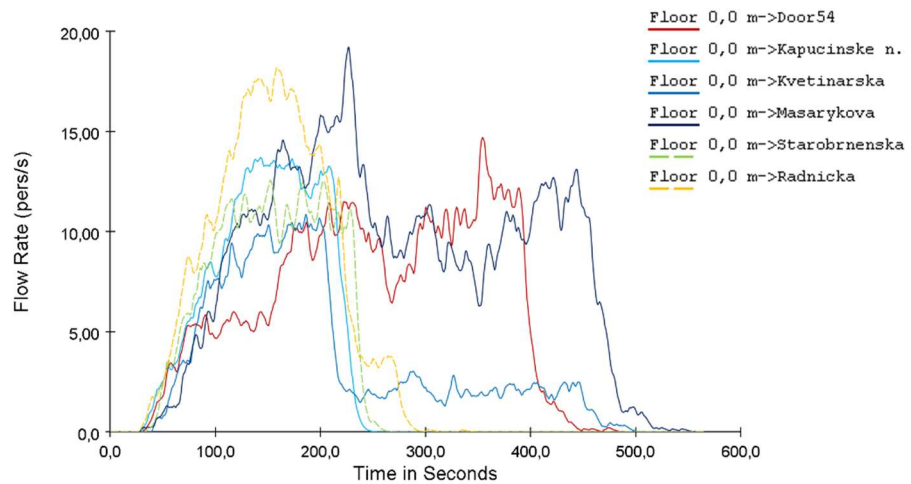


Obrázok 37: Mapový výstup ukazovateľa *Usage* – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo) $t = 588,8$ s
(Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

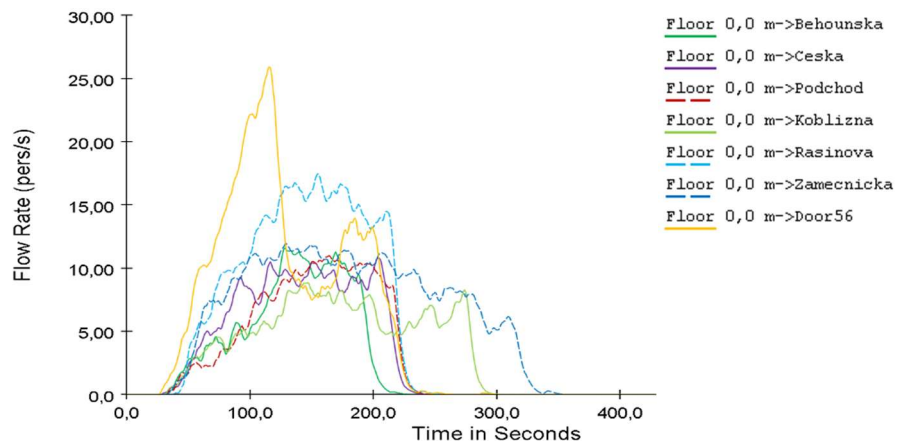
Mapový výstupy (obr. č. 37) zobrazujú časové využitie priestoru minimálne jedným agentom až do ukončenia simulácie v čase 588,8 s. Z výsledkov je zrejmé, že pohyb osôb v scenári A prebieha prostredníctvom viacerých paralelných evakuačných koridorov. Na Zelnom trhu sa hlavné evakuačné prúdy (teplejšie farby) sústreďujú do koridorov obchádzajúcich centrálnu zónu so stánkami. Najvyššie zaťaženie plochy vzniká v miestach, kde sa viaceré prúdy zbierajú do „úzkych hrdiel“ pred samotnými výstupmi. Na Námestí Svobody je využitie plochy v centre rovnomernejšie, avšak s jasne definovanými dominantnými trasami smerujúcimi k hlavným komunikačným koridorom. Tieto mapy potvrdzujú, že niektoré časti námestí predstavujú kritické úseky, zatiaľ čo iné zostávajú takmer nevyužitú. Identifikácia nevyužitých plôch (studené farby) je dôležitým zistením pre optimalizáciu rozmiestnenia mobiliáru.

Grafy *Door Flow Rates* (obr. 38 a 39) ukazujú, ako sa mení prietok cez východy v čase. Po reakčnej fáze prietok rýchlo stúpa, čo naznačuje okamžité zaplnenie východov.

Následné výkyvy na krivkách odrážajú príchod skupín agentov, ktoré sa formujú pri obchádzaní bariér a v zúžených miestach. Úplné vyprázdnenie územia v čase 588,8 s je výsledkom postupného rozptýlenia týchto vln v najviac zaťažených bodoch.



Obrázok 38: Door Flow Rates – časový priebeh prietoku, Námestie Svobody (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)



Obrázok 39: Door Flow Rates – časový priebeh prietoku, Zelný trh (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

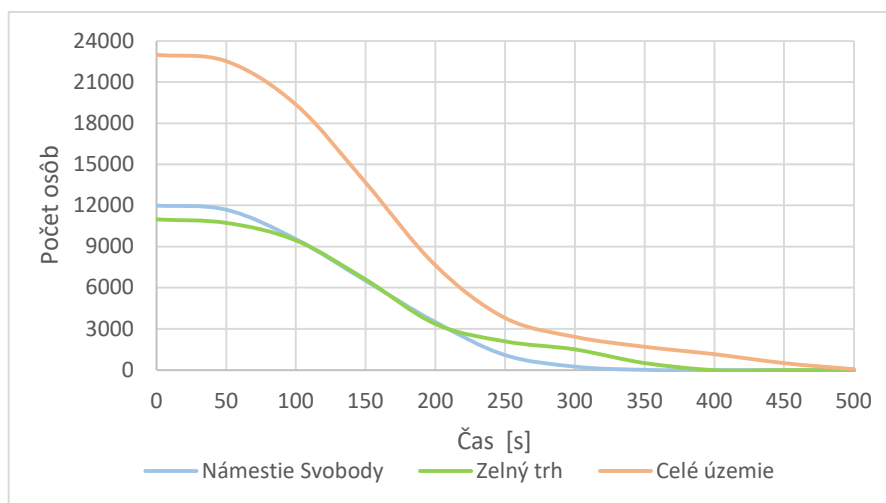
Vzájomná zhoda medzi mapami *Usage* a časovými priebehmi *Door Flow Rates* potvrdzuje, že najintenzívnejšie využívané priestory zároveň zodpovedajú výstupom s najvyšším prietokom osôb. Scenár A preukázal, že hoci je urbanistická sieť schopná pojať 23 000 osôb v bezpečnom časovom rámci, kritickým faktorom zostáva usporiadanie a organizácia priestoru v okolí stánkov, kde vznikajú lokálne nebezpečné koncentrácie nezávisle od celkovej kapacity východov.

3.6.2 Scenár B

Časový priebeh evakuácie

Časové vyhodnotenie evakuácie v scenári B sa zameriava na analýzu vplyvu náhlej straty kľúčovej únikovej cesty na plynulosť vyprázdňovania územia (podrobný popis v kapitole 3.5). V tomto modeli je ulica Rašínova, ktorá tvorí jeden z hlavných evakuačných koridorov Námestia Svobody, úplne uzavretá, čím dochádza k

obmedzeniu kapacitne významného únikového smeru a k presmerovaniu evakuačných prúdov do zostávajúcich trás. Počiatočné podmienky zostávajú identické so scenárom A (23 000 agentov). Pričom počiatočná fáza 23,5 s opäť reflektuje nastavený reakčný čas davu.



Obrázok 40: Priebeh evakuácie – Remaining Scenár B (Zdroj: vlastné spracovanie)

Graf (obr. 40) znázorňuje pokles počtu osôb *Remaining* pre obe lokality a celé riešené územie. Hoci najintenzívnejší odtok prebieha v intervale 100 – 250 s (podobne ako v scenári A), porovnanie oboch kriviek odhaľuje kritickú zmenu v dynamike. Zatiaľ čo Zelný trh si zachováva plynulý trend, krivka Námestia Svobody má citeľne miernejší sklon. Tento jav je priamym dôsledkom zníženej priepustnosti evakuačnej siete, kde uzavretie Rašínovej ulice narušilo pôvodnú symetriu tokov a vytvorilo dodatočný tlak na alternatívne, priestorovo limitované koridory.

Z hľadiska celkového času simulácia skončila v čase 602,8 s. Zaujímavým zistením je fakt, že k vyprázdneniu hlavných plôch námestí došlo v čase 330,3 s (nárast o 14 s oproti scenáru A). Toto predĺženie nie je spôsobené len fyzickou vzdialenosťou k náhradným východom, ale predovšetkým vznikajúcimi interakciami v dave, ktorý sa koncentruje v zúžených profiloch ulíc Česká a Běhounská. Presné hodnoty časových míľnikov sú zachytené v tabuľke 11.

