



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR INŽENÝRSTVÍ RIZIK

DEPARTMENT OF RISK ENGINEERING

OPTIMALIZAČNÍ MODELY V OCHRANĚ OBYVATELSTVA

OPTIMIZATION MODELS IN POPULATION PROTECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Veronika Mihálová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

RNDr. Pavel Popela, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Studentka:	Bc. Veronika Míhállová
Studijní program:	Řízení rizik technických a ekonomických systémů
Studijní obor:	Řízení rizik technických systémů
Vedoucí práce:	RNDr. Pavel Popela, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23
Ústav/odbor:	Odbor inženýrství rizik

Ředitel ústavu 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:

Optimalizační modely v ochraně obyvatelstva

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student se bude zabývat problematikou optimalizace pro vybranou aplikační oblast krizového managementu, kterou podrobně prostuduje a v práci ji přehledně zpracuje. Při zpracování bude zohledněn historický kontext i současný stav a zvolený řešený problém bude popsán podrobně i v širších souvislostech. Student využije osvojené poznatky z oblasti teorie pravděpodobnosti, matematické statistiky, optimálního rozhodování a bude je aplikovat při formulaci matematického modelu pro řešení vybraného problému souvisejícího s optimální alokací zdrojů zohledňující minimalizaci dopadů vybraných rizik. Pomocí poznatků operačního výzkumu a při zohlednění dostupných dat student model upraví do tvaru vhodného pro řešení pomocí modelovacího softwaru GAMS. Vytvořený matematický model pak bude implementován a řešen pro testovací data. Výsledky budou prezentovány a dále diskutovány s ohledem na modelovanou odbornou problematiku.

Cíle diplomové práce:

- prostudování problematiky krizového managementu se zaměřením na ochranu obyvatelstva, související logistiku a rozhodovací procesy;
- zpracování osvojených znalostí v přehledové části práce s důrazem na problematiku optimální alokace zdrojů ochrany při zohlednění klíčových rizik;
- prohloubení znalosti o vybraných optimalizačních modelech a metodách jejich řešení;
- vytvoření a prezentace optimalizačního modelu vybraného problému a jeho případných modifikací a transformací;
- rozbor základních vlastností modelu a jejich využití pro volbu řešícího algoritmu;
- softwarová implementace v GAMSu a řešení úloh pro testovací data, interpretace a prezentace výsledků.

Seznam literatury:

Williams, H.P: Model Building for Mathematical Programming, Wiley and Sons, 1993.

Nash, S. et al. (1995): Linear and nonlinear programming. McGraw-Hill.

Klapka a kol. Metody operačního výzkumu, Brno 2001.

Birge, J., Louveaux F.: Introduction to Stochastic Programming. 2nd edition, Springer Verlag, 2011.

Vilášek, J., Krizové řízení v ČR na počátku 21. století, Karolinum, 2012.

Řehák, D., Východiska technického a organizačního zabezpečení ochrany obyvatelstva, SPBI VŠB-TU Ostrava, 2012.

Kolektiv autorů. Ochrana obyvatelstva a krizové řízení, skripta MV ČR GŘ HZS, 2015.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

Abstrakt

Predložená diplomová práca využíva základné poznatky operačného výskumu pre modelovanie a najmä riešenie vzniknutých mimoriadnych udalostí, kedy je potrebné rýchlo a adekvátne realizovať rozhodnutia spojené s ukrytím obyvateľstva, ako aj s alokovaním bezpečnostných zložiek, ktoré priebeh mimoriadnej situácie personálne zabezpečujú. Teoretická časť obsahuje základne informácie o stave a využití managementu rizík v civilnej bezpečnosti, pričom definuje pojmy priamo spojené s ochranou obyvateľstva a krízovým riadením. Pozornosť je taktiež sústredená na vybrané poznatky z matematického programovania a optimalizácie a ich historické uplatnenie v procesoch krízového riadenia. V praktickej časti práce je využívaný predovšetkým základný dopravný problém, modifikovaný pre problematiku stálych úkrytov civilnej ochrany v mestskej časti Brno-Židenice. Modely sú riešené prostredníctvom programu GAMS a vychádzajú z vlastnej analýzy rizík, ktorá detailne identifikuje kľúčové prvky systému ochrany obyvateľstva. Následne sú pomocou metódy FMEA formulované možné rizikové scenáre pre daný systém. Získané výsledky, poskytujúce informácie o optimálnej alokácii obyvateľov a bezpečnostných zložiek sú zakreslené do máp. Formulované sú odporúčania pre budúce plánovanie a krízové riadenie v prípade vzniku mimoriadnej udalosti.

Abstract

This master thesis utilizes operational research principles to model and address emergency events, with a focus on rapidly and effectively making decisions related to population sheltering and the allocation of security forces during such crises. The theoretical section provides fundamental information about the current state and application of risk management in civil security while defining terms directly associated with population protection and crisis management. Moreover, it explores the historical application of mathematical programming and optimization in crisis management processes.

In the practical segment of the thesis, the fundamental traffic problem is adapted to address the issue of establishing permanent civil protection shelters in the Brno-Židenice district. The models are solved using the GAMS program, building upon a comprehensive risk analysis that meticulously identifies key components of the population protection system. Furthermore, potential risk scenarios for the system are formulated using the FMEA method. The results obtained, which outline optimal allocation strategies for residents and security forces, are visually presented on maps. Recommendations are provided for future planning and crisis management in emergency events.

Klíčové slová

Management rizík analýza rizík, krízové riadenie, civilná bezpečnosť, matematické programovanie, GAMS

Keywords

Risk management, risk analysis, crisis management, civil safety, mathematical programming, GAMS

Bibliografická citácia

MIHÁLOVÁ, Veronika. *Optimalizační modely v ochraně obyvatelstva*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/143921>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor inženýrství rizik. Vedoucí práce Pavel Popela.

Prohlášení

Vyhlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému *Optimalizačné modely v ochrane obyvateľstva* som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce. Ako autorka uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon) v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení druhej časti , hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne

.....

Podpis autora

Podakovanie

Na tomto mieste by som chcela poďakovať RNDr. Pavlu Popelovi, Ph.D, za odborné vedenie, za množstvo cenných rád a najmä všetok čas, ktorý mi venoval pri spracovaní, konzultovaní a tvorbe predloženej diplomovej práce. V neposlednom rade by som chcela poďakovať mojej rodine a blízkym za ich podporu nielen počas spracovania diplomovej práce.

OBSAH

OBSAH	13
1 ÚVOD	15
2 SÚČASNÝ STAV	16
2.1 MANAGEMENT RIZÍK.....	16
2.1.2 <i>Posudzovanie rizík.....</i>	17
2.1.3 <i>Analýza hrozieb pre Českú republiku.....</i>	19
2.2 KRÍZOVÉ RIADENIE	23
2.2.1 <i>Kritická infraštruktúra.....</i>	24
2.2.2 <i>Krízové plány.....</i>	25
2.3 CIVILNÁ BEZPEČNOSŤ	25
2.4 OCHRANY OBYVATEĽSVA, CIVILNÁ OCHRANA A CIVILNÁ OBRANA.....	28
2.5 KONCEPCE A ÚLOHY OCHRANY OBYVATEĽSTVA.....	29
2.5.1 <i>Varovanie a vyznamenie obyvateľstva</i>	31
2.5.2 <i>Evakuácia</i>	32
2.5.3 <i>Ukrytie obyvateľstva</i>	35
2.5.4 <i>Núdzové prežitie</i>	38
2.5.5 <i>Dekontaminácia</i>	39
2.5.6 <i>Humanitárna pomoc.....</i>	39
2.6 MATEMATICKÉ PROGRAMOVANIE.....	40
2.6.1 <i>Lineárna optimalizácia</i>	41
2.6.2 <i>Nelineárna optimalizácia.....</i>	42
2.6.3 <i>Stochastická optimalizácia</i>	42
2.6.4 <i>Dopravný problém</i>	43
2.6.5 <i>GAMS software.....</i>	44
2.6.6 <i>Kontext použitia optimalizácie v núdzovom riadení.....</i>	46
3 FORMULÁCIA PROBLÉMU A STANOVENIE CIEĽOV ŘIEŠENIA	48
4 POUŽITÉ METÓDY	49
5 VLASTNÉ ŘIEŠENIE/ DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY.....	54
5.1 ANALÝZA RIZÍK.....	54
5.2 POPIS SITUÁCIE BRNO-ŽIDENICE.....	66
5.3 OPTIMALIZÁCIA	68
6 DISKUSIA.....	100
6.1 ANALÝZA RIZÍK.....	100

6.1.1	<i>Odporúčania</i>	102
6.2	OPTIMALIZÁCIA	103
6.2.2	<i>Odporúčania</i>	109
7	ZÁVER.....	111
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	112
	ZOZNAM TABULIEK	115
	ZOZNAM GRAFOV.....	116
	ZOZNAM OBRÁZKOV	116
	ZOZNAM SKRATIEK.....	117
	ZOZNAM PRÍLOH	118

1 ÚVOD

Vývoj geopolitickej situácie v posledných rokoch vyvoláva potrebu venovať zvýšenú pozornosť systému ochrany obyvateľstva a civilnej bezpečnosti. Civilná ochrana predstavuje komplexnú problematiku, ktorá je ošetrovaná množstvom legislatívnych dokumentov ako zákony, vyhlášky a nariadenia. Napriek tomu, od minulého storočia jej aktualizácia a prispôsobenie novým požiadavkám, najmä prostredníctvom využitia nových technológií v procesoch plánovania a riadenia, je len veľmi pomalé.

Vznik mimoriadnej situácie a jej vývoj je ťažko predpovedateľný, kedy je kľúčovou rýchlou odozva a reakcia v podobe opatrení, ktoré znižujú možné následky a dopady takejto udalosti. V súčasnosti sa kladie dôraz na individuálnu pripravenosť občana, pokladaného za základný prvok funkčného systému. Bezpečnostné zložky a iné orgány zapojené do ochrany obyvateľstva sú pravidelne podrobované testovaniu ich pripravenosti v podobe simulovaných cvičení. Technické vybavenie a zariadenia podliehajú pravidelným prísnyh revíziám a kontrolám, krízové a evakuačné plány sú pravidelne aktualizované a dopĺňané o nové informácie a požiadavky. Jedná sa o obsiahle dokumenty, ktorých hlavnou nevýhodou je práve ich rozsah a množstvo, ktoré v prípade vypuknutia mimoriadnej situácie často nezabezpečuje pružnú reakciu. Rizikom je fakt, že uvedené informácie už nemusia byť aktuálne, a teda nedochádza k správnej reakcii na typ vzniknutého nebezpečenstva. Evakuačné plány a celkovo plány krízového riadenia neoperujú s možnosťou náhody, zmeny či úpravy daných podmienok, ktorá môže byť nutná pre vzniknutú krízovú situáciu. Cieľom predloženia diplomovej práce je začlenenie základných princípov stochastického modelovania a návrh jeho použitia a začlenenia v plánovaní a príprave, kedy v prípade vzniku danej udalosti je možné model upraviť, tak aby odrážal skutočné požiadavky.

2 SÚČASNÝ STAV

Nasledujúce kapitoly obsahujú definíciu managementu rizík, spôsob posudzovania a vyhodnocovania nebezpečenstiev a hrozieb, ktorým Česká republika čelí. Pozornosť je venovaná civilnej bezpečnosti a úlohám ochrany obyvateľstva v Českej republike, aby bolo možné v praktickej časti jasnejšie pristúpiť k identifikácií možných rizikových scenárov.

2.1 MANAGEMENT RIZÍK

Management rizík je chápaný ako súbor koordinovaných činností pre vedenie a riadenie s ohľadom na riziko, ktoré je definované ako odchýlka od očakávaného cieľu.

Náplň managementu rizík tvoria procesy pozostávajúce zo zisťovania pasívnych a aktívnych nebezpečenstiev, odhadu rizika a rozhodovaní o riziku, ovládaní nebezpečenstva spojeného s rizikom, sledovaním realizácie nebezpečenstva, vykazovaním nákladov spojených s realizáciou nebezpečenstva, čo prispieva k informovaniu poverenej osoby v procesoch rozhodovania. Efektívny management rizík vo svojich zásadách určuje požiadavky na svoju integrovanosť, štruktúrovanosť, prispôsobivosť potrebám, kompletnosť, dynamickosť, dostupnosť najlepších informácií, ľudské a kultúrne faktory a trvalé zlepšovanie, vedúce k zvyšovaniu výkonu, povzbudzuje inovácie a mimo iné chráni hodnoty spoločnosti [1]. Management rizika v primárnej rovine prispieva v otázke ochrany štátu k skvalitneniu strategických rozhodnutí a schopnosti reakcie na katastrofy. V sekundárnej rovine ide predovšetkým o obmedzenie strát a minimalizáciu dopadov neočakávaných udalostí [2].

Cieľom managementu rizík je tvorba vedecky podložených, nákladovo-efektívnych a integrovaných opatrení, vedúcich k znižovaniu rizík, s dôrazom a ohľadom na ekonomické, environmentálne, sociálne, kultúrne, etické, politické a legislatívne faktory [3] [4].

Riziko je možné definovať viacerými spôsobmi, avšak častá a používaná definícia charakterizuje riziko ako možnosť, kedy hrozba využije zraniteľnosť systému, a tým vzniká s určitou pravdepodobnosťou nežiadúca bezpečnostná udalosť. Hrozba je teda potenciálny zdroj nebezpečenstva, ujmy alebo iného než žiadúceho výsledku [5]. Riziko je zložené a popísané prostredníctvom zdroju rizika, potenciálnej udalosti, jej následkov a pravdepodobnosti výskytu [1].

Riziko vykazuje dve základné charakteristiky:

- Neurčitý alebo neistý výsledok – ak je výsledok istý, žiadne riziko neexistuje. Iba v prípade, existencie viacerých možných variant výsledku môžeme hovoriť o riziku.

- Aspoň jedna z výsledných uvažovaných možností je nežiadúca – aj keď existuje viacero možných výsledkov, musí sa súčasne aspoň v jednom možnom výsledku jednať o negatívny jav [5].