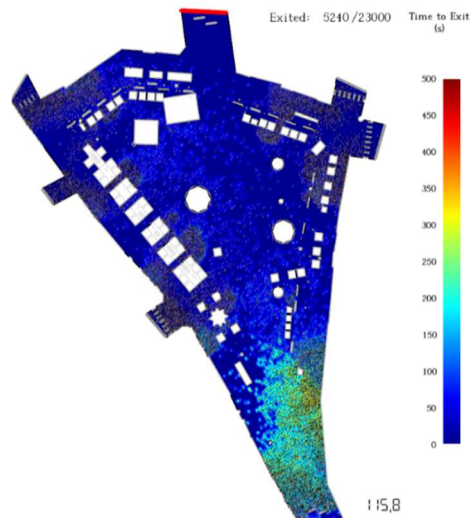
Čas	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Námestie Svobody	12000	11702	9551	6507	3484	1084	247	9	0	0	0
Zelný trh	11000	10728	9461	6593	3356	2086	1499	509	0	0	0
Celé územie	23000	22527	19367	13652	7622	3791	2422	1688	1149	510	53

Tabuľka 11: Kvantitatívne vyhodnotenie časov evakuácie. (Zdroj: vlastné spracovanie)

Priestor Zelného trhu je v scenára B ponechaný v kvantitatívnych výstupoch (graf *Remaining* a tabuľkové vyhodnotenie) z dôvodu zachovania komplexného hodnotenia evakuácie prepojeného systému verejných priestranstiev a porovnateľnosti scenárov. Keďže však konfigurácia únikových trás ani podmienky

evakuácie na Zelnom trhu zostávajú totožné so scenárom A, detailná interpretácia výsledkov sa v scenári B sústreďuje prednostne na Námestie Svobody, kde dochádza k rozhodujúcej zmene evakuačnej siete.

Pre detailnejšie pochopenie priestorovej distribúcie času potrebného na opustenie územia sú výsledky doplnené o mapový výstup *Time to Exit*. Vzhľadom na to, že priestor Zelného trhu zostáva oproti scenáru A nezmenený, je mapový výstup spracovaný a interpretovaný výhradne pre Námestie Svobody, kde došlo k zmene konfigurácie únikových trás.



Obrázok 41: Mapový výstup ukazateľa *Time to Exit* – Námestie Svobody (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

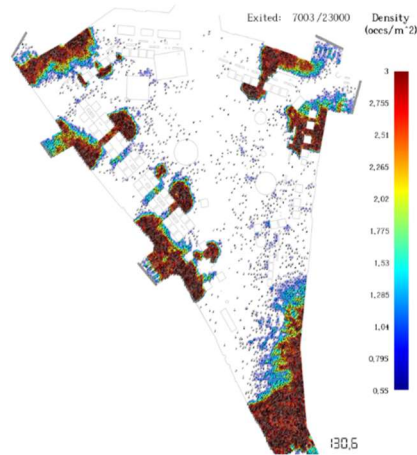
Z mapového výstupu (obr. č. 41) je zrejmé, že najkratšie časy evakuácie (tmavomodré oblasti) zostávajú pri otvorených východoch v severnej časti. Avšak v južnej časti námestia vznikajú rozsiahle zóny s vysokým nárastom času (zelené až žlté odtiene). Agenti sa koncentrujú v bezprostrednej blízkosti otvorených východov a v južnej časti námestia, kde zostáva zachovaná priama väzba na nadväzujúce komunikačné koridory.

Mapový výstup zároveň poukazuje na nerovnomerné rozloženie evakuačných časov v rámci námestia, pričom rozdiely nie sú dané iba vzdialenosťou od východov, ale aj lokálnym spomaľovaním pohybu v zónach so zvýšenou koncentráciou osôb a v priestoroch s obmedzenou priechodnou šírkou. Tento jav korešponduje s miernejším sklonom krivky *Remaining* pre Námestie Svobody a vysvetľuje predĺženie celkového času evakuácie v porovnaní so scenárom A.

Výsledky scenára B potvrdzujú, že uzavretie jednej z kľúčových tepien nespôsobí celkový kolaps systému, avšak dramaticky mení rizikový profil územia. Predĺženie evakuácie o desiatky sekúnd v kritických sektoroch zvyšuje pravdepodobnosť vzniku paniky, čo podčiarkuje nevyhnutnosť jasnej navigácie davu k voľným východom už v prvých fázach evakuačného procesu.

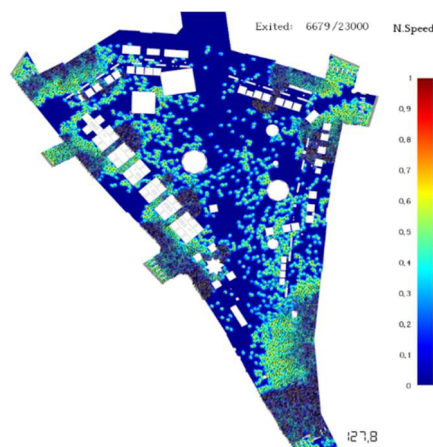
Hustota davu

Analýza priestorových parametrov v scenári B ukazuje, ako sa zmena konfigurácie únikových ciest premeta do plynulosti pohybu davu na Námestí Svobody. Hlavným rozdielom oproti predchádzajúcemu scenáru je vynútená zmena trasovania agentov po uzavretí Rašínovej ulici. Tento zásah do evakuačnej siete vedie k nerovnomernej distribúcii osôb v zostávajúcom priestore a k lokálnemu preťaženiu alternatívnych evakuačných smerov.



Obrázok 42: Mapový výstup ukazovateľa Density (occs/m²) – Námestie Svobody (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

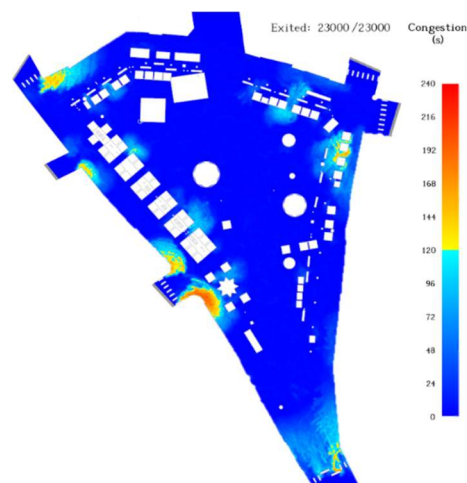
Mapový výstup hustoty davu (obr. č. 42) znázorňuje priestorové rozloženie koncentrácie osôb v čase $t = 130,6$ s, teda v priebehu hlavnej evakuačnej vlny. Zvýšené hodnoty hustoty (teplejšie farby, približne 2,0 – 3,0 ocscs/m²) sa koncentrujú predovšetkým v južnej a západnej časti námestia, kde sa presmerované prúdy zbiehajú do užších profilov a napájajú sa na zostávajúce únikové koridory. Výrazné lokálne „ostrov“ zvýšenej hustoty sú ďalej pozorovateľné v koridoroch medzi vianočnými stánkami, kde priestorové bariéry kriticky redukujú efektívnu priechodnú šírku únikových trás. Oproti scenáru A je na Námestí Svobody zreteľnejšie, že strata jedného kapacitne významného únikového smeru vedie k väčšej priestorovej koncentrácii osôb do obmedzeného počtu zostávajúcich trás.



Obrázok 43: Mapový výstup ukazovateľa Normalized Speed – Námestie Svobody $t = 127,8$ [s] (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Výstup na obrázku 43 dokumentuje priamy vzťah medzi hustotou a plynulosťou pohybu. V oblastiach s hustotou nad 2,5 os./m² dochádza k drastickému zníženiu normalizovanej rýchlosti pohybu, čo je vizualizované modrými odtieňmi. Najvýraznejšie spomalenie je identifikovateľné v koridoroch smerujúcich k uliciam Česká a Běhounská. V týchto uzloch dochádza k intenzívnym vzájomným interakciám medzi agentmi (tzv. friction effect), čo vedie k narušeniu plynulého prúdenia davu a vzniku turbulencií. Naopak, centrálna časť námestia zostáva relatívne priechodná, čo naznačuje, že problémom nie je celková plocha námestia, ale kapacitná priepustnosť jeho „výtokových“ hrdiel.

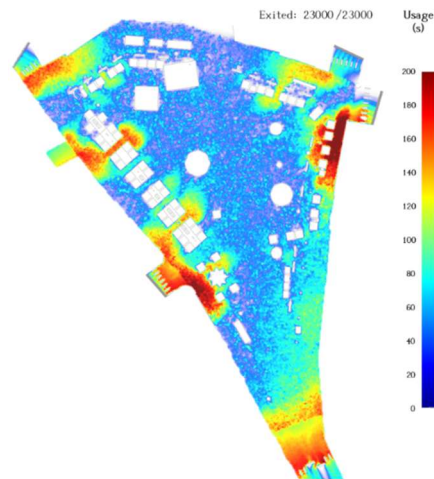
Pre komplexné posúdenie kapacitne citlivých miest v scenári B je rozhodujúci mapový výstup *Congestion* (obr. č. 44), ktorý zachytáva výskyt preťažených úsekov počas celého trvania simulácie až do jej ukončenia v čase 602,8 s. Tento výstup slúži ako finálna diagnostika kritických bodov infraštruktúry. Najvyššie hodnoty preťaženia (teplejšie farby) sa sústreďujú do niekoľkých lokálnych ohnísk, v miestach napojenia na ulice Česká a Kobližná. Priestorová zhoda medzi vysokou hustotou, nízkou rýchlosťou a trvalým preťažením potvrdzuje mechanizmus, pri ktorom obmedzená kapacita siete vedie k lokálnej degradácii bezpečnosti pohybu.



Obrázok 44: Mapový výstup ukazovateľa Congestion – Námestie Svobody, $t = 602,8$ [s] (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Tok osôb a využitie únikových ciest

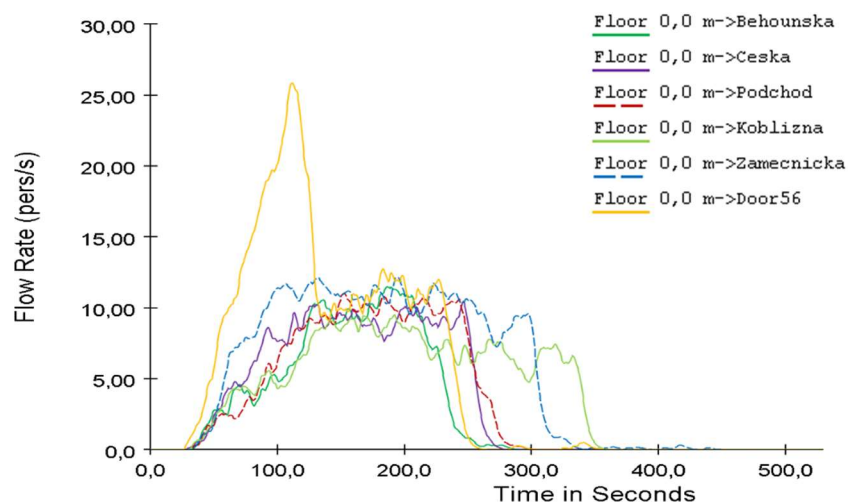
Pre ucelenú analýzu je nevyhnutné preskúmať interakciu medzi priestorovým využitím a časovou intenzitou prietokov cez dostupné východy. Tento vzťah je hodnotený prostredníctvom mapového výstupu Usage, ktorý znázorňuje mieru časového využitia jednotlivých častí priestoru počas celej simulácie, a grafu Door Flow Rates, ktorý kvantifikuje dynamiku prietoku osôb cez jednotlivé únikové trasy na Námestí Svobody.



Obrázok 45: Mapový výstup ukazovateľa Usage - Námestie Svobody $t = 602,8$ [s] (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder&)

Z mapy Usage (obr. č. 45) je zrejmé, že uzavretie Rašínovej ulice zásadne mení trasovanie evakuačných prúdov na Námestí Svobody. Pôvodné toky smerujúce do severného koridoru úplne miznú a sú presmerované do zostávajúcich trás, čo vedie k výraznému zvýšeniu zaťaženia centrálnej a južnej časti námestia. Oproti scenáru A je využitie plochy výrazne koncentrovanejšie, čo indikuje vyššie riziko mechanického tlaku v dave v zúžených profiloch.

Graf Door Flow Rates (obr. č. 46) kvantifikuje túto dynamiku. Po ukončení reakčnej fázy dochádza k prudkému nárastu prietoku na funkčných výstupoch. V porovnaní so scenárom A zostávajú krivky na maximálnych hodnotách po výrazne dlhší časový interval. Najvýraznejšie zaťaženie vykazujú ulice Masarykova, Česká a Běhounská, ktoré preberajú úlohu hlavných únikov. Výkyvy na krivkách prietokov ukazujú, že príchod agentov k východom je nerovnomerný v dôsledku lokálnych bariér, ktoré spomaľujú a rozdeľujú dav.



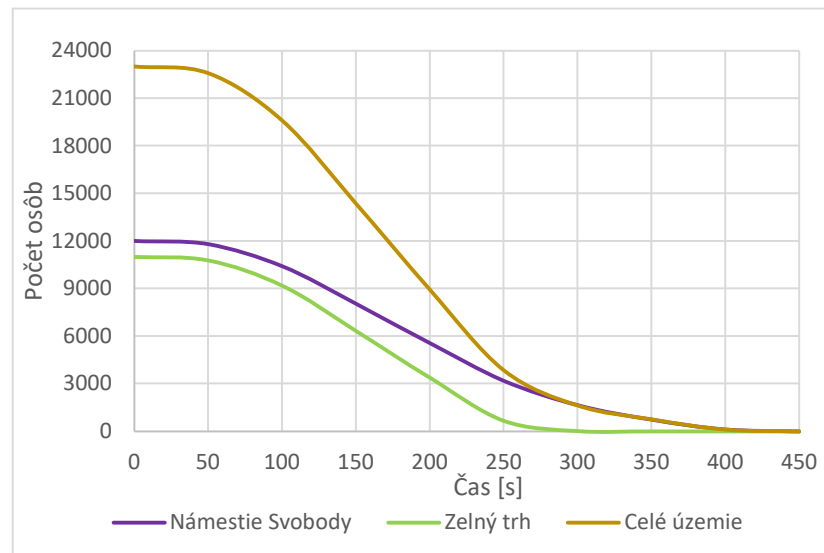
Obrázok 46: Door Flow Rates - časový priebeh prietoku, Námestie Svobody (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Vzájomná zhoda medzi mapovým výstupom *Usage* a časovými priebehmi *Door Flow Rates* potvrdzuje, že strata jedného uzla (Rašínova) nespôsobila kolaps evakuácie, ale vyčerpala kapacitnú rezervu zostávajúcich trás. Scenár B tak jasne definuje priority pre krízový plán: v prípade výpadku severnej trasy je nevyhnutné zabezpečiť okamžitú priechodnosť ulice Česká, ktorá sa stáva kritickým článkom bezpečnosti celého územia.

3.6.3 Scenár C

Časový priebeh evakuácie

V rámci scenára C je analyzovaný najkritickejší variant, definovaný súčasným zablokovaním strategických trás Rašínova a Masarykova (podrobný popis v kapitole 3.5). Táto konfigurácia zásadne mení topológiu evakuačnej siete. Zatiaľ čo predchádzajúce scenáre počítali aspoň s jednou hlavnou únikovou trasou, scenár C núti celý objem davu (23 000 osôb) k redistribúcii do sekundárnych a bočných uličiek, ktoré neboli primárne dimenzované na takýto nápor.



Obrázok 47: Priebeh evakuácie – Remaining Scenár C (Zdroj: vlastné spracovanie)

V grafe (obr. č. 47) po uplynutí reakčnej fázy nastáva hlavná vlna evakuácie. Najintenzívnejší odtok prebieha v intervale 100 – 250 s. Kvantitatívne hodnoty potvrdzujú vysokú počiatočnú dynamiku: v čase $t = 200$ s zostáva v území 8 934 osôb. Z hľadiska bezpečnosti je však alarmujúci sklon krivky v záverečnej fáze, ktorý je pozvoľnejší než v scenári A, čo indikuje, že doevakuovanie zvyškového počtu osôb prebieha v podmienkach spôsobených úzkymi miestami a preplnenými úsekmi.

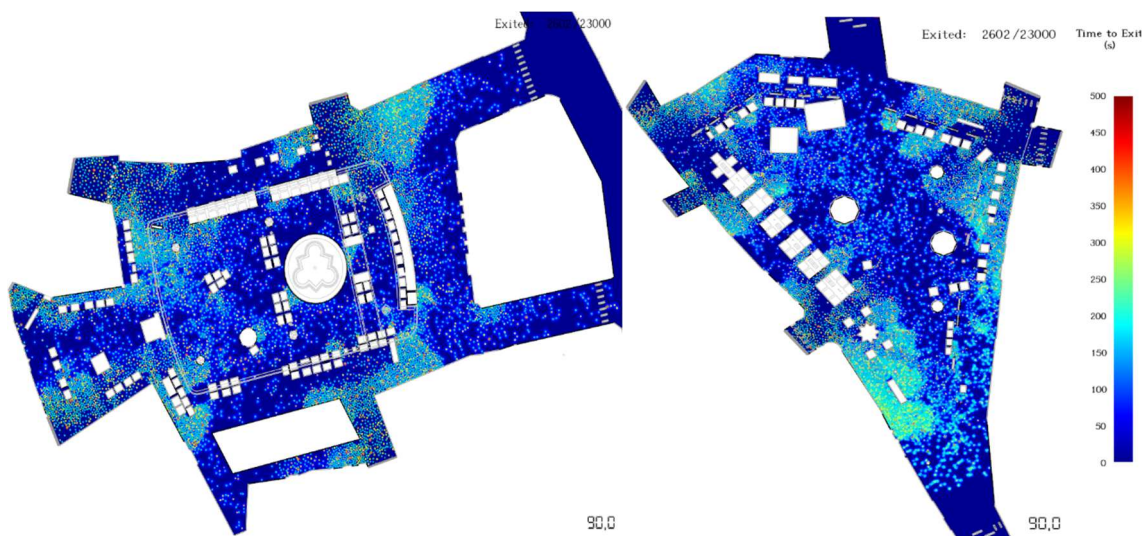
Úplné ukončenie evakuácie nastáva v čase 439 s. Tento výsledok, ktorý je nižší ako v scenári A, však nesmie byť interpretovaný ako vyššia bezpečnosť. Kratší celkový čas je spôsobený elimináciou dlhého dobehového koridoru Masarykovej ulice (ktorá v scenári A predlžovala simuláciu kvôli svojej dĺžke). V scenári C je síce simulácia ukončená skôr, ale hustota davu a tlak na zostávajúce východy dosahujú extrémne

hodnoty, ktoré v reálnych podmienkach predstavujú vysoké riziko vzniku stiesnenia (crush injury).