Klasifikácia rizík

Riziká je možné klasifikovať na základe rôznych kritérií, pričom neexistuje univerzálne používané usporiadanie. Z toho dôvodu sú uvedené iba niektoré pojmy, ktoré riziko umožňujú bližšie popísať, a tým ho zaradiť do danej skupiny [2]:

- Hmotné riziko, ktoré je spravidla merateľné. Nehmotné riziká sú naopak nemerateľné a súvisia s duševnou činnosťou alebo nečinnosťou.
- Špekulatívne riziko je podstupované so zámerom a cieľom zisku z rizika. Opakom je čisté riziko, kedy realizácia tohto rizika je vždy nepriaznivá, a riziku sa snažíme vyhnúť.
- Systematické riziko je vystavených niekoľko projektov zároveň. Ak sa riziko vzťahuje len k jednému projektu jedná sa o riziko nesystematické.
- Poistiteľné a nepoistiteľné riziko je delenie podľa možnosti poistenia rizika, a tým prevedenia daného rizika na tretiu osobu.
- Strategické riziko je uplatňované v strategickom rozhodovaní, pri hľadaní vhodnej varianty. V operačnom rozhodovaní, kedy sa hľadá spôsob, ako niečo vykonať sa vyskytujú operačné riziká.
- Odhadované riziko nedokážeme numericky popísať, dokážeme vyjadriť iba či existuje alebo neexistuje [2].

2.1.2 Posudzovanie rizík

Česká technická norma ČSN ISO 31000 definuje proces posudzovania rizík ako identifikáciu, analýzu a hodnotenie rizík vedúce k ošetreniu týchto rizík prostredníctvom systému riadenia rizík uplatňovaného v managemente rizík [1].

Procesu identifikácie predchádza stanovenie rozsahu, kontextu a kritérií, a tým k efektívnemu posúdeniu a ošetreniu rizík. Dôležitosť je kladená na systematické, opakované posudzovanie s podporou znalostí a zainteresovaných strán [1].

Identifikácia rizík

V systematickom procese identifikácie dochádza k popisu povahy rizika, stanoveniu pravdepodobnosti vzniku a možnému dopadu, ak dané riziko nastane. Ako nástroje identifikácie je možné používať metódy založené na dôkazoch, ako kontrolné zoznamy a historické data, systematické tímové prístupy alebo techniky induktívneho uvažovania. Pri identifikácii je potrebné uvažovať viac možných výsledkov, vedúcich k rôznym hmotným aj nehmotným následkom [1].

Analýza rizika

K podrobnému posúdeniu neistoty, zdrojov rizika, následkov a pravdepodobností, scenárov, odhadu rizika a opatrení dochádza v procese analýzy rizika. Jedná sa o základný prvok rizikového inžinierstva a podmienku k rozhodovaniu o riziku. Existujú dva hlavné typy analýzy. Prvou je apriórna analýza, kedy jav, je zdrojom nebezpečenstva a v minulosti už minimálne raz nastal, a jeho povaha je známa. Vzhľadom k tomu, že existuje mnoho javov a udalostí, o ktorých sa domnievame, že môžu nastať, bez toho aby sa v minulosti vyskytli, a teda riziko je tvorené odhadom, je druhý typ označovaný ako aposteriórna analýza.

Ďalšie možné delenie, na základe odlišných požiadaviek na analýzu, rozlišuje dva základné typy analýzy. Cieľom absolútnej analýzy je stanovenie presnej hodnoty rizika. Ak analýza slúži k porovnaniu dvoch alebo viacerých projektov a ich rizík využívame relatívnu analýzu [1] [3].

Analýzu rizika je možné rozčleniť do niekoľkých krokov:

- Identifikácia aktív – dochádza k detailnému popisu všetkého, čo má pre subjekt hodnotu. Aktíva sa delia na hmotné a nehmotné. Charakteristikami aktíva je jeho hodnota a zraniteľnosť.
- Stanovenie hodnoty aktív – aktíva sú v procese ohodnotených z pohľadu významu pre subjekt a z pohľadu dopadu pri ich poškodení, narušení alebo strate.
- Identifikácia hrozieb a slabín – sú definované udalosti, ktoré negatívne ovplyvňujú hodnotu aktív. Riziková udalosť vzniká, ak je zraniteľné miesto využité hrozbou.
- Stanovenie závažnosti hrozieb a miery zraniteľnosti – určuje sa pravdepodobnosť výskytu hrozby a mieru zraniteľnosti subjektu voči danej hrozbe [5].

Analýza rizika vo všeobecnosti v sebe nesie určitú mieru subjektivity, spôsobenej vnímaním rizika, úsudkom hodnotiteľa a kvalitou použitých informácií. Vplyvy tohto charakteru je potrebné zdokumentovať a zdieľať osobám s rozhodovacími právomocami. Metódy používané v analýze a hodnotení rizika je možné rozdeliť na kvantitatívne, kvalitatívne a semikvalitatívne [1].

Hodnotenie rizík

Hodnotenie rizík porovnáva výsledky analýzy so stanovenými kritériami rizika a vedie k rozhodnutiu o vhodnom ošetrovaní miery rizika. Cieľom hodnotenia rizika je získanie podkladov pre rozhodovanie o ošetrovaní rizík, stanovenie priorít pri implementácii riešení a opatrení, a celkové stanovenie množiny rizík, ktoré musia byť ošetrované [2].

Najbežnejšie je rozdelenie rizík do troch hlavných skupín:

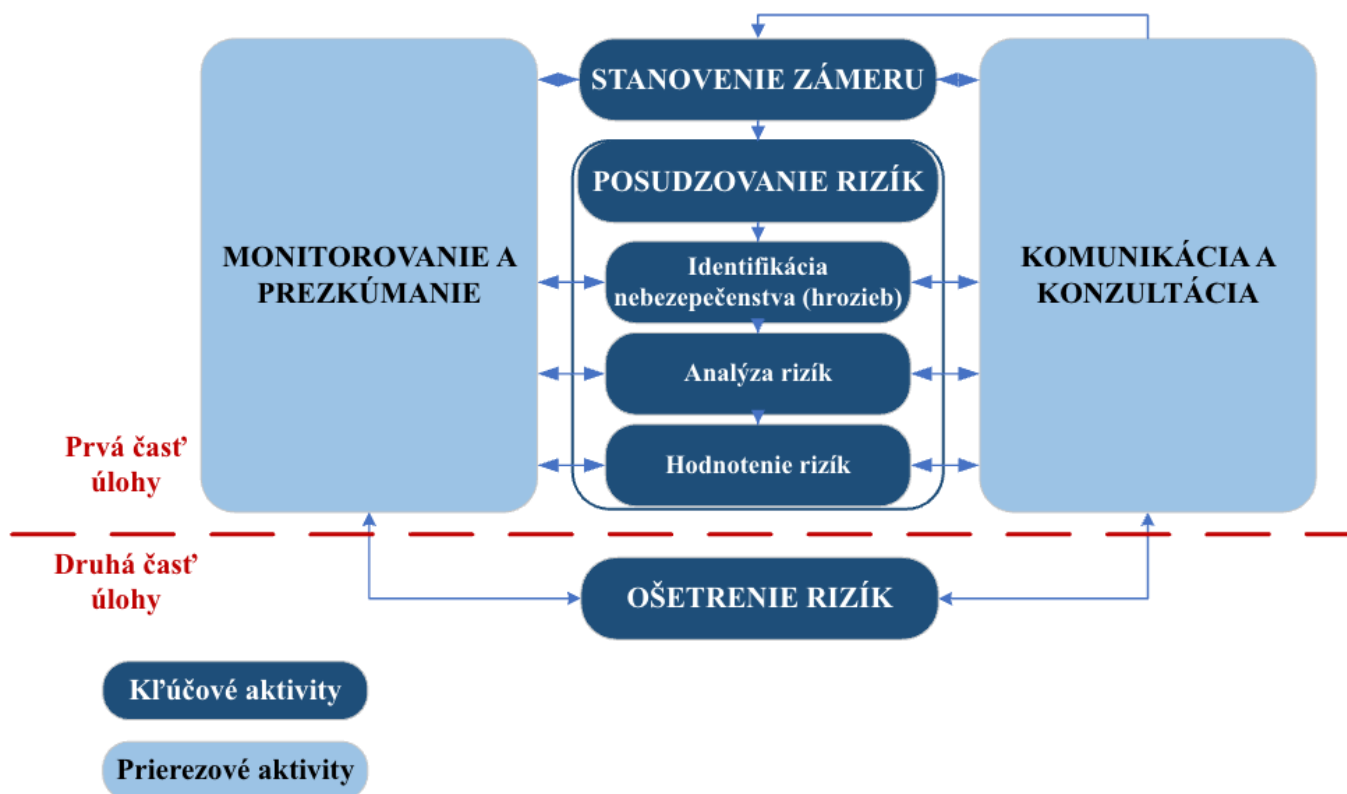
- Horná skupina – úroveň rizika je neprijateľná a ošetrovanie rizika je nutné.
- Stredná skupina – je nutné zvážiť prínosy a náklady vzhľadom k možným následkom.
- Dolná skupina – úroveň rizika je malá až zanedbateľná, opatrenia k ošetrovaniu rizika nie sú nutné.

Kritéria, na základe ktorých je riziko hodnotené môžu mať rôzne kultúrne, právne, spoločenské, reputačné, environmentálne, zmluvné, finančné a iné atribúty, dôležité pre danú situáciu, v ktorej je riziko hodnotené. Úroveň rizika je možné vyjadriť v grafickom zobrazení pomocou matice rizík alebo mapy rizika [6].

2.1.3 Analýza hrozieb pre Českú republiku

Dokument *Analýza hrozieb pro Českou republiku* obsahuje a popisuje zvolený postup riešenia využívaný k analýze hrozieb založenej na normách a štandardoch ČSN ISO 31 000 - *Management rizik - Principy a směrnice*; ČSN EN 31010 *Management rizik - Techniky posuzování rizik* a TNI 01 0350 *Management rizik - Slovník* [7].

Postup analýzy zahrňuje realizáciu kľúčových a prierezových aktivít uvedených na Obr. 1.



Obr. 1 - Postup analýzy hrozieb (Vlastné grafické spracovanie [7])

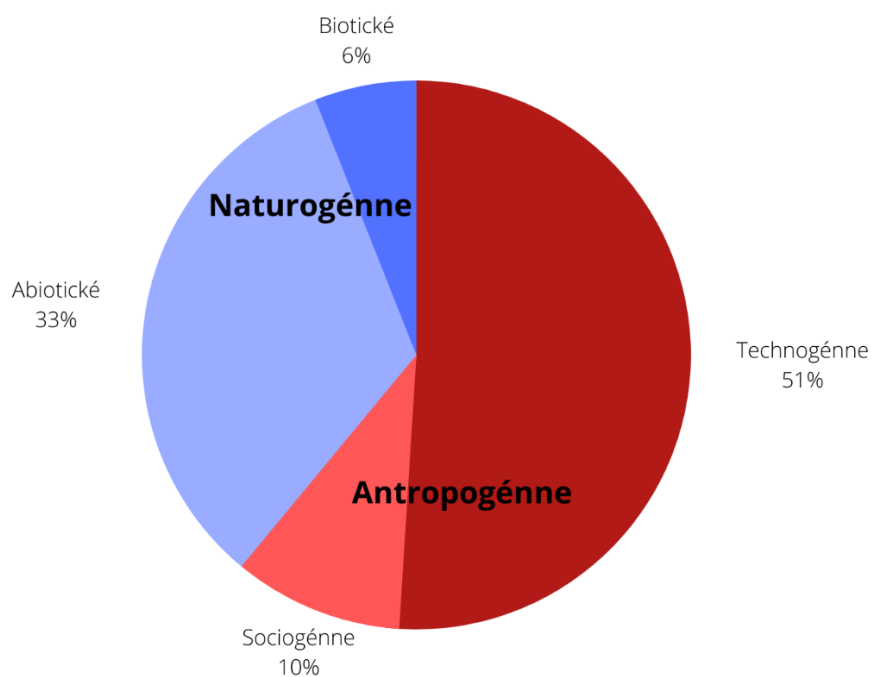
Tento postup pozostáva z jednotlivých dielčích krokov, ktoré sú zhodné s tými, popísanými v kapitole 2.1.2.

Záverečná správa obsahuje 72 identifikovaných typov nebezpečenstva, rozdelených do kategórií technogénnych, sociogénnych, abiotických a biotických nebezpečenstiev, pričom celkovo 22 identifikovaných typov hrozieb bolo vyhodnotených ako nebezpečenstvo s neprijateľným rizikom, kedy je možné očakávať odôvodnené vyhlásenie krízového stavu. Identifikované nebezpečenstvá a ich zaradenie do jednotlivých kategórií uvádzame v Tabuľke 1 [7].

Tabuľka 1 - Identifikované nebezpečenstvá z analýzy hrozieb [7]

Kategorie nebezpečenstva		Typy nebezpečenstva s neprijateľným rizikom
Naturogénne	Abiotické	Dlhodobé sucho
		Extrémne vysoké teploty
		Prívalová povodeň
		Výdatné zrážky
		Extrémny vietor
		Povodeň
	Biotické	Epidemic - hromadné nákazy osôb
		Epifytie - hromadné nákazy poľných kultúr
		Epizootie - hromadná nákaza zvierat
Antropogénne	Technogénne	Narušenie dodávok potravín veľkého rozsahu
		Narušenie funkčnosti významných systémov elektronických komunikácií
		Narušenie bezpečnosti informácií kritickej informačnej infraštruktúry
		Zvláštna povodeň
		Únik nebezpečnej chemickej látky zo stacionárneho zariadenia
		Narušenie dodávok pitnej vody veľkého rozsahu
		Narušenie dodávok plynu veľkého rozsahu
		Narušenie dodávok ropy a ropných produktov veľkého rozsahu
		Radiačná havária
		Narušenie dodávok elektrickej energie veľkého rozsahu
	Sociogénne	Migračné vlny veľkého rozsahu
		Narušovanie zákonitosti veľkého rozsahu
	Ekonomické	Narušenie finančného a devíziového hospodárstva štátu veľkého rozsahu

Riziká v kategórii označenej ako neprijateľné riziko je potrebné na základe správy eliminovať za využitia prípravy na krízovú situáciu a krízového plánovania. Zároveň majú tieto riziká najvyššiu prioritu na všetkých stupňoch verejnej správy [7].



Graf 1 - Výsledky analýzy hrozieb (Vlastné grafické spracovanie na základe [7])

Zo samotnej identifikácie hrozieb a ďalšieho procesu boli vopred vyradené nebezpečenstvá vojenského napadnutia, s odvolaním na ucelený systém plánovania a zaistenia pripravenosti, ktorý je súčasťou dokumentu *Bezpečnostní strategie České republiky z roku 2015* [7].

Zmienený dokument hodnotí pravdepodobnosť ohrozenia územia Českej republiky masívnym vojenským útok ako nízku, avšak nevyklučuje priame ohrozenie niektorého členského štátu NATO a Európskej únie. Medzi základné hrozby radí okrem ekonomických a finančných hrozieb, kybernetických útokov, prírodných katastrof, regionálnych konfliktov, šírenie zbraní hromadného ničenia a oslabovanie kooperatívnej bezpečnosti, ako aj politických a medzinárodnoprávnych záväzkov v oblasti bezpečnosti. Dokument rovnako vyhodnocuje ako vysokú hrozbu terorizmu a pokusy niektorých štátov o budovanie sféry vplyvu prostredníctvom vytvárania tlaku vo viacerých oblastiach v kombinácii so spravodajskou aktivitou, za využitia kybernetického priestoru [8].

Ako príčinu možnej destabilizácie a možného konfliktu uvádza kolektív autorov, najmä masívne porušovanie ľudských práv a slobôd.

2.2 KRÍZOVÉ RIADENIE

Krízové riadenie je definované ako súbor riadiacich činností vykonávaných orgánmi krízového riadenia, so zameraním na analýzu, vyhodnocovanie bezpečnostných rizík a plánovanie, organizovanie, realizáciu a kontrolu v súvislosti s prípravou na krízovú situáciu alebo ako súčasť kritickej infraštruktúry. Orgánmi krízového riadenia sú Vláda Českej republiky, ministerstvá a iné ústredné správne úrady, Česká národná banka, orgány kraja a ďalšie orgány s pôsobnosťou na území kraja. Ďalej sem patria orgány obce a orgány obce s rozšírenou pôsobnosťou a ostatné orgány s územnou pôsobnosťou, predovšetkým bezpečnostné rady, krízové štáby a územné správne úrady. Každý orgán má svoju presne definovanú organizačnú štruktúru, práva a povinnosti a úlohy, za ktorých zabezpečenie zodpovedá [9].

Na základe vzniknutej krízovej situácie, je zákonom č.239/2000 Sb., upravená mimoriadna udalosť, ako udalosť ohrozujúca životy, zdravie, majetok a životné prostredie, kedy dochádza k narušeniu kritickej infraštruktúry alebo k inému nebezpečenstvu, pri ktorom je vyhlásený stav nebezpečia, núdzový stav alebo stav ohrozenia.

V dokumente *Analýzy hrozieb Českej republiky* je pre územie *Jihomoravského kraja* identifikovaných celkovo 16 typov nebezpečenstva, vyznačených v Tabuľka 1 a predstavujúcich vysoké riziko s možnosťou spôsobiť vznik krízovej situácie. Pre každé nebezpečenstvo je vypracovaný typový plán, obsahujúci odporúčené postupy, zásady a opatrenia pri riešení krízovej situácie [7].

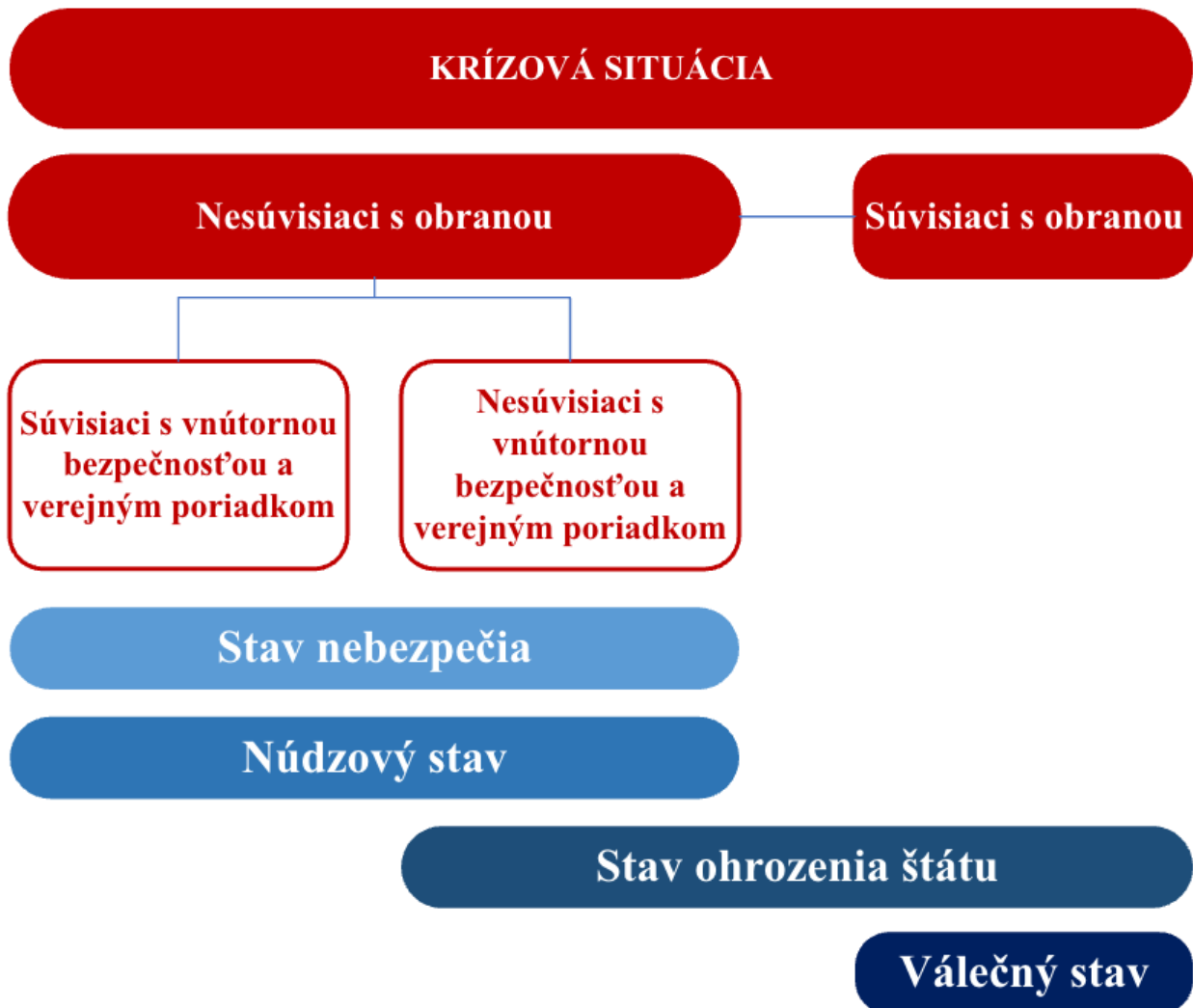
Krízové opatrenie je definované zákonom č. 240/2000 Sb., *o krízovom řízení a o změně některých zákonů* ako organizačné alebo technické opatrenie vyhlásené iba pri krízovom stave určené k riešeniu krízovej situácie a odstráneniu jej následkov [10].

Právna úprava rozlišuje štyri typy krízového stavu, ktoré je možné vyhlásiť v prípade vzniknutých krízových situácií:

- Stav nebezpečia – jedná sa o typ krízovej situácie, nesúvisiacej s obranou štátu, vyhlasovaný hejtmanom kraja pre územie kraja alebo jeho časť, pričom doba trvania stavu nebezpečia nie je dlhšia ako 30 dní.
- Núdzový stav – krízový stav vyhlasovaný vládou Českej republiky pre celý štát alebo obmedzené územie štátu, nesúvisiaci s obranou štátu pre dobu neprekračujúcu 30 dní.
- Stav ohrozenia štátu – vyhlasuje Parlament Českej republiky na návrh Vlády Českej republiky, pre obmedzené územie alebo štát. Právna úprava a kompetencie parlamentu a vlády sú ukotvené v *Ústavnom zákone č.110/1998 Sb.* [10] [11].

- Vojnový stav – je typ krízovej situácie súvisiacej s obranou štátu, kedy jeho vyhlásenie upravuje *Ústavný zákon č. 1/1993 Sb.*, pričom platí pre celý štát a jeho doba trvania nie je časovo obmedzená [12].

Súvislosti a delenie krízových situácií je zobrazené na Obr. 2



Obr. 2 - Typy krízových situácií (Vlastné grafické spracovanie na základe [9])

2.2.1 Kritická infraštruktúra

Z dôvodu rastúcej zraniteľnosti modernej spoločnosti rastie potreba venovať pozornosť otázkam spojeným s ohrozením obyvateľstva, zachovaním základných funkcií štátu, zvyšovaným prevenciou, pripravenosti a zvládaním následkov možných mimoriadnych udalostí.

Kritická infraštruktúra je krízovým zákonom vymedzená ako prvok alebo systém prvkov, ktorých narušenie funkcie by malo závažný dopad na bezpečnosť štátu, zabezpečenie základných životných potrieb obyvateľstva, zdravie osôb alebo ekonomiku štátu. Prvok kritickej infraštruktúry je zväčša stavba, zariadenie, prostriedok alebo verejná infraštruktúra určená podľa prierezových

a odvetvových kritérií. *Nařízení vlády č. 432/2010 Sb., o kritériích pro určení prvků kritické infrastruktury* definuje prierezové kritéria ako súbor hľadísk pre posudzovanie závažnosti vplyvu narušenia funkčnosti prvku kritickej infraštruktúry s hraničnou hodnotou zahrňujúcou rozsah strát na životoch, dopad na zdravie osôb, závažný ekonomický dopad alebo dopad na verejnosť v dôsledku rozsiahleho obmedzenia poskytovania nevyhnutných služieb. V prípade odvetvových kritérií sa jedná o technické a prevádzkové hodnoty pri určovaní prvkov kritickej infraštruktúry v odvetviach energetiky, vodného hospodárstva, potravinárstva a poľnohospodárstva, zdravotníctva, komunikačných a informačných systémov, finančného trhu, núdzových služieb a verejnej správy [9] [13].

2.2.2 Krízové plány

Krízové plánovanie je možné chápať ako ucelený súbor metód, postupov a opatrení, používaných vecne príslušnými orgánmi a určenými subjektami k predchádzaniu, príprave a odozve na činnosti v krízových situáciách. Výstupom krízového plánovania je krízový plán alebo plán krízovej pripravenosti. K spracovaniu krízových plánov je možné využiť *Metodiku zpracování krizových plánů* [9] [14].

V rámci krízového plánovania je nevyhnutné určiť hrozby a mieru rizika, rozsah ohrozenia, disponibilné prostriedky, čas potrebný na prípravu a uskutočnenie opatrenia a stanoviť postupy riešenia vzniknutej krízovej situácie. Krízové plány sa delia na objektové a územné, spracované pre konkrétne územie ako kraj a obce s rozšírenou pôsobnosťou. Krízový plán sa vo svojej štruktúre skladá z troch hlavných častí. Prvou je časť základná, obsahujúca charakteristiku organizácie, prehľad možných zdrojov rizika a prehľad prvkov kritickej infraštruktúry. Operatívna časť obsahuje prehľad krízových opatrení, spôsob plnenia regulačných opatrení, plán nevyhnutých dodávok, prehľad spojení na subjekty podieľajúcich sa na riešení krízovej situácie, rozpracovanie typových plánov a prehľad plánov spracovaných podľa zvláštnych predpisov ako je vodný zákon. Tretia pomocná časť obsahuje prehľad právnych predpisov, zásady manipulácie s krízovým plánom, geografické podklady a ďalšie dokumenty súvisiace s pripravenosťou a riešením krízovej situácie [9].

2.3 CIVILNÁ BEZPEČNOSŤ

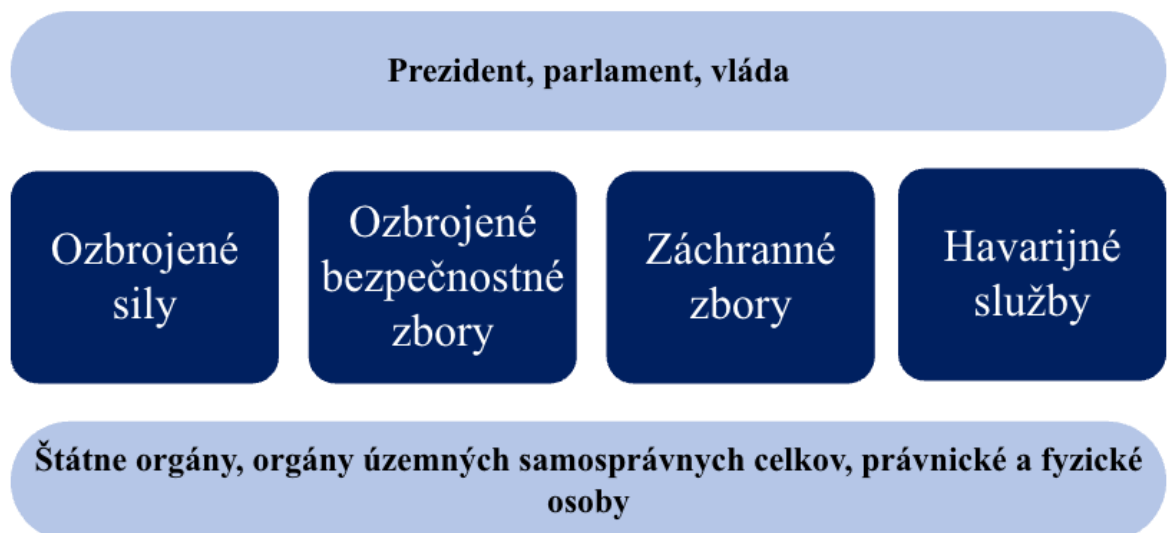
Kapitola obsahuje vymedzenie základných pojmov súvisiacich s civilnou bezpečnosťou, ich charakteristiku a definíciu, s cieľom lepšieho pochopenia fungovania celého systému ochrany obyvateľstva.