Čas	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Námestie Svobody	12000	11791	10415	8035	5559	3186	1637	731	104	0
Zelný trh	11000	10728	9461	6593	3356	2086	1499	932	242	0
Celé územie	23000	22527	19367	13652	7622	3791	2422	1688	346	0

Tabuľka 12: Kvantitatívne vyhodnotenie časov evakuácie. (Zdroj: vlastné spracovanie)

Z mapového výstupu *Time to Exit* (obr. č. 48) je zrejmé, že v dôsledku blokácie strategických trás došlo k izolácii centrálnych zón oboch námestí. Najkratšie časy (tmavomodré oblasti) sa sústreďujú v bezprostrednej blízkosti dostupných východov, zatiaľ čo s narastajúcou vzdialenosťou od únikových smerov a v priestoroch s vyššou mierou priestorového členenia dochádza k nárastu času opustenia územia. V scenári C sa tento jav zvyrazňuje v dôsledku súčasnej blokácie ulíc Rašínova a Masarykova, keďže časť osôb stráca priamu väzbu na hlavné únikové koridory a je nútená presmerovať sa do zostávajúcich dostupných smerov. Agenti sú nútení vykonávať zložité obchádzkové manévry cez koridory medzi stánkami. Tento nárast priestorovej variability pohybu vedie k tomu, že aj agenti v blízkosti bývalých hlavných východov vykazujú zvýšené hodnoty času úniku, čo potvrdzuje stratu efektivity evakuačnej siete.

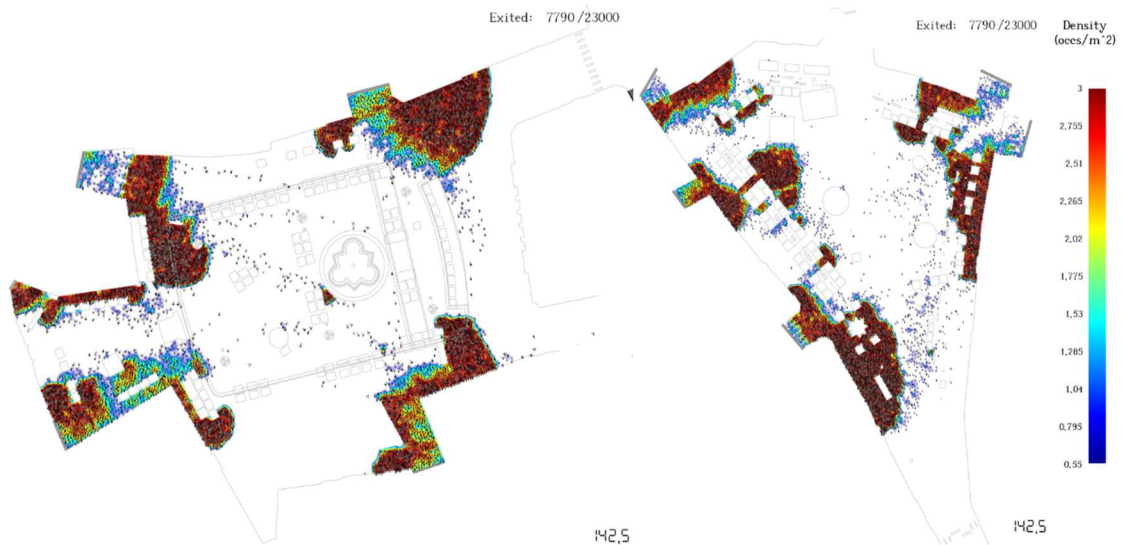


Obrázok 48: Porovnanie mapových výstupov ukazovateľa *Time to Exit* – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo), (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Hustota davu

Hustota davu je v scenári C hodnotená obdobne ako v predošlých scenároch, prostredníctvom mapových výstupov *Density*. Výsledky umožňujú identifikovať

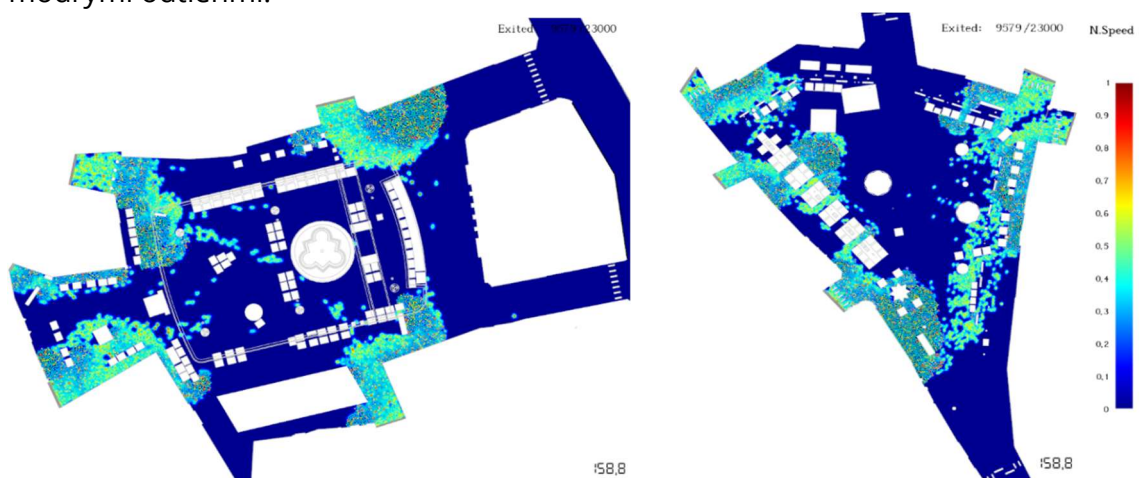
miesta so zvýšenou hustotou a posúdiť vplyv súčasnej blokácie dvoch hlavných únikových smerov na plynulosť pohybu osôb v oboch riešených lokalitách.



Obrázok 49: Mapový výstup ukazovateľa *Density* (occs/m^2) – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo) $t = 142,5$ [s] (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

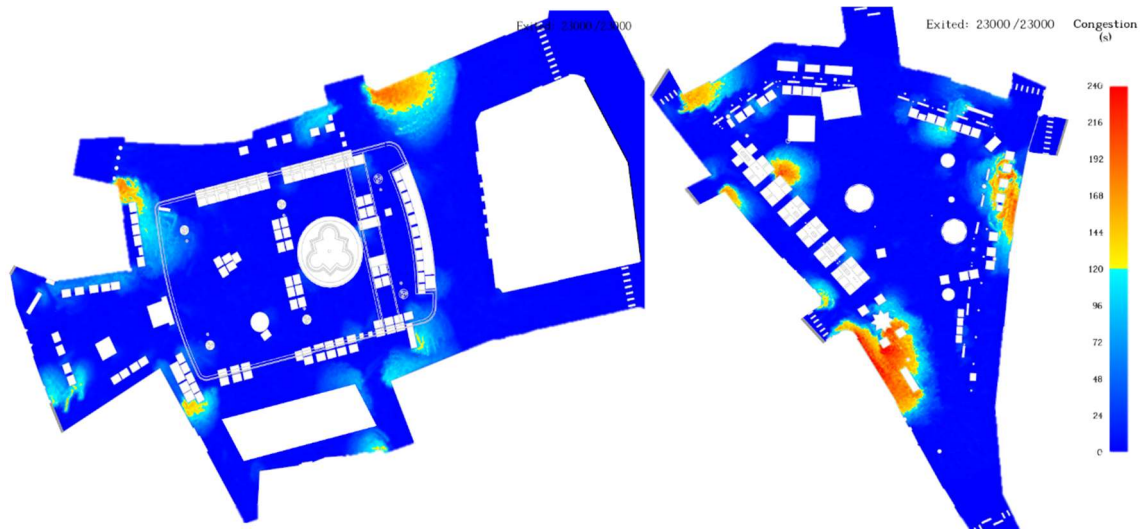
Mapové výstupy hustoty davu *Density* (obr. č. 49) v čase $t = 142,5$ s odhaľujú najkritickejšie miesta modelu. Na Námestí Svobody je zvýšená hustota (nad $3,5$ os./ m^2) prítomná v celej južnej časti námestia. Na rozdiel od scenára B, kde boli ohniská hustoty lokalizované, v scenári C dochádza k plošnému zahľteniu východov. Podobná situácia nastáva na Zelnom trhu, kde zablokovanie Masarykovej ulice vytvorilo „mŕtvu zónu“, z ktorej sa agenti musia späť distribuovať do bočných uličiek.

Vzťah medzi hustotou davu a plynulosťou pohybu osôb v scenári C je znázornený prostredníctvom mapových výstupov *Normalized Speed* (obr. č. 50) v čase $t = 158,8$ s. V oboch lokalitách je zrejmé, že v oblastiach so zvýšenou hustotou dochádza k výraznému poklesu relatívnej rýchlosti pohybu, čo je znázornené svetlomodrými až modrými odtieňmi.



Obrázok 50: Mapový výstup ukazovateľa *Normalized Speed* – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo) $t = 158,8$ [s] (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Výstupy *Congestion* (obr. č. 51) znázorňujú výskyt preťažených úsekov počas celej simulácie až do jej ukončenia v čase 439 s. V oboch lokalitách sú identifikované lokálne oblasti s vyššími hodnotami preťaženia, ktoré predstavujú miesta dlhodobého zdržania evakuačných prúdov.