Bezpečnostný systém

Dokument vydaný *Ministerstvom zahraničných vecí Českej republiky* z roku 2015, vymedzuje bezpečnostný systém ako systém komplexne usporiadaný so základom v legislatívnom vyjadrení pôsobnosti a vzájomných väzbách jeho jednotlivých zložiek. Jeho základnými funkciami je tvorba rámca pre realizáciu bezpečnostnej politiky a koordinácia jednotlivých zložiek, zaisťujúcich bezpečnostné záujmy Českej republiky (ČR). V štruktúre bezpečnostný systém pozostáva z prezidenta republiky, Parlamentu ČR, vlády ČR, Bezpečnostnej rady štátu a jej pracovných orgánov, ústredných správnych úradov, krajských a obecných úradov, ozbrojených síl a bezpečnostných zborov, spravodajských služieb, záchranných zborov a služieb a havarijných služieb. Funkčný bezpečnostný systém by mal byť schopný zaisťovať nielen účinné zvládanie krízových situácií vojenskej a nevojenskej povahy, ale zároveň zabezpečovať prevenciu včasnou prípravou na krízové situácie, ich identifikáciou a varovaním. Z dôvodu vzniku nových hrozieb je požadované aby bol bezpečnostný systém dynamický a schopný reagovať a prispôsobovať sa meniacim podmienkam v prostredí, v ktorom sa nachádza [8]. Bezpečnosť je v tomto prípade chápaná ako zaistenie zvrchovanosti a územnej celistvosti krajiny, ochrany jej demokratických základov a ochrany života, zdravia i majetkových hodnôt. Orgány štátu a štát samotný, ako základná mocenská jednotka s mocou vládnuť, súdiť a vytvárať zákony, zaisťuje bezpečnosť krajiny a funkčnosť bezpečnostného systému. Cieľom bezpečnostného systému je zaistenie bezpečnosti a naplnenie potreby bezpečia človeka. Systém spĺňajúci tieto požiadavky je právne zakotvený, hierarchický, vzájomne previazaný systém práv a povinností orgánov štátnej správy, samosprávy, súkromných subjektov a občanov vedúci k zaisteniu bezpečnosti bez ohľadu na druh a rozsah hrozby [9] [15].

Piliere bezpečnosti

Štátne aparáty a súdy sa podieľajú najmä na právnej úprave bezpečnostného systému, zatiaľ čo, zaistenie ochrany a bezpečnosti je úlohou ozbrojených síl, ozbrojených bezpečnostných zborov, záchranných zborov a havarijných služieb, označované ako piliere bezpečnosti [9]. Zložky celého bezpečnostného systému sú schematicky znázornené na Obr. 3.



Obr. 3 - Piliere bezpečnosti (Vlastné grafické spracovanie na základe [9])

Na základe pilierov bezpečnosti je možné druhy ohrození rozdeliť na vonkajšie hrozby ohrozujúce celistvosť štátu, vnútorné hrozby narúšajúce vnútorný poriadok a verejnú bezpečnosť. Tretiu skupinu tvoria ostatné hrozby ako napríklad mimoriadne udalosti, prírodné a technické katastrofy a iné. Role bezpečnostných zložiek a ich zainteresovanie v riešení uvedených hrozieb sa vzájomne prelína a dopĺňa [9] [15].

Bezpečnostné zložky

Ochranu pred hrozbami vonkajšieho ohrozenia zabezpečuje prevažne *Armáda Českej republiky*, zatiaľ čo *Polície Českej republiky* zaisťuje vnútorný poriadok a verejnú bezpečnosť. *Hasičský záchranný sbor Českej republiky (HZS ČR)* sa podieľa na ostatných typoch ohrozenia a havarijných službách predstavujúcich zapojenie ostatných zložiek integrovaného záchranného systému, ako aj právnických a podnikajúcich fyzických osôb [9] [15].

Integrovaným záchranným systémom (IZS) sa podľa zákona č.239/2000 *Sb.*, rozumie koordinovaný postup zložiek pri príprave na mimoriadnu udalosť a pri uskutočňovaní záchranných a likvidačných prác. Integrovaný záchranný systém je aktivovaný v prípade potreby uskutočňovania týchto aktivít a prác dvoma alebo viacerými zložkami IZS. Zložky tvoriace IZS je možné rozdeliť na základné zložky IZS a ostatné zložky IZS. Základné zložky podľa zákona č.240/2000 *Sb.*, pozostávajú z *HZS ČR*, *Jednotky požiarnej ochrany (JPO)*, zaradenej do plošného pokrytia kraja jednotkami požiarnej ochrany, *Zdravotnej záchrannej služby* a *Polície ČR*. Základné zložky IZS zabezpečujú nepretržitú pohotovosť pre príjem ohlásenia vzniku a vyhodnotenia mimoriadnej udalosti a neodkladný zásah v mieste mimoriadnej udalosti [10].

Ostatné zložky IZS sú na základe zákona č.239/2000 Sb., tvorené z vyčlenených síl a prostriedkov ozbrojených síl (*Armáda ČR*), ostatnými ozbrojenými bezpečnostnými zbormi (*Městská policie*), ostatnými záchrannými zbormi (*Báňská záchranná služba*), orgánmi verejného zdravia, havarijnými, pohotovostnými, odbornými a inými službami, zariadeniami civilnej ochrany a neziskovými organizáciami a združeniami občanov [16].

Bezpečnostná stratégia

Za základný koncepčný dokument bezpečnostnej politiky štátu je považovaná *Bezpečnostní strategie České republiky* obsahujúca východiská bezpečnostnej politiky, bezpečnostné záujmy ČR a stratégiu presadzovania týchto záujmov. Za životné záujmy ČR pokladá zaistenie zvrchovanosti, územnej celistvosti a politickej nezávislosti ČR, zachovanie náležitostí demokratického štátu a ochranu základných ľudských práv a slobôd. K ochrane životných záujmov dochádza pri napĺňovaní strategických záujmov ako energetická, surovinová a potravinová bezpečnosť. Účelom všetkých uvedených záujmov doplnených o možné ďalšie významné záujmy je nielen zaistenie týchto záujmov ale predovšetkým zvyšovanie odolnosti štátu voči bezpečnostným hrozbám [9] [15] [17].

Bezpečnostná politika

Jedná sa o súhrn opatrení za účelom zaistenia vnútornej a vonkajšej bezpečnosti a krokov vedúcich k prevencii, minimalizácii a eliminácii hrozieb. Za hlavný nástroj realizácie bezpečnostnej politiky je možné pokladať ozbrojené sily, vojenské spravodajstvo a ďalšie inštitúcie štátnej správy a samosprávy. Česká republika ako súčasť NATO a EÚ sa tiež aktívne podieľa na systéme kolektívneho zaistenia vlastnej obrany a spolupráci s partnerskými krajinami [9] [17].

Bezpečnostné hrozby

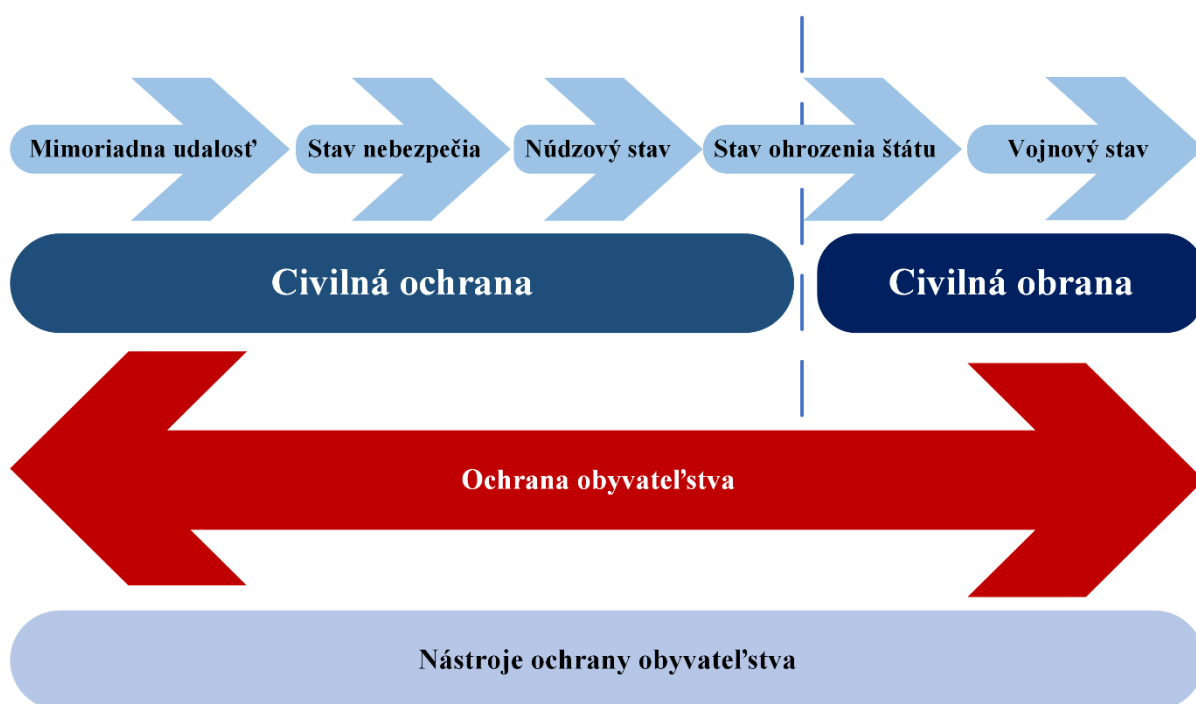
Za identifikované bezpečnostné hrozby vychádzajúce z analýz bezpečnostného prostredia je považované využitie zbraní hromadného ničenia, terorizmus, kybernetické útoky, konflikty v euroatlantickom priestore, prerušenie dodávok energie a strategických surovín, nelegálna migrácia, organizovaný zločin a pohromy prírodného pôvodu [9] [15].

2.4 OCHRANY OBYVATEĽSVA, CIVILNÁ OCHRANA A CIVILNÁ OBRANA

Súčasná legislatíva vymedzuje pojem civilnej ochrany ako súhrn činností a postupov vecne príslušných orgánov a ďalších zainteresovaných orgánov, zložiek a obyvateľstva smerujúcich k cieľu minimalizácie negatívnych dopadov možných mimoriadnych udalostí a krízových situácií. Civilnú ochranu je možné chápať ako plnenie úloh civilnej ochrany ako varovanie, evakuácia,

ukrytie, núdzové prežitie obyvateľstva a ďalšie opatrenia zabezpečujúce ochranu jeho života, zdravia, majetku a životného prostredia v súlade s platnými právnymi predpismi [9].

Koncept ochrany obyvateľstva viz Obr. 4 vo svojom základe rozlišuje medzi pojmom civilnej ochrany a civilnej obrany. V prípade, kedy dochádza k vývinu mimoriadnej udalosti cez proces stavu nebezpečia, núdzového stavu až do stavu ohrozenia štátu pojem civilnej ochrany prechádza na úroveň civilnej obrany [9].



Obr. 4 - Vývin mimoriadnej udalosti (Vlastné grafické spracovanie na základe [9])

2.5 KONCEPCIE A ÚLOHY OCHRANY OBYVATEĽSTVA

Koncepcie ochrany obyvateľstva do roku 2025 s výhľadom do roku 2030 rozvíja nový pohľad na ochranu obyvateľstva prostredníctvom jasne definovaných vízií a stratégií. Prvým strategickým cieľom je rozvoj podmienok ochrany obyvateľstva obsahujúci problematiku adekvátnej právnej úpravy, prípravu volených zástupcov, personálne zabezpečenie vedúce k zapojeniu do priamej pomoci obyvateľstvu a materiálno-technické zabezpečenie. Pre riešenie a zvládanie následkov mimoriadnych udalostí tento dokument považuje za dôležité materiálové zabezpečenie, kedy je základný materiál rovnomerne rozmiestnených na celom území ČR. Nákup a obmena potrebného špecifického materiálu a vybavenia prebieha pod záštitou *Správy štátných hmotných rezerv* bez väčšieho plánovania. Výhľad do roku 2030 pri plnení stanovených čiastkových úloh vedúcich k naplneniu vytýčeného strategického cieľu uvažuje zefektívnenie plánovania praktických

opatrení pro vzniku hrozieb, kedy systém bude zároveň reflektovať skúsenosti získané pri riešení mimoriadnych udalostí, za využitia kontinuálneho managementu rizík pre ČR. Druhá úlohová oblasť, ktorej sa koncept ochrany venuje je podpora úloh a opatrení, pozostávajúca zo vzdelávania žiakov a študentov, prípravy obyvateľstva, revízie opatrení ochrany obyvateľstva a rozvoju vo varovaní a informovaní. Dokument definuje občana ako základnú jednotku celého systému, a preto je nutné aby bol pripravovaný modernými metódami vzdelávania. Túto myšlienku podporuje tvrdením, že často je občan odkázaný na vlastné schopnosti a zručnosti, výrazne vplývajúce na výsledný dopad vzniknutej situácie. Organizovaním vzdelávacích aktivít v rámci štandardného vzdelávacieho procesu, ale aj mimo neho, dochádza k príprave populácie na hrozby vonkajšieho prostredia. Spolu so vzdelávaním sú plánované, organizované a realizované opatrenia ochrany obyvateľstva, a to varovanie a tiesňová komunikácia, evakuácia, núdzové prežitie, poskytovanie prostriedkov individuálnej ochrany a ukrytie. Pri mimoriadnych udalostiach nevojenského charakteru dokument odkazuje na improvizovaný spôsob ochrany za využitia prirodzených ochranných vlastností stavieb. Vybudované úkryty, sú vhodné najmä k ukrytiu pri vojenskej hrozbe. Štát v tomto prípade podporuje iba prevádzku takýchto úkrytov, ktoré sú súčasťou systému podzemných dopravných stavieb a úkrytového fondu fakultných nemocníc [18].

Za kľúčové je pre tento vytýčený strategický cieľ zlepšiť prípravu obyvateľstva v sebaobrane a sebestačnosti prostredníctvom plánovaných opatrení a zahrnutím podmienok do územného plánovania a stavebného riadenia. Žiadané je zrevidovanie súčasných opatrení v procese evakuácie, kde je za cieľ stanovené zjednodušenie tohto procesu a najmä nové nastavenie postupov pri evakuácií špecifických skupín obyvateľstva. Do budúca je plánované jasné vymedzenie núdzového prežitia právnymi a metodickými predpismi, s výhľadom prípravy populácie na 7 dní sebestačnosti pri vzniku mimoriadnej udalosti. Ako súčasť druhého strategického cieľa je stanovená podmienka vytipovania lokality na území každej obce s rozšírenou pôsobnosťou pre výstavbu materiálnej základne humanitárnej pomoci a vytvorenie miest poskytujúcich ďalšiu službu núdzového prežitia [18].

Posledný tretím strategickým cieľom *Koncepcie ochrany obyvateľstva do roku 2025 s výhľadom do roku 2030* v sebe zlučuje úlohy vedúce k zvyšovaniu účinnosti organizácie ochrany obyvateľstva za posilňovania mechanizmov spolupráce a previazanosti jednotlivých prvkov. Pozorovaná je potreba kontinuálnej analýzy vývoja hrozieb a ich dopadov na obyvateľstvo a prostredie. Pozornosť zostáva sústredená na najvýznamnejšie riziko pre ČR, riziko vzniku povodne, avšak do budúca je dôležité venovať pozornosť hrozbám s nízkou pravdepodobnosťou vzniku,

ale s vysokým dopadom. Cieľ pozostáva z úlohy zjednodušenia plánovacieho procesu, zapojenia nevládneho sektoru, pravidelných cvičení ochrany obyvateľstva a v zmodernizovaní používaných analytických nástrojov a informačných systémov. Plánovacia dokumentácia by mala do budúcnosti upustiť od popisného charakteru a bude nahradený sadou opatrení pre jednotlivé typy hrozieb, spracované do scenárov [18].

2.5.1 Varovanie a vyzrozumieanie obyvateľstva

Varovanie a vyzrozumieanie je súhrnný proces organizačných, technických a prevádzkových opatrení, zabezpečujúcich včasné predanie informácie obyvateľstvu o hrozacej alebo už vzniknutej mimoriadnej udalosti vyžadujúcej realizáciu opatrení [16].

Hlavným cieľom vyzrozumieania je rýchle zaktivovanie osôb určených pre riadenie a uskutočnenie preventívnych opatrení alebo opatrení vedúcich k odstraňovaniu následkov mimoriadnej udalosti a riešeniu krízovej situácie [16].

Základ jednotného systému varovania a vyzrozumieania tvorí neverejný systém selektívneho rádiového návestenia určeného k zabezpečeniu špecifických úloh vzniknutých pri mimoriadnej udalosti. Systém selektívneho rádiového návestenia (SSRN) umožňuje diaľkové selektívne ovládanie poplachových sirén alebo iných varovných zariadení ako i vysielanie krátkych textových správ osobám vybavených osobnými prijímačmi. Základom SSRN je vysielacia štruktúra v podobe siete obsahujúcej 156 vysieláčov [19].

Varovanie obsahuje varovný signál, po ktorom nasleduje predanie tiesňovej informácie o zdroji, povahe a rozsahu nebezpečenstva, a s tým spojených opatrení k ochrane. Zároveň dochádza k vyzrozumieaniu v podobe predania informácií o hrozacej alebo už vzniknutej mimoriadnej udalosti zložkám IZS, orgánom krízového riadenia a územnej samospráve ako aj štátnej správe. K varovaniu slúži jediný varovný signál „všeobecná výstraha“, s kolísavým tónom o dĺžke 140 sekúnd, ktorý je opakovaný 3-krát po sebe. K zabezpečeniu účinnosti, musí varovanie spĺňať podmienku včasnosti, dôveryhodnosti, stručnosti a zrozumiteľnosti. Tiesňová informácia môže mať verbálnu podobu, z celkového počtu 16 definovaných verbálnych informácií [19].

Za zber, uloženie a zobrazenie diagnostických dát a dát koncových meraní je zodpovedné, a za týmto účelom zriadené vyzrozumievacie centrum. Jednotný systém varovania a informovania obyvateľstva upravený dokumentom *Zásady ďalšieho rozvoja jednotného systému varování a informování obyvateľstva v České republice po roce 2010*, je súhrn orgánov a inštitúcií a väzieb medzi nimi, zabezpečujúci varovanie obyvateľstva a uskutočnenie vyzrozumieania. Infraštruktúra jednotného systému varovania a informovanosti obyvateľstva je tvorená systémom koncových

prvkov s úlohou vlastného varovania a informovania obyvateľstva a selektívneho rádiového návestenia, zabezpečujúceho ovládanie koncových prvkov varovania. Medzi koncové prvky patria rotačné sirény, elektronické sirény a miestne informačné systémy v podobe bezdrôtových rozhlasov a káblovej televízie [19] [20].

2.5.2 Evakuácia

Evakuácia je základným spôsobom zabezpečujúcim ochranu obyvateľstva, pri ohrození konkrétnych miest mimoriadnou udalosťou. V procese evakuácie dochádza na základe organizačných a technických opatrení k premiestneniu osôb, zvierat a predmetov kultúrnej hodnoty, technického zariadenia, strojov a materiálov nutných k zachovaniu nutnej výroby do miest s náhradným ubytovaním a stravovaním pre ľudí, s ustajnením pre zvieratá a s možnosťou uskladnenia evakuovaných vecí.

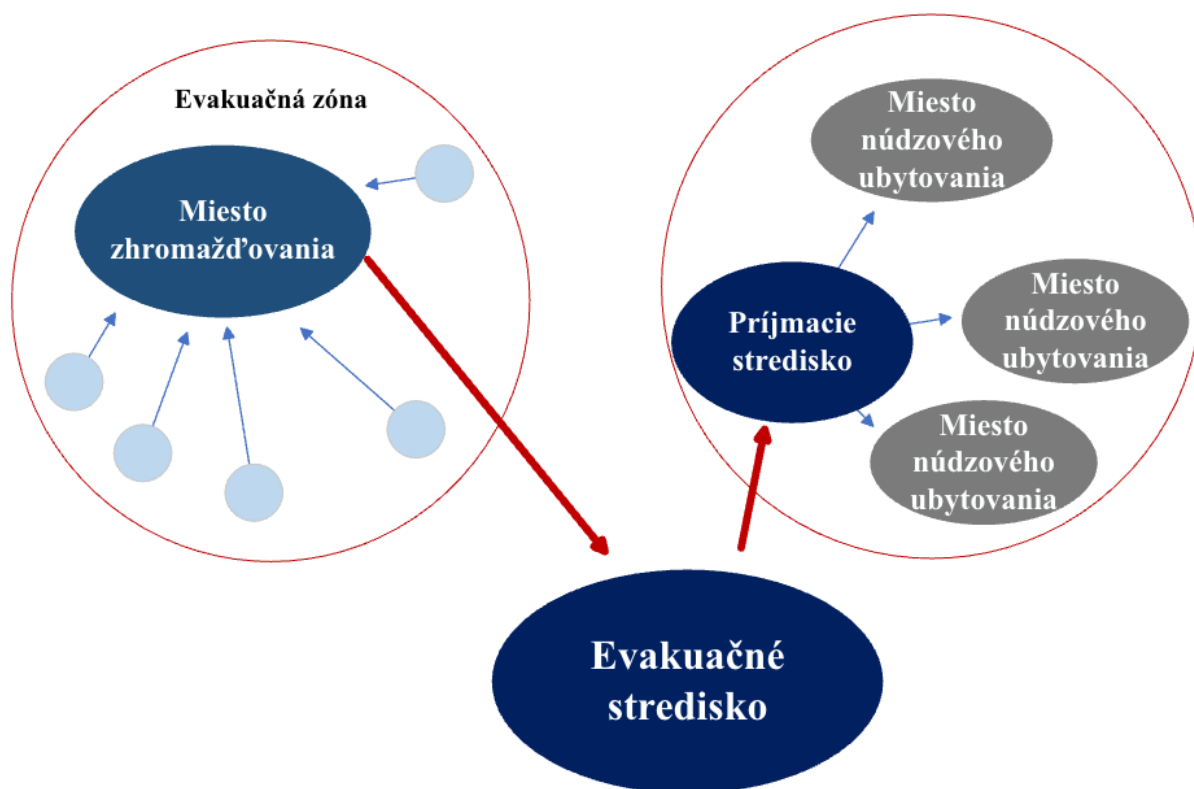
K evakuácií sa pristupuje v prípadoch, kedy nie je možné zaistiť ochranu iným spôsobom. Evakuácie sa musia zúčastniť všetky osoby, s výnimkou osôb podieľajúcich sa na záchranných prácach alebo vykonávajúcich inú neodkladnú činnosť [19].

Za evakuačnú zónu je považovaný priestor, z ktorého je nevyhnutné vykonať plošnú evakuáciu obyvateľstva. Z evakuačnej zóny do miesta nepostihnutého mimoriadnou udalosťou sú evakuované aj všetky nebezpečné látky.

Pri riadenej evakuácií dochádza k sústreďovaniu osôb vo vnútri evakuačnej zóny v miestach zhromaždenia a k prevozu evakuovaných osôb do evakuačného strediska nachádzajúceho sa mimo evakuačnej zóny [21]. Prevoz je realizovaný po vopred vytýčenej evakuačnej trase, z miesta zhromaždenia do evakuačného strediska. V evakuačnom stredisku dochádza k zhromažďovaniu a informovaniu o ďalšom postupe. Činnosť evakuačného strediska zabezpečuje personál a pomocníci, zložený prevažne s členov JPO, polície ako aj evakuovaných obyvateľov. Vedúcim takého zariadenia je príslušník HZS kraja, alebo zástupca obce zriaďujúci evakuačné stredisko. V prípade pobytu v evakuačnom stredisku dlhšom ako 12 hodín je nutné vyčleniť a vybaviť priestory pre nocľah lôžkami a upratovacími prostriedkami [9]. Na základe situácie je požadované vybaviť evakuačné stredisko náhradným ošatením, čistiacimi, dezinfekčnými prostriedkami a hygienickými pomôckami [19].

Evakuačné strediská sú zriaďované vo vopred určených objektoch, s dostatočným priestorom pre zhromaždenie uvažovaného počtu osôb, disponujú hygienickým zariadením a spĺňajú základné hygienické podmienky. Tieto objekty musia zároveň poskytovať ochranu evakuovaných pred vplyvmi počasia a ročného obdobia [9].

V prípade malých vzdialeností medzi evakuačným strediskom a miestami núdzového prežitia alebo na základe okolností mimoriadnej udalosti je možné zlúčiť evakuačné a prijímacie stredisko, nachádzajúce sa v príjmovej oblasti. Na Obr. 5 je znázornená situácia, kedy je evakuačné a prijímacie stredisko oddelené. Jedná sa o územie mimo dosah ohrozenia, kde sú osoby evidované a prerozdelené do predurčených cieľových miest núdzového prežitia [19].



Obr. 5 - Priebeh evakuácie (Vlastné grafické spracovanie na základe [19])

Právne náležitosti evakuácie v Českej republike upravuje *krizový zákon č. 240/2000 Sb., zákon o integrovaném záchranném systéme č. 239/2000 Sb., zákon o zajišťování obrany České republiky č. 222/1999 Sb., vyhláška Ministerstva vnitra o požární prevenci č. 246/2001 Sb., vyhláška Ministerstva vnitra k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva č. 380/2002 Sb., a ďalšie [9].*

Základným nástrojom prípravy a riadenia evakuácie je evakuačný plán, ktorý je na úrovni kraja súčasťou havarijného plánu kraja. Výnimku tvoria evakuačné plány v okolí jadrových zariadení alebo pracovísk spadajúcich do IV. kategórie, ako súčasť havarijného plánu stanoveného *Státním úřadem pro jadernou bezpečnost* [19].

Jedným z hlavných cieľov evakuácie je zabezpečenie presunu veľkej skupiny obyvateľstva efektívnym spôsobom.

- **Poriadkové zabezpečenie** – Jedná sa o zaistenie verejného poriadku a bezpečnosti počas celého procesu evakuácie predovšetkým štátnou políciou a mestskou políciou, v prípade postihnutia veľkej oblasti hrozbou je možné využiť vojsko.
- **Dopravné zabezpečenie** – Zaistenie hromadnej prepravy a dostatočných zásob pohonných hmôt.
- **Zdravotnícke zabezpečenie** – Poskytovanie predlekárskej zdravotnej pomoci, prevozu do lekárskeho zariadenia a zabezpečenie hygienických a epidemiologických opatrení.
- **Zabezpečenie ubytovania, zásobovania a distribúcie zásob** – Zahrňuje zabezpečenie evakuovaných systémom núdzového prežitia, a to zásobou pitnej vody, núdzového ubytovania a stravovania i núdzovými prídelmi predmetov nevyhnutých k prežitiu.
- **Mediálne zabezpečenie** – Obsahuje zabezpečenie varovania obyvateľstva, vydávanie návodov pre správanie obyvateľstva a predanie potrebných tiesňových informácií [19].

Riadenie evakuácie zaisťuje príslušná stála pracovná skupina krízového štábu, ktorá nemá právnym predpisom stanovenú organizačnú štruktúru. Zloženie krízového štábu pre riešenie krízových situácií na úrovni kraja alebo obce s rozšírenou pôsobnosťou je obsiahnuté v základnej časti krízového plánu [19].

Na základe faktorov mimoriadnych udalostí rozlišujeme možné typy evakuácií:

Podľa rozsahu opatrení:

Objektová evakuácia – jedná sa o evakuáciu obyvateľov jedného objektu alebo malého počtu bytových jednotiek, administratívnych alebo priemyselných objektov. Evakuáciu vyhlasuje iba poverený pracovník, odpovedajúci za jej priebeh [19].