Obrázok 51: Mapový výstup ukazovateľa *Congestion* – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo) $t = 439,0$ s (Zdroj: výstup softvéru *Pathfinder*)

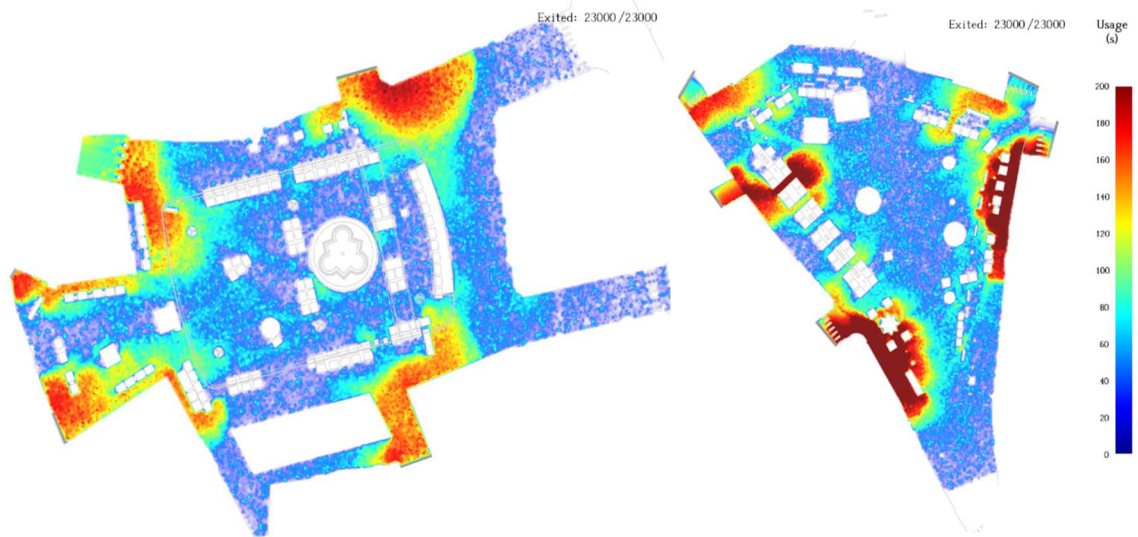
Na Zelnom trhu sa preťažené zóny sústreďujú najmä v miestach, kde sa evakuačné trasy zužujú alebo kde dochádza k opakovanému križovaniu prúdov v dôsledku obmedzeného počtu dostupných únikových smerov. Tieto oblasti zodpovedajú miestam so zvýšenou hustotou a zníženou rýchlosťou pohybu, čím sa potvrdzuje ich funkcia ako lokálnych úzkych hrdiel. Identifikované lokálne úzke hrdlá v koridoroch medzi radmi stánkov potvrdzujú, že pri súčasnom obmedzení únikových ciest prestáva byť limitujúcim faktorom celková plocha námestia, ale stáva sa ním mikrogeometria voľných priechodov. Na Námestí Svobody vykazujú hodnoty *Congestion* ešte výraznejšiu priestorovú koncentráciu, primárne pri Zámečnickej a Koblišnej. Tieto úseky fungujú ako primárne distribučné uzly, ktoré v scenári C preberajú záťaž z celého námestia. Rozhodujúcim spôsobom ovplyvňujú záverečnú fázu doevakuovania, nakoľko práve tu vzniká najväčší časový odpor voči pohybu. Pretrvávajúce preťaženie v týchto bodoch naznačuje, že v reálnej situácii by tu mohlo dochádzať k nebezpečnému nárastu fyzického tlaku v dave.

Súčasná blokácia Rašínovej a Masarykovej ulice vedie k stavu, kedy je evakuačný potenciál územia degradovaný na kritické minimum. Zistené výsledky jednoznačne dokazujú, že pri takejto konfigurácii únikových ciest vznikajú miesta s trvalou akumuláciou osôb, ktoré vyžadujú prioritné riešenie v rámci krízového plánovania a technických úprav rozmiestnenia mobiliáru trhov.

Tok osôb a využitie únikových ciest

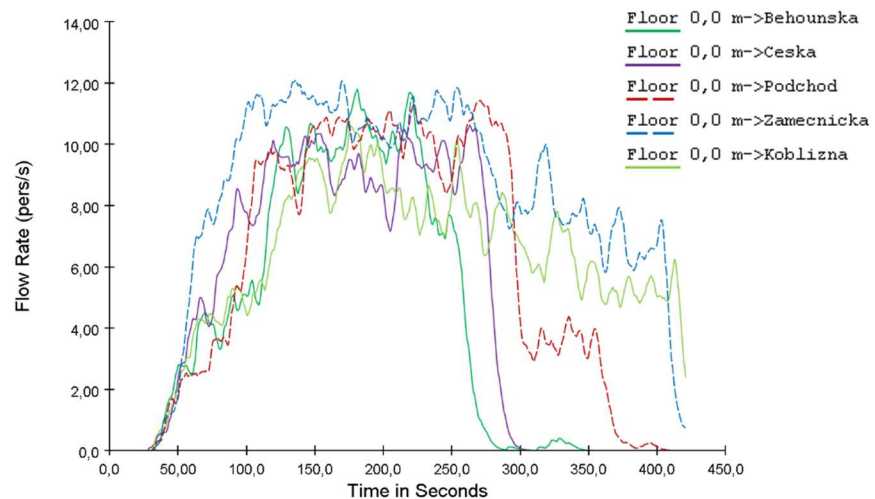
Tok osôb v scenári C je hodnotený rovnako ako v predošlých scenároch, prostredníctvom grafov *Door Flow Rates* pre jednotlivé lokality a mapových výstupov *Usage*.

Mapové výstupy *Usage* (obr. č. 52) vizualizujú vynútenú zmenu evakuačnej stratégie. Evakuačné prúdy sú sústredené do malého počtu koridorov. Najintenzívnejšie zaťaženie vzniká v distribučných uzloch, kde sa stretávajú prúdy z viacerých smerov, čo vytvára rizikové miesta z hľadiska mechanického tlaku davu.

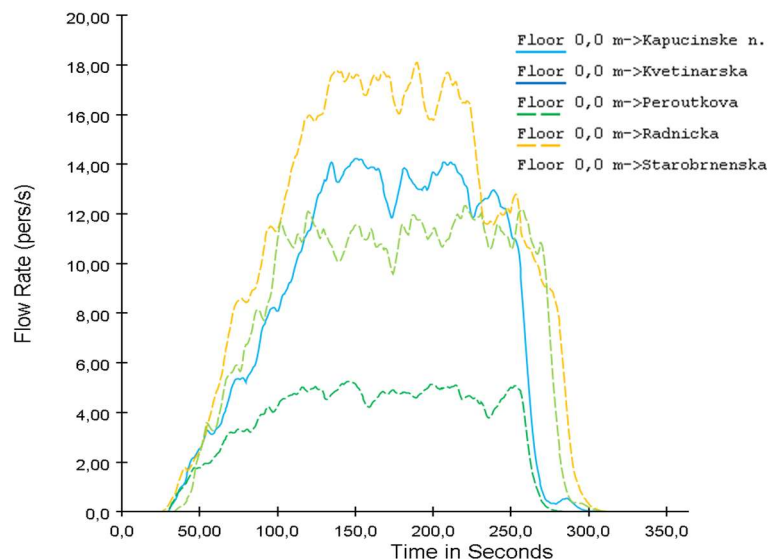


Obrázok 52: Mapový výstup ukazovateľa *Usage* – Zelný trh (vľavo) a Námestie Svobody (vpravo) $t = 439,0$ s
(Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Grafy *Door Flow Rates* (obr. č. 53 a 54) znázorňujú, že počiatočný nárast prietoku je nasledovaný dlhou fázou nútenej stability na maximálnych hodnotách. To znamená, že východy sú zahŕňané na 100 % svojej kapacity po celú dobu hlavnej vlny. Výkyvy kriviek sú v tomto scenári menej výrazné, čo svedčí o tom, že prísun agentov k východom je konštantný a limitovaný len priepustnosťou hrdiel medzi stánkami.



Obrázok 53: *Door Flow Rates* – časový priebeh prietoku, Námestie Svobody (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)



Obrázok 54: Obrázok 54: Door Flow Rates – časový priebeh prietoku, Zelný trh (Zdroj: výstup softvéru Pathfinder)

Simulácia potvrdila, že súčasná strata dvoch hlavných únikových trás predstavuje pre historické jadro Brna limitný stav. Hoci je celkový čas evakuácie v modeli opticky priaznivý, priestorová analýza preukázala plošné prekročenie bezpečných limitov hustoty a plynulosti. Pre prax to znamená, že v prípade takéhoto scenára nie je možné spoliehať sa na samovoľnú evakuáciu, ale je nevyhnutná okamžitý zásah bezpečnostných zložiek na uvoľnenie dodatočných únikových koridorov.

3.7 Navrhované opatrenia

Na základe výsledkov simulačného modelovania (scenáre A, B, C) a identifikácie kritických miest, kde dochádzalo k prekračovaniu bezpečnej hustoty davu a vzniku preťažených úsekov, sú v tejto kapitole formulované konkrétne návrhy na zvýšenie bezpečnosti počas vianočných trhov v Brne.