Plošná evakuácia – dochádza k presunu obyvateľov časti alebo celého územia. Obecnú evakuáciu vyhlasuje obec alebo zástupcovia štátnej správy. K typom plošnej evakuácie patrí podtyp všeobecnej evakuácie, kedy následkom pohromy alebo živelnej udalosti dochádza k evakuácii všetkých skupín osôb z postihnutého miesta.

Čiastočná evakuácia – je opakom k všeobecnej plošnej evakuácii, vzniknutej v dôsledku vojenského ohrozenia. Dochádza k evakuácii iba vybraných skupín osôb, a to :

- deti do 6 rokov s individuálnym doprovodom
- deti od 6 do 15 rokov so spoločným sprievodom
- pacienti na zdravotných lôžkach
- osoby staré a osoby telesne postihnuté [19]

Podľa dĺžky trvania evakuácie:

Krátkodobá evakuácia – typ ohrozenia mimoriadnou udalosťou nevyžaduje dlhodobé opustenie domova, nie je pripravované náhradné ubytovanie. Sú realizované v obmedzenej miere opatrenia zabezpečujúce základné životné potreby, ako voda, lieky a deky [19].

Dlhodobá evakuácia – vzniknutá mimoriadna situácia vyžaduje pobyt mimo domov presahujúci dobu 24 hodín. Pre osoby, bez možnosti náhradného ubytovania z vlastných zdrojov je zriadené núdzové ubytovanie a súčasne sú aplikované núdzové opatrenia v podobe núdzového zásobovania potravinami, pitnou vodou, energiou a organizáciou humanitárnej pomoci [19].

Podľa spôsobu realizácie:

Riadená evakuácia – za správny priebeh je zodpovedný poverený vedúci pracovník. Pri evakuácií je nutné vypnúť elektrické spotrebiče s výnimkou hlavného ističu, uzatvoriť uzávery vody a plynu. Potrebné je vyplnenie formulárov evakuovaných osôb, postarať sa o zvieratá a presvedčenia sa o informovanosti blízkych a susedov [19].

Samovoľná evakuácia – nedochádza k priamemu riadeniu, odpovedané osoby sa snažia o usmernenie obyvateľstva, jednajúceho na základe vlastného uváženia [19].

2.5.3 Ukrytie obyvateľstva

Podkapitola obsahuje základné delenie jednotlivých spôsobov ukrytia, ich základnú charakteristiku a vlastnosti, ktoré daný typ ukrytia musí spĺňať, aby bola zabezpečená dostatočná ochrana obyvateľstva v prípade využitia daného úkrytu.

Ukrytie obyvateľstva improvizovaným spôsobom

Pri vzniku hrozby a následnému vývoju mimoriadnej situácie je kľúčovým procesom zabezpečujúcim ochranu obyvateľstva pred účinkami nebezpečných látok alebo radiácie samotné ukrytie obyvateľstva. Všeobecne odporúčané je využívanie prirodzených ochranných vlastností stavieb s využitím úprav, zamedzujúcich preniknutie kontaminantov [19].

K ukrytiu obyvateľstva improvizovaným spôsobom dochádza pri mimoriadnych udalostiach spojených s únikom nebezpečných látok, kedy sa jedná o krátkodobé ukrytie, realizované v mieste vzniknutého úniku za využitia ochranných vlastností stavieb v kombinácii s improvizovanými ochrannými prostriedkami dýchacích ciest. Dôvodom k improvizovanému dlhodobému úkrytu je vyhlásenie stavu ohrozenia štátu alebo vojnového stavu, k ochrane pred účinkami zbraní hromadného ničenia [19].

Za improvizovaným úkryt je považovaný vopred optimálne zvolený priestor vo vhodných častiach bytu, obytného domu, prevádzkových a výrobných objektov, ktorý bude na základe vzniknutej potreby upravovaný k zvýšeniu ochrany osôb pred účinkami mimoriadnych udalostí, najmä udalosti vojenského charakteru. Za účinky sú považované svetelné a tepelné žiarenie, prenikavá radiácia a kontaminácia rádioaktívnym prachom. K stanoveniu úrovne radiácie pôsobiacej na osoby v úkryte sa používa výpočet súčiniteľu ochrany stavby, vyjadrujúci súhrnnú hodnotu všetkých činiteľov ovplyvňujúcich ochranné vlastnosti stavby [19].

Medzi zásady výberu vhodného priestoru patrí stavebná povaha objektu, kedy je improvizovaný úkryt zapustený alebo čiastočne zapustený, obvodové steny majú hrúbku minimálne 45 cm v prípade suterénu, ak sa jedná o valenú klenbu je potrebná hrúbka zdiva aspoň 90 cm a hrúbka klenby je 15 cm. Vchodové dvere sa musia otvárať smerom von z úkrytu, dobehová vzdialenosť je najviac 800 metrov a takýto úkryt je vzdialený minimálne 50 metrov od prevádzok a skladov s nebezpečím výbuchu a požiaru. Pre každú ukryvanú osobu je potrebných aspoň 3–5 m² podlahovej plochy v priestore bez vetracieho zariadenia a 1–3 m² podlahovej plochy v priestore s nútením vetraním [19].

K zvyšovaniu ochranných vlastností improvizovaného úkrytu dochádza k z odolňovaniu miesta úkrytu nepriedušné uzatvorenie okenných a dverných otvorov, zosilnenie vchodových dverí doskami a vzperami a podoprenie rovných stropných konštrukcií trámami [19].

Krátkodobé improvizované ukrytie

Po zaznení varovného signálu všeobecnej výstrahy by malo bezodkladne dôjsť k vyhľadaniu najbližšieho vhodného improvizovaného úkrytu. Za dostupné využiteľné úkryty je možné považovať najbližšie stavby a prevádzkové priestory, kedy ohrozené osoby z hľadiska vlastnej ochrany využívajú opäť prirodzené ochranné vlastnosti týchto budov. Optimálne sú predovšetkým vyššie poschodia budov v záveternej časti, pokiaľ sa jedná o nebezpečnú látku s vysokou šíriteľnosťou vo vzduchu [19].

Stále úkryty CO

Technická norma ČSN 73 9010 definuje pojem stavba civilnej ochrany ako špeciálnu, dvojúčelovú stavbu určenú pre potreby civilnej ochrany. Za takéto stavby sú považované kryty civilnej ochrany (CO), chránené pracoviská a stavby pre dekontamináciu. Norma upravuje návrhovú časť a výstavbu stavieb civilnej ochrany, kedy stanovuje technické a technologické parametre [19].

Stálym úkrytom CO je trvalý ochranný priestor v podzemnej časti stavieb alebo sa jedná o stavbu samostatne stojacu a slúžiacu k ukrytiu obyvateľstva. Stále úkryty je možné deliť do dvoch kategórií, a to na stály tlakovo odolný úkryt CO, slúžiaci k ochrane proti účinkom zbraní hromadného ničenia a ich tlakovému účinku, proti účinkom svetelného a tepelného žiarenia, prenikavej radiácií, kontaminácií rádioaktívnym prachom. Kryty v tejto kategórii boli navrhované v troch triedach odolnosti, v závislosti na veľkosti pretlaku v čele tlakovej vlny, ktorá je pre najodolnejšiu 3. triedu odolnosti stanovená na hodnotu 200 kPa. Rovnako je možné zahrnúť do tejto kategórie malokapacitný úkryt CO, normou definovaný ako každý stály tlakovo odolný kryt s kapacitou do 150 miest, u ktorého je splnená detailná špecifikácia požiadaviek pre prívod vonkajšieho vzduchu a rozloženie týchto nasávacích miest [19].

Druhú kategóriu tvoria stále tlakovo neodolné kryty, a spadajú sem stále úkryty nespĺňajúce podmienku tlakovej odolnosti. Stálymi tlakovo neodolnými úkrytmi sú stále protiradiačné úkryty s tlakovou odolnosťou nad 30 kPa a stále protiradiačné úkryty zosilnené, kde je minimálna hodnota tlakovej odolnosti 50 kPa. Protiradiačné úkryty boli na území ČR budované od roku 1979, s minimálnou kapacitou aspoň 50 osôb. Jednalo sa o stavby úplne zapustené, čiastočne zapustené alebo prízemné [19].

Pri ochrane proti účinkom mimoriadnej udalosti je možné využiť ako stále tlakové úkryty ochranné systémy podzemných dopravných stavieb, ako stavby metra, mestské podzemné rýchlodráhy a podzemné časti električkových tratí, ktoré sú v návrhu uvažované ako dvojúčelové stavby [19].

Zákon o integrovanom záchrannom systéme ukladá povinnosť právnickým, podnikajúcim fyzickým a fyzickým osobám pokiaľ sú vlastníkami stavby civilnej ochrany dbať a udržiavať tieto stavby, tak aby nedošlo ku zmene v charaktere vo vzťahu k jej účelu. Príloha A *Kontroly a údržba prováděné ve stálých úkrytech civilní ochrany* technickej normy ČSN 73 9050 vymedzuje činnosti, vykonávané raz týždenne, raz mesačne a následne v intervaloch 3 mesiacov, pol roka, každý jeden rok a každé dva roky. Medzi hlavné kontrolné oblasti patrí stav stavebnej konštrukcie, ventilačných zariadení, elektrického zdrojového sústroja, pričom každá oblasť obsahuje detailný popis prvkov, podliehajúcich kontrole. Kontrolovaná je plynotesnosť stavby, tlaková plynotesnosť a plynotesnosť dverí, poklopov a uzáverov. Výsledky kontroly alebo revízie sú zdokumentované v protokole. Cieľom pravidelnej údržby stálych úkrytov CO je snaha o elimináciu závad a poškodení vzniknutých časovým opotrebovaním. Jedná sa vo svojej podstate o údržbu stavebných konštrukcií, tlakovo plynotesných a plynotesných dverí, poklopov a uzáverov, technických zariadení a vetranie priestorov úkrytu. Revízie technických zariadení sa vždy riadia

zodpovedajúcou vyhláškou alebo technickou normou, podľa revízovaného zariadenia. Potrebnú dokumentáciu stálych úkrytov CO a jej ďalšie náležitosti upravuje technická norma ČSN 73 9050 [19] [22] [23].

2.5.4 Núdzové prežitie

S cieľom minimalizovať negatívne dopady mimoriadnej udalosti vecne príslušné orgány, zainteresované subjekty a občania vykonávajú súbor činností a opatrení, pozostávajúcich najmä z núdzového ubytovania, núdzového zásobovania základnými potravinami a pitnou vodou. Spomínané činnosti ďalej tvoria núdzové dodávky energií, núdzové základné služby obyvateľstva a organizovania humanitárnej pomoci. Nelegislatívny dokument *Pokyn generálneho riaditeľa HZS ČR č.10 ze dne 11.2.2010* a metodické listy *Bojového rádu JPO č. 8/Ob - Ubytování evakuovaných osob, Nouzové ubytování*, upravujú popri právnych predpisoch a poskytujú detailné inštrukcie k problematike núdzového prežitia [24] [25].

Popri čiastočnom využívaní humanitárnej pomoci je k núdzovému zásobovaniu potravinami využívaná v prípade mimoriadnej udalosti funkčná časť distribučnej siete. Možné je využívanie zmluvne dohodnutých subjektov. Zoznam stálych stravovacích zariadení, mobilných stravovacích zariadení a hromadných výdajní stravy obsahuje plán núdzového prežitia obyvateľstva, ako súčasťou havarijného plánu kraja. Prílohy dokumentu *Pokyn generálneho riaditeľa HZS ČR č.10/2010* obsahujú návrh stravnej dávky a doporučenú skladbu jedálnečky, s určitým obmedzením vzhľadom ku vzniknutej mimoriadnej udalosti [24] [26].

K zníženiu a usmerneniu spotreby nedostatkových potravín pre vyhlásenie krízového stavu v systéme núdzového hospodárstva je využívaný *zákon č. 241 ze dne 29. června 2000 o hospodárskych opatreniach pro krizové stavy a o změně některých souvisejících zákonů*, umožňujúci zavedenie regulačných opatrení. V nadväznosti na možnosť výdaja, prípravy a úpravy stavu sa k núdzovému ubytovaniu uprednostňujú zariadenia s týmto vybavením v majetku obce, mesta alebo kraja. Zariadenie musí mať dostatočnú kapacitu sociálnych zariadení a lôžok. Zoznam vhodných objektov k núdzovému ubytovaniu je súčasťou plánu núdzového prežitia obyvateľstva [26].

Núdzové zásobovanie pitnou vodou organizuje a koordinuje hejtman alebo HZS kraja pri riadení zásahu IZS zložkami. Systém núdzového zásobovania pitnou je tvorený vecnými, materiálnymi, technickými a personálnymi prostriedkami vlastníkov a prevádzkovateľov vodovodov, a súhrn organizačných opatrení pre koordináciu činností v prípade vzniku mimoriadnej udalosti a krízového stavu. Používaný pojem núdzové zásobovanie pitnou vodou

označuje zabezpečenie pitnej vody pre obyvateľstvo v potrebnom množstve pre jeho prežitie v potrebnom čase, pokiaľ nedôjde k obnoveniu bežného zásobovania pitnou vodou [27].

Základ zriadenia služby pre núdzové zásobovanie pitnou vodou upravuje *Metodický pokyn* z roku 2011. Odporučená dávka pitnej vody je v dokumente stanovená na 5 litrov na osobu denne po dobu prvých dvoch dní a pre tretí a ďalšie dni je odporúčané množstvo pitnej vody zvýšené na hodnotu 10–15 litrov na osobu denne. Zároveň existuje možnosť, že v podmienkach núdzového zásobovania budú stanovené iné požiadavky na kvalitu pitnej vody. K zásobovaniu je možné využívať nenarušené vodovodné systémy, nenarušené studne a dodávky balenej pitnej vody. K preprave sú používané cisterny a zároveň je možné využiť k úprave vody mobilné úpravne vody a iné technologické zariadenia slúžiace k dosiahnutiu požadovanej kvality vody.

Prostriedky pre rozvoz pitnej vody pozostávajú zo 4 základných typov cisterien:

- Pevná cisternová automobilová nástavba o objeme 4–8 tis. litrov vody.
- Kontajnerová cisternová automobilová nástavba o objeme 2,5–4 tis. litrov vody.
- Kontajnerová cisternová nástavba pozostávajúca z troch nádrží, každá o objeme 0,8–1,5 tis. litrov vody.
- Príves pre rozvoz a distribúciu pitnej vody o objeme 2,5–4,5 tis. litrov vody.

Problematika núdzového zásobovania vodou je zákonite riešená v pláne núdzového prežitia obyvateľstva, v krízovom pláne obce s rozšírenou pôsobnosťou je zásobovanie pitnou vodou riešené v rozpracovanom typovom pláne pre krízové situácie typu narušenia dodávok pitnej vody veľkého rozsahu [19].

2.5.5 Dekontaminácia

Rozlišujeme tri základe spôsoby dekontaminácie. Pri použití suchého spôsobu dochádza k ometaniu a otieraniu zamorených objektov, vyklepávaniu textilných materiálov, odsávaniu, odstráneniu povrchovej vrstvy alebo k izolácií zamoreného povrchu prekrytím nezamoreným materiálom. Polosuchý spôsob využíva suchú penu. Tretím, a zároveň najpoužívanejším spôsobom dekontaminácie je mokrý spôsob, kedy dochádza k zmývaniu rádioaktívnych látok vodou, organickými rozpúšťadlami alebo umývaním a praním vo vodných roztok mydla. Najdôležitejším a najuniverzálnejším dekontaminačným činidlom je voda [9].

2.5.6 Humanitárna pomoc

Humanitárna pomoc je súhrn opatrení v oblasti materiálnej, duchovnej, zdravotnej, sociálnej a právnej. Pomoc poskytujú jednotlivci, skupiny, spolky, štátnej aj neštátne organizácie

v prospech obyvateľstva postihnutého následkom mimoriadnej udalosti alebo krízovej situácie, s cieľom zlepšenia životných podmienok obyvateľstva. Humanitárna pomoc je najčastejšie poskytovaná vo forme finančných príspevkov, materiálu, ale aj vo forme psychosociálnej pomoci [9].

Materiálna základňa humanitárnej pomoci je zariadenie vytvárané v súlade s koncepciou ochrany obyvateľstva za účelom zabezpečenia základných životných potrieb ako ubytovanie, stravovanie, ošatenie, osobná hygiena postihnutých osôb zasiahnutých vzniknutou mimoriadnou udalosťou. K výberu priestoru pre vybudovanie tejto základne je možné použiť niektorý z vopred vytipovaných priestorov, uvedených v pláne núdzového prežitia [9].

2.6 MATEMATICKÉ PROGRAMOVANIE

Predložená kapitola sústreďuje pozornosť na problematiku matematického programovania s ohľadom na historický kontext a súčasný stav, kde budú získané poznatky pomocou popísaného softwaru využité v praktickej časti práce. Pre obecné zápisy úloh bola zvolená minimalizácia účelovej funkcie.

Metódy matematického programovania patria medzi matematické metodiky, ktoré sú schopné riešiť problémy operačného výskumu. Operačný výskum, do ktorého sa matematické programovanie radí, je vedecká disciplína venujúca sa analýze operácií spojených s riadením, navrhovaním a fungovaním zložitých spoločensko-ekonomicko-technických systémov, s existenciou vzájomných väzieb [28].

Tvorba matematického modelu zahŕňa je prevedenie vecného problému do matematickej formulácie, pričom v tomto procese dochádza k identifikovaniu nezávislých a závislých premenných modelu a popisu ich vzájomného vzťahu. Závislé premenné v modeli závisia na iných vstupujúcich premenných modelu, zatiaľ čo, nezávislé premenné na ostatných premenných modelu nezávisia. Nezávislé premenné je možné deliť na dva základné typy, a to, nezávislé premenné riaditeľné, a teda ovplyvniteľné riešiteľom. Druhú skupinu nezávislých premenných tvoria premenné, ktorých hodnotu riešiteľ modelu nedokáže ovplyvniť, a nazývajú sa ako neriaditeľné (napr. môžu byť náhodné). Primárnym cieľom zjednodušenia modelu je zobrazenie reálneho systému a správne vystihnútie vlastností modelu, ku ktorému dochádza zavedením vhodných predpokladov. Po zostavení modelu a overení jeho logickej a vecnej správnosti, je možné definovať daný matematický problém a pristúpiť k voľbe metódy k získaniu riešenia [28].

Obecný model úlohy matematického programovania je možné zapísať ako:

$$\begin{aligned}z_{min} &= f(\mathbf{x}) \\g_i(\mathbf{x}) &\leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\h_j(\mathbf{x}) &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, l, \\ \mathbf{x} &\in X \subset \mathbb{R}^n,\end{aligned}\tag{1.1}$$

Funkcia f je účelová funkcia, na základe ktorej posudzujeme úroveň jednotlivých riešení získaných pre daný problém. Obmedzujúce podmienky sú vyjadrené ako funkcie $g_i (i = 1, 2, \dots, m)$ a $h_j (j = 1, 2, \dots, l)$ [29].

Cieľom optimalizácie je nájsť vektoru x , pričom $x = (x_1, \dots, x_n)$, tak, aby účelová funkcia f nadobudla minimálnu hodnotu z množiny $X \subset \mathbb{R}^n$. Množinu prípustných riešení je možné definovať ako [30]:

$$C = \{x \in X \mid g_i(x) \leq 0; h_j(x) = 0; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, l\} \tag{1.2}$$

Úloha nemá riešenie ak je množina prípustných riešení prázdna $C = \emptyset$. $C \neq \emptyset$, je možné nájsť optimálne riešenie ako:

$$\mathbf{x}^* \in \operatorname{argmin}_x \{f(\mathbf{x}) \mid \mathbf{x} \in C\}, \tag{1.3}$$

Kde argmin je množinou všetkých optimálnych riešení, v ktorých účelová funkcia dosahuje minima [31].

2.6.1 Lineárna optimalizácia

Lineárna optimalizácia označovaná ako aj lineárne programovanie je najčastejšie v praxi využívaná súčasť operačného výskumu, s aplikáciou najmä v ekonomickej oblasti s presahom do technických aplikácií. Hlavným cieľom lineárneho programovania je hľadanie viazaných extrémov lineárnych funkcií viacerých premenných, kedy obmedzujúce podmienky majú tvar lineárnych rovníc a nerovníc [28] [32].

Obecný tvar lineárneho matematického modelu je možné definovať ako:

$$\begin{aligned}z_{min} &= c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\dots\end{aligned}$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (1.4)$$

Kde vzťah (1.4) pozostáva z lineárneho mnohočlenu označovaného ako účelová funkcia, kedy je jej hodnota označená ako z . Vzťahy sú tvorené sústavou lineárnych rovníc a nerovníc, a teda sa jedná o vlastné obmedzujúce podmienky a podmienky nezápornosti. V modeli sa vyskytuje počet definovaných premenných n a počet obmedzení m , pričom $c_j (j = 1, 2, \dots, n)$ sú koeficienty účelovej funkcie $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ sú koeficienty štruktúrnych premenných a $b_i (i = 1, 2, \dots, m)$ sú kapacitné obmedzenia úlohy pre $x_j (j = 1, 2, \dots, n)$ [32].

2.6.2 Nelineárna optimalizácia

V prípade ak účelová funkcia alebo obmedzenia obsahujú nelineárne výrazy hovoríme o úlohách nelineárneho programovania. Obecnú úlohu nelineárneho programovania je možné definovať ako:

$$z_{min} = f(\mathbf{x})$$

$$g_i(\mathbf{x}) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\mathbf{x} \in X \subset \mathbb{R}^n, \quad (1.5)$$

Premenné $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ nadobúdajú hodnoty zo základnej množiny $X \subset \mathbb{R}^n$. Je hľadané prípustné riešenie x_{min} , ktoré minimalizuje účelovú funkciu $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$. Body $\mathbf{x} \in X$, sú považované za prípustné, pokiaľ spĺňajú obmedzenia v tvare nerovníc, určené vektorovou funkciou $g : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ [28].

2.6.3 Stochastická optimalizácia

Stochastická optimalizácia pozostáva zo súboru metód, s cieľom minimalizácie alebo maximalizácie účelovej funkcie za prítomnosti náhodnosti.

V stochastických matematických modeloch sa vyskytuje aspoň jedna veličina, ktorá je náhodnou premennou a zároveň je rozdelenie pravdepodobnosti tejto náhodnej premennej známe. Cieľom stochastického programovania je stanoviť najlepšiu hodnotu neznámych premenných \mathbf{x} . Náhodnosť vstupuje do matematického problému zvyčajne dvoma možnými spôsobmi, a to prostredníctvom nákladovej funkcie alebo množiny obmedzení [28] [33].

Obecný zápis stochastickej optimalizácie je možné zapísať ako:

$$\begin{aligned} f(x, \xi) \\ g_i(x, \xi) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ x \in X \subset \mathbb{R}^n, \end{aligned} \tag{1.6}$$

kde ξ je označenie náhodného parametru a $f(x, \xi)$ je účelová funkcia.

Vektor $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_k)^T$ určuje náhodnosť premenných, pričom rozdelenie vektoru ξ je nezávislé na rozhodovacej vektorovej premennej x . Funkcie rozhodovacieho vektoru x musia splniť podmienku $g_i(x, \xi) \leq 0$ a X je množina prípustných riešení.

Wait-and-see prístup

Pri danom prístupe dochádza k rozhodovaniu až po realizácii náhodného parametru ξ , rozhodnutie x reaguje na výslednú realizáciu náhodného parametru ξ a stáva sa funkciou náhodného vektoru $x(\xi)$. Jedná sa o deterministický model, keďže rozhodnutie prebieha na základe známeho výsledku realizácie pôvodne náhodného parametru [29] [33] [34].

Here-and-now prístup

Prístup kedy dochádza k rozhodnutiu $x \in \mathbb{R}^n$, pred realizáciou náhodného parametru ξ označuje pomenovanie here-and-now prístup.

Náhodný parameter ξ je v účelovej funkcií a obmedzujúcich podmienkach možné vyjadriť pomocou pravdepodobnostného rozdelenia, a vektor rozhodnutia x je rovnaký pre všetky budúce realizácie náhodného parametru ξ [35].

2.6.4 Dopravný problém

Uvažuje zásoby niekoľkých závodov a požiadavky na jednotlivých trhoch pre jednu komoditu, so známymi jednotkovými nákladmi na prepravu komodity zo závodov na trhy. Otázka znie, koľko zásielok bude prepravených z každého závodu na každý trh tak, aby boli dodržané kapacitné podmienky závodov, bol uspokojený dopyt trhov a aby boli minimalizované celkové náklady na dopravu.

Algebrický zápis úlohy:

Indexy

- i = závody
- j = trhy

Známe údaje

- a_i = kapacity závodov i (v kusoch)
- b_j = dopyt po komodite na trhu j
- c_{ij} = náklady na jednotku prepravovaných komodít medzi závodom i a trhom j (\$/kus).

Rozhodovacie premenné

- x_{ij} = množstvo komodity, ktoré je nutné prepraviť zo závodu i na trh j (v kusoch), kde $x_{ij} \geq 0$ pre všetky i, j .

Podmienky

- Dodržanie limitu dodávky pre závod i : $\sum_j x_{ij} \leq a_i$, pre všetky i (v kusoch)
- Uspokojenie dopytu na trhu j : $\sum_i x_{ij} \geq b_j$, pre všetky j (v kusoch)
- Účelová funkcia: Minimalizácia $\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$ (tis.\$)

2.6.5 GAMS software

GAMS (the General Algebraic Modeling System) je modelovací systém určené pre problémy matematického programovania [36].

Software vyvinutý spoločnosťou GAMS Development Corporation, prvýkrát vydaný v roku 1985 umožňuje užívateľovi vyjadrovať a formulovať matematické optimalizačné problémy pomerne jednoduchým a intuitívnym spôsob, keďže syntax je voľnejšia a daný matematický zápis je možné formulovať viacerými spôsobmi. Rovnako, je možné jednotlivé príkazy usporiadať spôsobom, ktorý užívateľovi vyhovuje, pričom jediné pravidlo upravujúce poradie príkazov, je fakt, že nie je možné odkázať na entitu modelu skôr, než bude deklarovaná. Vytvorené modely je možné upravovať, a prispôbovať novým situáciám a zmenám, ktorým model podlieha. GAMS umožňuje riešiť úlohy lineárneho, nelineárneho, ako aj celočíselného programovania [36] [37].

Hlavnou výhodou použitia GAMS softwaru v praxi je jeho schopnosť pracovať s modelmi obsahujúcimi veľký počet rozhodovacích premenných a obmedzení. Užívateľ môže tiež využiť možnosť importu údajov z externých zdrojov ako tabuľky, databázy alebo vlastné knižnice existujúcich GAMS modelov.