Rozhodujúcim faktorom bezpečnosti nie je iba celkový čas evakuácie, ale najmä lokálne podmienky pohybu osôb (napr. vznik preťažených úsekov alebo koncentrácia evakuačných prúdov). Tieto javy sa typicky prejavujú v priestoroch so zúženým profilom, kde prekážky (stánky, mobiliár) znižujú efektívnu priechodnú šírku. Z hľadiska preventívneho riadenia je vhodné zamerať opatrenia na minimalizáciu „lievikových efektov“, na stabilizáciu priepustnosti únikových smerov a na zníženie pravdepodobnosti vzniku stiesnenia.

Za základné priestorové opatrenie je považované udržiavanie priechodných koridorov v rámci trhov. V praxi to znamená definovať hlavné pohybové osi ako prioritné trasy bez zbytočných zúžení. Minimálna priechodná šírka v týchto koridoroch by nemala klesnúť pod 6 metrov, čo zabezpečí plynulý tok davu aj pri náhlom zvýšení intenzity odtoku. V kritických miestach je vhodné doplniť koridory o jednoduché prvky usmernenia (napr. nízke smerové ohraničenie), ktoré neznižujú kapacitu, ale obmedzujú chaotické presuny davu do protismeru.

Organizačne k najúčinnjším opatreniam patrí kombinácia mobilných a statických hliadok. Mobilné hliadky vykonávajú kontrolu v nepravidelných intervaloch s cieľom včas zachytiť vznik preťaženia, konfliktné správanie alebo podozrivé situácie. Súčasne je vhodné doplniť systém o hliadky v civilnom oblečení, ktoré môžu diskkrétne identifikovať rizikové správanie priamo v jadre davu bez vyvolávania predčasnej paniky. Kľúčové je zriadenie statických stanovišť v miestach s opakovaným nárastom hustoty, kde personál aktívne usmerňuje pohyb osôb. S riadením davu úzko súvisí zrozumiteľné navádzanie a krízová komunikácia. Odporúča sa inštalácia informačných prvkov vo výške nad 2,5 m, aby boli viditeľné aj pri vysokej koncentrácii osôb, kedy je horizontálny výhľad obmedzený.

Osobitnú pozornosť je potrebné venovať bezpečnostným prvkom na perimetri. Ochrana pred útokom vozidlom musí byť navrhnutá tak, aby zároveň neobmedzovala evakuačnú priepustnosť a nevytvárala nebezpečné zúženia. Z tohto dôvodu sa odporúča preferovať modulárne bariéry s kontrolovanými priechodmi. Tieto bariéry musia byť v prípade Scenáru A (útok vnútri perimetra) schopné okamžitého uvoľnenia smerom von, aby sa predišlo „pasci“, kedy ochranný prvok zabráni ľuďom v úteku do bezpečia.

Pre zvýšenie pripravenosti územia je vhodné doplniť aj opatrenia zamerané na operatívnosť zásahu a koordináciu so záchrannými zložkami. Takto nastavený systém zvyšuje pravdepodobnosť, že aj pri náhlom narušení bezpečnosti zostane pohyb osôb v území riaditeľný a nedôjde k nekontrolovanému hromadeniu davu v kritických zónach. Je však nevyhnutné zdôrazniť, že neexistuje univerzálne riešenie. Opatrenia musia byť modulárne: v Scenári A je prioritou eliminácia útočníka a ochrana osôb v jadre, zatiaľ čo v scenároch B a C je to riadenie kapacity a plynulosti odtoku.

Záverom možno konštatovať, že bezpečnosť vianočných trhov je živý proces. Predkladané opatrenia tvoria previazaný celok, ktorého cieľom je transformovať riešené územie na adaptívny systém. Iba pragmatický prístup, ktorý kombinuje teoretické dáta zo simulácií s reálnymi možnosťami správy mesta a špecifickosťou rôznych typov hrozieb, zabezpečí, že navrhované opatrenia budú v krízovej situácii reálne vykonateľné a účinné.

4 Záver

Diplomová práca sa zaoberala problematikou ochrany mäkkých cieľov počas hromadných podujatí. Hlavným cieľom bolo analyzovať bezpečnosť verejných priestranstiev a proces evakuácie osôb v prípade vzniku mimoriadnej udalosti, so špecifickým zameraním na využitie simulačných nástrojov ako kľúčového prvku v procese plánovania bezpečnostných opatrení. Praktická časť práce bola zameraná na vianočné trhy v Brne, konkrétne na Námestí Svobody a Zelnom trhu, ktoré predstavujú typické príklady mäkkých cieľov s vysokou koncentráciou osôb a obmedzenou úrovňou fyzickej ochrany.

V teoretickej časti práce bol spracovaný komplexný prehľad problematiky mäkkých cieľov, bezpečnosti verejných priestranstiev, psychológie davu a riadenia evakuácie. Zároveň boli definované základné pojmy ako hrozba, riziko a útok a bola uvedená klasifikácia najvýznamnejších hrozieb, ktoré sa môžu vyskytovať počas hromadných podujatí. Osobitná pozornosť bola venovaná teroristickým a kriminálnym útokom, neúmyselným incidentom v dave, panike, ako aj chemickým a biologickým hrozbám. Teoretické východiská vytvorili základ pre pochopenie správania davu v krízových situáciách a zdôraznili význam preventívnych opatrení a vhodného priestorového usporiadania.

Praktická časť práce sa sústredila na spracovanie vstupných dát, analýzu riešeného územia a definovanie parametrov davu. Na základe analýzy rizík boli identifikované potenciálne hrozby a následne vytvorené simulačné modely v softvéri Pathfinder. Modelovanie umožnilo pripraviť tri simulačné scenáre reprezentujúce rôzne typy krízových situácií. Výsledky simulácií potvrdili, že aj pri zachovaní celkovej priepustnosti územia vznikajú vplyvom nevhodne umiestneného mobiliáru kritické ohniská s vysokou hustotou osôb. Na základe získaných dát z modelovania bol následne navrhnutý súbor opatrení zameraných na zvýšenie bezpečnosti návštevníkov.

Záverom možno konštatovať, že využitie simulačných nástrojov predstavuje významný prínos v oblasti ochrany mäkkých cieľov počas hromadných podujatí. Práca potvrdzuje, že systematická analýza rizík v kombinácii s modelovaním evakuácie umožňuje lepšie pochopiť dynamiku davu a prispieva k zvyšovaniu bezpečnosti verejných priestranstiev. Predložená práca tak poskytuje nielen teoretický rámec, ale aj praktické odporúčania, ktoré môžu výrazne prispieť k eliminácii dopadov nepredvídateľných udalostí a pomôcť chrániť zdravie a životy návštevníkov.

5 Zoznam použitej literatúry

- [1] FOREST, James J. F. *Homeland Security: Protecting American's Targets*. Praeger, 2006. ISBN 978-0-275-98768-8.
- [2] BENNETT, Brian T. *Understanding, Assessing and Responding to Terrorism: Protecting Critical Infrastructure and Personnel*. Wiley-Interscience, 2007. ISBN 978-0-471-77152-4.
- [3] MCENTIRE, David A. *Introduction to homeland security: understanding terrorism with an emergency management perspective*. 2nd Edition. Wiley, 2018. ISBN 978-1-119-43065-0.
- [4] HESTERMAN, Jenifer. *Soft Target Hardening: Protecting People from Attack*. CRC Pr I, 2015. ISBN 978-1-4822-4421-2.
- [5] *Měkké cíle*. Online. Ministerstvo vnitra České republiky. B. r. Dostupné z: <https://mv.gov.cz/chh/clanek/mekke-cile.aspx>. [cit. 2026-01-09].
- [6] MRÁZKOVÁ (ĎURICOVÁ), Lucia; LAPKOVÁ, Dora a HROMADA, Martin. *HODNOTENIE STAVU BEZPEČNOSTI MÄKKÝCH CIEĽOV*. B.r. 2017-2019.
- [7] MINISTERSTVO VNÚTRA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. *Ochrana mäkkých cieľov*. Online. Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. 2026. Dostupné z: <https://www.minv.sk/?ochrana-makkych-cielov>. [cit. 2026-01-10].
- [8] PAVLÍK, Lukáš a ŘEHÁK, David. *AUDIT NÁRODNÍ BEZPEČNOSTI*. 2017.
- [9] APELTAUER, Tomáš; DUFEK, Zdeněk; VANGELI, Benedikt; ROSENKRANZ, Jiří; HROMADA, Martin et al. *Ochrana mäkkých cieľov*. Leges, 2019. ISBN 978-80-7502-427-5.
- [10] MRÁZKOVÁ, Lucia. *Hodnotenie bezpečnosti mäkkých cieľov*. Disertační práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2019.
- [11] BORUM, Randy. *Psychology of Terrorism*. Online. B.r. Tampa: University of South Florida, 2004. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1570&context=mhlp_facpub. [cit. 2026-01-12].
- [12] CLARKE, Ronald V. a CORNISH, Derek B. *Modeling Offenders' Decisions: A Framework for Research and Policy*. B.r. University of Chicago Press, 1985.
- [13] PERERA, Ayesh. *Rational Choice Theory of Criminology*. Online. Simply Psychology. 2025. Dostupné z: <https://www.simplypsychology.org/rational-choice-theory-of-criminology.html>. [cit. 2026-01-12].
- [14] FELSON, Marcus. *Crime and Everyday Life*. 3rd Edition. Saga Publications, 2002. ISBN 0-7619-8761-4.
- [15] HELBING, Dirk a MUKERJI, Pratik. *Crowd disasters as systemic failures: analysis of the Love Parade disaster*. Online. B.r. 2012.

- [16] SHEPOSH, Richard. *Hillsborough disaster*. Online. EBSCO Research Starters. 2023. Dostupné z: <https://www.ebsco.com/research-starters/history/hillsborough-disaster>. [cit. 2026-01-12].
- [17] TIKKANEN, Amy. *Hillsborough disaster*. Online. Encyclopaedia Britannica. 2024. Dostupné z: <https://www.britannica.com/event/Hillsborough-disaster>. [cit. 2026-01-12].
- [18] FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION (FBI). *Boston Marathon Bombing*. Online. Fbi.gov. B. r. Dostupné z: <https://www.fbi.gov/history/famous-cases/boston-marathon-bombing>. [cit. 2026-01-12].
- [19] ROMM, Lauren. *Manchester Arena Suicide Bombing (2017)*. Online. EBSCO Research Starters. 2021. Dostupné z: <https://www.ebsco.com/research-starters/diplomacy-and-international-relations/manchester-arena-suicide-bombing-2017>. [cit. 2026-01-12].
- [20] *Anthrax letter attacks*. Online. EBSCO Research Starters. 2024. Dostupné z: <https://www.ebsco.com/research-starters/science/anthrax-letter-attacks>. [cit. 2026-01-12].
- [21] BALDWIN, David A. *The Concept of Security*. 1997.
- [22] National Protective Security Authority (NPSA). *Public Realm Design Guide: Hostile Vehicle Mitigation*. Third Edition. 2022.
- [23] *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions — Action Plan to support the protection of public spaces*. Online. EUR-Lex. 2017. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52017DC0612>. [cit. 2026-01-12].
- [24] KARLOS, V. a LARCHER, M. *A guide to key information on the protection of Public Spaces*. B.r. 2021.
- [25] DOYLE, Sarah. *Video analytics adoption: Key considerations for the end-user*. B.r. 2016.
- [26] KULIGOWSKI, Erica D. *A guide to key information on the protection of public spaces*. B.r. 2019.
- [27] *The International CPTED Association (ICA)*. Online. CPTED.net. B. r. Dostupné z: <https://www.cpted.net/>. [cit. 2026-01-12].
- [28] *CPTED: A Holistic Approach to Courthouse Site Security*. Online. Fentress Blog. 2020. Dostupné z: <https://blog.fentress.com/blog/cpted-a-holistic-approach-to-courthouse-site-security>. [cit. 2026-01-12].
- [29] BENKOVIČOVÁ, Ľubica a ŠPAČEK, Robert. *CPTED – základné metodologické východiská*. 2013.
- [30] VAN SOOMEREN, Paul a WOLDENDORP, Tobias. *Secured by design in the Netherlands*. B.r. 1996.
- [31] Federal Office for Civil Protection (FOCP). *Integrated Risk Management: Its importance in protecting people and their livelihoods*. Online. B.r. 2014.

- [32] Stadtrat von Zürich. *Strategien Zürich 2040: Entschlossen in die gemeinsame Zukunft*. B.r. 2024.
- [33] MV ČR. *Koncepce prevence kriminality 2022–2027*. B.r. 2022.
- [34] BRINDAL, Emily; KAKOSCHKE, Naomi; REESON, Andrew a EVANS, David. *Madness of the crowd: Understanding mass behaviors through a multidisciplinary lens*. B.r. 2022.
- [35] CHALLENGER, Rose; CLEGG, Chris W. a ROBINSON, Mark A. *Understanding Crowd Behaviours: Supporting Evidence*. B.r. 2009.
- [36] Fleming a , LaKeisha. *Deindividuácia: Ako prítomnosť iných ovplyvňuje správanie*. Online. Verywell Mind. 2024. Dostupné z: <https://www.verywellmind.com/deindividuation-7546896>. [cit. 2026-01-12].
- [37] FRUIN, John J. *The Causes and Prevention of Crowd Disasters*. B.r. 2002.
- [38] LE BON, Gustave. *Psychologie davu*. B.r. Portál, 2016. ISBN 978-80-262-1028-3.
- [39] SimTego GmbH. *Simulation der RiMEA-Testfälle mit Pathfinder*. Online. SimTego. 2019. Dostupné z: <https://www.simtego.de/aktuelles/2019/01/19/simulation-der-rimea-testfaelle-mit-pathfinder/>. [cit. 2026-01-12].
- [40] JOHANSSON, Fredrik. *Microscopic Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic*. Online, Licentiate Thesis. Norrköping: Linköping University, 2013. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:665191/FULLTEXT02.pdf>. [cit. 2026-01-12].
- [41] SUIPING, Zhou; DAN, Chen a WENTONG ET. AL, Cai. Crowd modeling and simulation technologies. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*. 2010, roč. 20, č. 4, s. 17 s. ISSN 1049-3301.
- [42] LIN, Huang; JIANHUA, Gong a WENHANG, ET AL., LI. Social Force Model-Based Group Behavior Simulation in Virtual Geographic Environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2018, roč. 7, č. 2, s. 13 s. ISSN 2220-9964.
- [43] SEBASTIÁN, Bouzat a MARCELO N., Kupermany. *Game theory in models of pedestrian room evacuation*. B.r. 2013.
- [44] *Pathfinder | Crowd Movement Simulation and Egress Analysis Software*. Online. Thunderhead Engineering. B. r. Dostupné z: https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/?_gl=1*1viukcn*_gcl_aw*R0NMLjE3Njc2Mjc3MDYuQ2p3S0NBaUEzLTNLQmhCaUVpd0EyeDdGZEZjU3pBbm1hOTZHSFZPaWlyejFUZEcWdWNjajhwdHg2aFk3X0t5OWJJZ3VyYbXJhb3NmemFSb0M2UmtRQXZEX0J3RQ..*_ga*MTM4Njc2NjU0NS4xNzQ2NDc2MjMx*_ga_RZ4CWRR0SF*czE3NjgyNTYzNDckbzMwJGcxJHQxNzY4MjU2Mzc3JGozMCRsMCRoMA... [cit. 2026-01-12].
- [45] RÅDEMAR, Daniel; BLIXT, Daniel; DEBROUWERE, Brecht; GRYBÄCK MELIN, Björn a PURCHASE, Andrew. *Practicalities and Limitations of Coupling FDS with Evacuation Software*. B.r. 2016.
- [46] FRUIN, John J. *Pedestrian Planning and Design*. Revised edition. 2017.

- [47] STILL, G. Keith. *Introduction to Crowd Science*. CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4665-7964-4.
- [48] VANUMU, Lakshmi Devi; RAO, K. Ramachandra a TIWARI, Geetam. *Fundamental diagrams of pedestrian flow characteristics: A review*. B.r. 2017.

6 Zoznam použitých skratiek

ANB	- Analýza bezpečnostných hrozieb
atď.	- a tak ďalej
CA	- Celulárne automaty
	- Crime Prevention Through Enviromental Design (preklad:
CPTED	Koncept prevencie kriminality prostredníctvom
	environmentálneho dizajnu)
č.	- číslo (napríklad č.8 – číslo 8)
ČR	- Česká republika
ČSN	- Česká štátna norma
EÚ	- Európska únia
FDS	- Fire dynamics simulator (preklad: Simulátor dynamiky požiaru)
FIST	- Force – Information – Space – Time (preklad: sila, informácie,
	priestor, čas)
GDPR	- General Data Protection Regulation (preklad: Všeobecné
	nariadenie o ochrane údajov)
HVM	- Hostile vehicle mitigation (preklad: opatrenia na zmiernenie
	následkov útokov nepriateľskými vozidlami)
IZS	- Integrovaný záchranný systém
MV ČR	- Ministerstvo vnútra českej republiky
m/s	- metre za sekundu
napr.	- napríklad
NIST	- National Institute of Standards and Technology (preklad:
	Národný inštitút pre normy a technológie)
NPSA	- National Protective Security Authority (preklad: Národný úrad
	pre bezpečnostnú ochranu)
occs/m ²	- Jednotka hustoty osôb používaná v simulačných výstupoch
SFPE	- Society of Fire Protection Engineers (preklad: Spoločnosť
	inžinierov požiarnej ochrany)
SR	- Slovenská republika
t	- čas
tzn.	- to znamená
USA	- United States of America (preklad: Spojené štáty americké)
%	- percentá

7 Zoznam použitých obrázkov

OBRÁZOK 1: SCHÉMA KLASIFIKÁCIE HROZIEB.....	15
OBRÁZOK 2: GLOBÁLNY TREND TERORIZMU VO SVETE.....	18
OBRÁZOK 3: KRIMINÁLNE ÚTOKY V EURÓPE.....	19
OBRÁZOK 4: ROZDELENIE BEZPEČNOSTI PODĽA ÚROVNE A ZAMERANIA.....	25
OBRÁZOK 5: GRAFICKÉ ZNÁZORNENIE PRINCÍPOV CPTED.....	31
OBRÁZOK 6: ILUSTRÁČNÉ PRÚDENIA OSÔB CEZ ÚZKE HRDLO V SIMULAČNOM PROSTREDÍ.....	43
OBRÁZOK 7: ILUSTRÁČNÉ ZNÁZORNENIE CELULÁRNEHO AUTOMATU.....	49
OBRÁZOK 8: POROVNANIE SPRÁVANIA CHODCOV V SILOVÝCH MODELOCH. ČASTI (A, B) ZOBRAZUJÚ SMEROVANIE CHODCOV V SOCIÁLNYCH SKUPINÁCH, ČASTI (C, D) ILUSTRUJÚ FORMOVANIE SKUPINOVÝCH ŠTRUKTÚR PO VYHÝBANÍ SA.....	49
OBRÁZOK 9: MODEL POHYBU AGENTA: (A) POVOLENÉ SMERY V MRIEŽKOVOM PROSTREDÍ; (B) POLE ŽIADANÝCH SMEROV VEDÚCE K VÝCHODU.....	50
OBRÁZOK 10: ILUSTRÁČNÉ ZNÁZORNENIE MODELU NA BÁZE HIER S POPULÁCIOU KOOPERUJÚCICH AGENTOV V ČASE (T).....	50
OBRÁZOK 11: ILUSTRÁČNÉ ZNÁZORNENIE AGENTNÉHO MODELU.....	51
OBRÁZOK 12: DIAGRAM OVERENIA SPOĽAHLIVOSTI SPOĽAHLIVOSTI.....	55
OBRÁZOK 13: SITUÁCIA NÁMESTIE SVOBODY V BRNE.....	58
OBRÁZOK 14: SITUÁCIA ZELNÝ TRH V BRNE.....	59
OBRÁZOK 15: ELIPSA TELA.....	62
OBRÁZOK 16: ZOBRAZENIE KONTAKTNEJ ZÓNY PODĽA FRUINA.....	63
OBRÁZOK 17: ZOBRAZENIE BEZKONTAKTNEJ ZÓNY PODĽA FRUINA.....	64
OBRÁZOK 18: ZOBRAZENIE KONFORTNEJ ZÓNY PODĽA FRUINA.....	64
OBRÁZOK 19: ZOBRAZENIE ZÓNY POHYBU PODĽA FRUINA.....	65
OBRÁZOK 20: STATICKÁ HUSTOTA OSÔB.....	65
OBRÁZOK 21: DYNAMICKÁ HUSTOTA OSÔB.....	66
OBRÁZOK 22: FUNDAMENTÁLNE DIAGRAMY.....	66
OBRÁZOK 23: PRIESTOROVÝ MODEL NÁMESTÍ V PROSTREDÍ SOFTVÉRU PATHFINDER S IMPORTOVANÝMI PODKLADMI A DOČASNÝMI OBJEKTMI.....	75
OBRÁZOK 24: ZNÁZORNENIE NASTAVENIA PARAMETROV AGENTOV V SOFTVÉRI PATHFINDER.....	76
OBRÁZOK 25: ROZMIESTNENIE NEPRIECHODNÝCH PREKÁŽOK V SIMULAČNOM MODELI NÁMESTIA SVOBODY (VĽAVO) A ZELNÉHO TRHU (VPRAVO).....	77
OBRÁZOK 26: SIMULÁCIA EVAKUAČNÝCH PRÚDOV – NÁMESTIE SVOBODY.....	78
OBRÁZOK 27: SIMULÁCIA EVAKUAČNÝCH PRÚDOV – ZELNÝ TRH.....	79
OBRÁZOK 28: NASTAVENIE PARAMETROV POHYBU AGENTOV V SOFTVÉRI PATHFINDER.....	81
OBRÁZOK 29: MAPA ÚNIKOVÝCH TRÁS A VÝCHODOV.....	81
OBRÁZOK 30: MAPA ÚNIKOVÝCH TRÁS S VYZNAČENÍM UZÁVERY RAŠÍNOVEJ ULICE.....	82
OBRÁZOK 31: MAPA ÚNIKOVÝCH TRÁS S KOMBINOVANOU UZÁVEROU KOMUNIKÁCIÍ.....	83
OBRÁZOK 32: PRIEBEH EVAKUÁCIE - REMAINING.....	85
OBRÁZOK 33: POROVNANIE MAPOVÝCH VÝSTUPOV UKAZOVATEĽA TIME TO EXIT – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO).....	86
OBRÁZOK 34: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA DENSITY (OCCS/M ²) – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 91,0 [s].....	87

OBRÁZOK 35: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA NORMALIZED SPEED – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 124,7 [s]	88
OBRÁZOK 36: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA CONGESTION – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 584,0 s	88
OBRÁZOK 37: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA USAGE – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 584,0 s	89
OBRÁZOK 38: DOOR FLOW RATES – ČASOVÝ PRIEBEH PRIETOKU, NÁMESTIE SVOBODY	90
OBRÁZOK 39: DOOR FLOW RATES – ČASOVÝ PRIEBEH PRIETOKU, ZELNÝ TRH	90
OBRÁZOK 40: PRIEBEH EVAKUÁCIE – REMAINING SCENÁR B	91
OBRÁZOK 41: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA TIME TO EXIT – NÁMESTIE SVOBODY	92
OBRÁZOK 42: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA DENSITY (OCCS/M ²) – NÁMESTIE SVOBODY	93
OBRÁZOK 43: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA NORMALIZED SPEED – NÁMESTIE SVOBODY T = 127,8 [s]	93
OBRÁZOK 44: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA CONGESTION – NÁMESTIE SVOBODY, T = 576,0 [s]	94
OBRÁZOK 45: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA USAGE – NÁMESTIE SVOBODY T = 576,0 [s]	95
OBRÁZOK 46: DOOR FLOW RATES – ČASOVÝ PRIEBEH PRIETOKU, NÁMESTIE SVOBODY	95
OBRÁZOK 47: PRIEBEH EVAKUÁCIE – REMAINING SCENÁR C	96
OBRÁZOK 48: POROVNANIE MAPOVÝCH VÝSTUPOV UKAZOVATEĽA TIME TO EXIT – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO)	97
OBRÁZOK 49: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA DENSITY (OCCS/M ²) – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 142,5 [s]	98
OBRÁZOK 50: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA NORMALIZED SPEED – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 158,8 [s]	98
OBRÁZOK 51: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA CONGESTION – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 421,0 s	99
OBRÁZOK 52: MAPOVÝ VÝSTUP UKAZOVATEĽA USAGE – ZELNÝ TRH (VĽAVO) A NÁMESTIE SVOBODY (VPRAVO) T = 421,0 s	100
OBRÁZOK 53: DOOR FLOW RATES – ČASOVÝ PRIEBEH PRIETOKU, NÁMESTIE SVOBODY	100
OBRÁZOK 54: OBRÁZOK 54: DOOR FLOW RATES – ČASOVÝ PRIEBEH PRIETOKU, ZELNÝ TRH	101

8 Zoznam použitých tabuliek

TABUĽKA 1: INDIKÁTORY ÚTOKOV NA MÄKKÉ CIELE	16
TABUĽKA 2: CHARAKTERISTIKA TYPOV DAVU A ICH RIZIKOVÝCH FAKTOROV PRI EVAKUÁCII.....	37
TABUĽKA 3: POROVNANIE MASOVEJ PANIKY A DAVOVEJ PSYCHÓZY	41
TABUĽKA 4: VEKOVÉ ROZLOŽENIE OSÔB (%).....	61
TABUĽKA 5: RÝCHLOSTI POHYBU OSÔB (M/S) PODĽA VEKOVÝCH SKUPÍN	61
TABUĽKA 6: STATICKÁ A DYNAMICKÁ HUSTOTA OSÔB – ZÁKLADNÉ ROZDIELY	67
TABUĽKA 7: IDENTIFIKOVANÉ HROZBY A ICH KONKRÉTNE SCENÁRE	69
TABUĽKA 8: VÄZOBNÁ TABUĽKA.....	72
TABUĽKA 9: TABUĽKA HODNOTENIA RIZÍK	72
TABUĽKA 10: KVANTITATÍVNE VYHODNOTENIE ČASOV EVAKUÁCIE.....	86
TABUĽKA 11: KVANTITATÍVNE VYHODNOTENIE ČASOV EVAKUÁCIE.....	91
TABUĽKA 12: KVANTITATÍVNE VYHODNOTENIE ČASOV EVAKUÁCIE.....	97

9 Zoznam príloh

PRÍLOHA A: VIDEÁ SIMULÁCIÍ JEDNOTLIVÝCH SCENÁROV

PRÍLOHA A1: SCENÁR A – NARUŠENIE BEZPEČNOSTI UPROSTRED DAVU

PRÍLOHA A1.1 – CELÉ RIEŠENÉ ÚZEMIA

PRÍLOHA A1.2 – ZELNÝ TRH

PRÍLOHA A1.3 – NÁMESTIE SVOBODY

PRÍLOHA A2: SCENÁR B – ÚTOK VOZIDLOM

PRÍLOHA A2.1 – CELÉ RIEŠENÉ ÚZEMIE

PRÍLOHA A2.2 – NÁMESTIE SVOBODY

PRÍLOHA A3: SCENÁR C – ZABLOKOVANIE HLAVNÝCH ÚNIKOVÝCH TRÁS

PRÍLOHA A3.1 – CELENÉ RIEŠENÉ ÚZEMIE

PRÍLOHA A3.2 – ZELNÝ TRH

PRÍLOHA A3.3 – NÁMESTIE SVOBODY