Pre ilustráciu možného riešenia je zvolený základný optimalizačný dopravný problém, zobrazený na Obr. 6.

```

Set
  i 'canning plants' / seattle, san-diego /
  j 'markets' / new-york, chicago, topeka /;

Parameter
  a(i) 'capacity of plant i in cases'
      / seattle 350
      san-diego 600 /

  b(j) 'demand at market j in cases'
      / new-york 325
      chicago 300
      topeka 275 /;

Table d(i,j) 'distance in thousands of miles'
      new-york  chicago  topeka
seattle 2.5      1.7      1.8
san-diego 2.5    1.8      1.4;

Scalar f 'freight in dollars per case per thousand miles' / 90 /;

Parameter c(i,j) 'transport cost in thousands of dollars per case';
c(i,j) = f*d(i,j)/1000;

Variable
  x(i,j) 'shipment quantities in cases'
  z      'total transportation costs in thousands of dollars';

Positive Variable x;

Equation
  cost      'define objective function'
  supply(i) 'observe supply limit at plant i'
  demand(j) 'satisfy demand at market j';

cost..      z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));

supply(i).. sum(j, x(i,j)) =l= a(i);

demand(j).. sum(i, x(i,j)) =g= b(j);

Model transport / all /;

solve transport using lp minimizing z;

display x.l, x.m;

```

Obr. 6 - Základný model dopravného problému [36] [37]

Pomocou príkazu `set` sú identifikované vstupujúce entity do optimalizačného modelu, kedy `i` sú podniky dodávajúce zboží a `j` sú dopyty jednotlivých trhov, ktoré toto zboží chcú nakúpiť. Pomocou parametru `a(i)` sú stanovené množstvá zboží, ktoré sú dodávatelia schopný dodať a parameter `b(j)` vyjadruje požadované množstvo zboží pre dané trhy. Tabuľka `table d(i,j)`

obsahuje zápis vzdialeností medzi dodávateľmi a trhmi v tisícoch míľ. **Scalar** f udáva cenu prepravy za jeden kus zbožia prepravenú na vzdialenosť tisíc míľ. **Parameter** $c(i, j)$ je súčin ceny prepravy a vzdialenosti v tabuľke v podieli k 1 000 míľ. Premenná $x(i, j)$ vyjadruje množstvo prepravovaných bedien v kusoch. Premenná z je hodnota účelovej funkcie, v tomto prípade výpočtom stanovený celkový transportný náklad v tisícoch dolárov. Sú nadefinované rovnice účelovej funkcie **cost** a obmedzení v podobe ponuky **supply**(i) a dopytu **demand**(j). Príkazom **solve** je určený typ optimalizačnej úlohy. V tomto prípade sa jedná o minimalizačnú úlohu za využitia lineárneho programovania. Príkaz **display** vypíše výstupný súbor s informáciou o prepravovaných počtoch zbožia a zároveň bude vypísaná tabuľka s cenou prepravy jedného kusu zbožia medzi dodávateľom a trhom v tisícoch dolárov [36] [37].

2.6.6 Kontext použitia optimalizácie v núdzovom riadení

Rozhodnutia vedúce k podpore pripravenosti a schopnosti rýchlej reakcie na krízovú situáciu sú náročným problémom, najmä z dôvodu neistoty výskytu a dopadu udalostí a neúplnosti informácií o povahe, zdroji rizika, kedy pracujeme len s čiastočnými informáciami a údajmi [38].

Stochastická optimalizácia za posledných niekoľko rokov nachádza svoje čoraz častejšie uplatnenie v núdzovom riadení v zmierňovaní dramatických dopadov katastrof [39].

Vo všeobecnosti je možné katastrofu a jej priebeh rozdeliť na fázu pred katastrofou a fázu po priebehu udalosti. Aktivity patriace do fázy pred udalosťou pozostávajú posilňovaním zraniteľných miest systému, umiestňovaním pomocných predmetov a služieb. Vo fáze po katastrofe je prvoradá distribúcia prvej pomoci a transport zranených osôb. Núdzové riadenie je teda jasnou súčasťou krízového riadenia. Modely stochastickej optimalizácie sú prevažne využívané k zmierňovaniu dopadov krízových situácií prírodného charakteru ako zemetrasenia, povodne a hurikány. Využívané sú základné komerčne rozšírené modely. Hlavný rozdiel je v naliehavosti uspokojovania dopytu práve pre humanitárne uplatňované modely. Zároveň, jedným z najzávažnejších problémov s ktorými sa modely pri použití v krízovom a núdzovom riadení v porovnaní s komerčným využitím v logistike stretávajú, je vysoká miera neistoty a takmer nemožnosť predpovedania výsledkov krízovej situácie. Čas a rozsah toho istého typu krízovej situácie je závislý na veľkom množstve premenných a výsledok rovnakého typu udalosti, je rôzny [38] [39].

Z dôvodu prijímania rozhodnutí za vysokej neistoty je najpoužívanejším prístupom modelovania na podporu rozhodovacieho procesu dvojstupňová stochastická optimalizácia.

Rozhodnutia v prvej fáze sú prijímané pred realizáciou nejistej udalosti s prihliadnutím k budúcim rozhodnutia v druhej fáze. Po odhalení neistých parametrov a pozorovaní realizácie náhodného parametru je možné rozhodnutia v druhej fáze spresniť a vykonať. Príkladom aplikácie tohto modelu v krízovom riadení je predbežné rozhodnutie o množstve a mieste umiestnenia predmetov určených k pomoci, ktoré sú pred krízovou udalosťou uskladnené. Tieto činnosti patria do prvej fázy, keďže rozhodnutia sú prijaté v čase, kedy nie sú známe relevantné údaje o stupni škôd a počte obetí. V druhej fáze dochádza k zvoleniu množstva takto vopred umiestnených predmetov, k ich preprave na iné určené miesta s cieľom uspokojiť celkový dopyt [38] [39].

Vedecký odborný článok *A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies* skúma deterministické a pravdepodobnostné modely umiestnenia zariadení pre modelovanie núdzových situácií menšieho rozsahu. Zavedené sú tri deterministické modely. Prvý model slúži k pokrytiu dopytových území s limitom maximálnej vzdialenosti. Druhý model minimalizuje celkovú vzdialenosť medzi požiadavkami zariadeniami a model optimalizujúci najhorší výkon systému minimalizovaním maximálnej vzdialenosti medzi akýmkoľvek dopytovým miestom a zariadením [40]. Okrem toho ďalšie publikácie tieto modely rozširujú o riešenie a zavádzanie možných neistôt v množstve dopytu, a tak vytvárajú multikriteriálne deterministické modely s ohľadom na náklady, čas a uspokojenie požiadaviek [40] [41].

3 FORMULÁCIA PROBLÉMU A STANOVENIE CIEĽOV ŘIEŠENIA

Diplomová práca sa venuje problematike témy ochrany obyvateľstva, ktorá je základnou zložkou každej spoločnosti. Riziká spojené s ochranou obyvateľstva sú však zložité a ich ošetrovanie vyžaduje sofistikované analytické nástroje.

Cieľom tejto diplomovej práce je identifikácia hlavných rizík spojených s ochranou obyvateľstva a vytvorenie modelov pomocou optimalizačného programu GAMS vedúcich k zmierňovaniu dopadov mimoriadnych udalostí a zvýšeniu pripravenosti bezpečnostných zložiek.

K dosiahnutiu cieľu sú formulovaná nasledujúce dielčie úlohy:

- Preštudovanie a prehľadné spracovanie poznatkov z oblasti krízového riadenia a ochrany obyvateľstva
- Analýza rizík vyplývajúca zo získaných teoretických poznatkov
- Využitie osvojených poznatkov z teórie pravdepodobnosti, matematickej štatistiky a optimálneho rozhodovania pri formulácii matematického modelu riešenia problému
- Zostavenie a popísanie vhodného matematického modelu s využitím poznatkov operačného výskumu
- Výber a implementácia vhodných postupov riešenia s využitím metód operačného výskumu
- Analýza získaných výsledkov, formulácia záverov a odporúčaní

4 POUŽITÉ METÓDY

Predložená časť práce využíva pre analýzu rizík radu základných metód, s cieľom identifikovania najdôležitejších častí a procesov v ochrane obyvateľstva. Použitá je dedukcia, a výsledky získané z blokového diagramu slúžia ako vstup pre použitý Ishikawov diagram a FMEA expertnú metódu.

Blokový diagram

Tento typ diagramu graficky znázorňuje vzťahy medzi jednotlivými krokmi celého procesu pomocou jednoduchých geometrických obrazcov. Spojenie jednotlivých prvkov funkčného diagramu a smer toku je určený šípkami a rozdielnymi typmi čiarovania. Správne spracovanie blokového diagramu slúži k lepšiemu zorientovaniu sa medzi jednotlivými prvkami a ich vzájomnými vzťahmi [42].

Cause and effect matrix

Matica príčin a následkov je nástroj vytvorený spoločnosťou *Six Sigma*. Účelom je zjednodušenie prioritizácie procesných krokov a vstupov projektu. Matica umožňuje prepojenie procesných krokov na procesné vstupy a vyjadrenie korelácie medzi procesnými vstupmi a výstupmi. Zároveň je ohodnotená dôležitosť stanovených požiadaviek zákazníka. Výsledkom sú stanovené kľúčové vstupy, ktorým by mala byť venovaná najväčšia pozornosť.

Pre účely práce bol základný princíp tabuľky príčin a následkov pozmenený tak, že je hodnotená väzba vplyvu a prepojenia strategického cieľa na prvok. Dôležitosť strategického cieľa je ohodnotená pomocou stupnice v Tabuľke 2. Stanovenie korelačného vzťahu je teda v opačnom smere, ako pri klasickej tabuľke príčin a následkov [43]. Väzby strategických cieľov na prvky sú ohodnotené stupnicou uvedenou v Tabuľke 3.

Tabuľka 2 - Hodnotiaca stupnica pre dôležitosť strategického cieľa (Vlastné spracovanie)

Dôležitosť	Klasifikácia	
Žiadna	1	Naplnenie strategického cieľa neovplyvňuje funkčnosť systému
Nízka	2	Naplnenie strategického cieľa má malý až zanedbateľný vplyv na funkčnosť systému
Stredná	3	Naplnenie strategického cieľa má vplyv na funkčnosť systému
Vysoká	4	Naplnenie strategického cieľa je pre funkčnosť systému dôležité
Závažná	5	Naplnenie strategického cieľa je pre systém kľúčové

Tabuľka 3 - Hodnotiaci stupnica korelácie strategických cieľov a zložiek systému (Vlastné spracovanie)

Korelácia	Klasifikácia	
Žiadna	0	Strategický cieľ nemá žiaden vplyv na danú zložku systému
Nízka	1	Strategický cieľ má malý až zanedbateľný vplyv na danú zložku systému
Stredná	3	Strategický cieľ má vplyv na danú zložku systému
Vysoká	9	Strategický cieľ má zásadný vplyv na danú zložku systému
Závažná	11	Strategický cieľ je kľúčový pre danú zložku systému

Pareto princíp

Pred viac ako sto rokmi taliansky ekonóm a sociológ Vilfredo Pareto formuloval pozorovanie, že 20 % populácie vlastní 80 % majetku v Taliansku. Neskôr vytvoril matematický vzorec na opis nerovnomerného rozdelenia bohatstva vo svojej krajine, dnes známy ako Pareto rozdelenie. Koncom štyridsiatych bolo toto pozorovanie zovšeobecnené do pravidla 80–20, označované ako Pareto princíp.

Pareto princíp hovorí, že pri mnohých javoch je 80 % výstupov alebo dôsledkov produkovaných 20 % vstupov alebo príčin. Často sa používa v manažmente, ekonomike a podnikaní pre zlepšenie produktivity, prijímanie lepších rozhodnutí a konkretizovanie oblasti projektu. Pomáha uvedomiť si, že väčšina výsledkov často pochádza z menšiny vstupov [44].

Ishikawov diagram

Ishikawov diagram, označovaný aj ako diagram rybej kosti alebo diagram príčin a následkov je analytický nástroj pre znázornenie súvislostí v komplexnom súhrne pre príčiny daného problému alebo udalosti. Vstupnými podkladmi tejto metódy sú znalosti tímu expertov v danej oblasti, správne formulovaná problémová situácia a schopnosť expertov rozlíšiť príčiny od následkov.

Metóda poskytuje systematický spôsob sledovania korelácie medzi hlavnou udalosťou zakreslenou v hlave diagramu a jej viacerými príčinami konkrétnej udalosti alebo javu. Jednotlivé príčiny sú zakreslené prostredníctvom skosených čiar opierajúcich sa o hlavnú horizontálnu os. Príčiny je možné detailnejšie charakterizovať pomocou podpríčin. Cieľom diagramu nie je nájsť opatrenia pre daný problém, ale prehľadne sústrediť všetky identifikované príčiny, čo umožňuje problém lepšie charakterizovať a riešiť problémovú situáciu [45]. Diagram príčin a následkov sa používa predovšetkým v raných fázach hodnotenia rizika, kedy tím expertov identifikuje komplexné riziko a formuluje daný problém [3] [6].

FMEA

Failure mode and effect analysis je najrozšírenejšou expertnou metódou určenou k analýze rizík. Skladá sa z verbálnej fázy, kedy dochádza k identifikácií možného vzniku, spôsobu a následku poruchy. Druhá numerická fáza pozostáva z trojparametrického odhadu pre identifikované vady, pričom je stanovená miera rizika za využitia hodnotiacich stupníc [6].

Tabuľka 4 obsahuje zostavenú hlavičku FMEA tabuľky, na základe požiadaviek ČSN EN IEC 60812. Pre účely diplomovej práce bola hlavička upravená tak, aby zároveň umožňovala zostrojenie scenáru pre identifikovanú vadu. Hodnotená bola pravdepodobnosť výskytu javu za využitia stupnice uvedenej v Tabuľke 5, hodnota významu vady stupnicou z Tabuľky 6 a pravdepodobnosť odhalenia stupnicou z Tabuľky 7. Výsledná miera rizika je stanovená pomocou stupnice uvedenej v Tabuľke 8.

Tabuľka 4 - Hlavička tabuľky FMEA metódy

zložky	prvky	ID scenáru	scenár vady	predpokladané príčiny vady	predpokladané dôsledky vady	SÚČASNÝ STAV					OPATRENIA	NOVÝ STAV			
						kontrolné opatrenia	pravdepodobnosť vzniku vady	význam vady	pravdepodobnosť včasného odhalenia vady	miera rizika	odporučené opatrenia	pravdepodobnosť vzniku vady	význam vady	pravdepodobnosť odhalenia vady	miera rizika

Tabuľka 5 - Hodnotiacia stupnica pre pravdepodobnosť vzniku vady (Vlastné spracovanie)

PRAVDEPODOBNOSŤ VZNIKU VADY		
Pravdepodobnosť	Klasifikácia	Početnosť
Veľmi málo pravdepodobná	1	1 z 100
Málo pravdepodobná	2	10 z 100
Pravdepodobná	3	20 z 100
Vysoko pravdepodobná	4	30 z 100
Extrémne pravdepodobná	5	50 z 100

Tabuľka 6 - Hodnotiacia stupnica pre hodnotu významu vady (Vlastné spracovanie)

VÝZNAM VADY		
Závažnosť	Klasifikácia	
Žiadna	1	Nemá vplyv výsledok mimoriadnej udalosti
Nízka	2	Má vplyv na mimoriadnu udalosť, ale nedochádza k sťaženiu priebehu MO
Stredná	3	Má vplyv na mimoriadnu udalosť, dochádza k sťaženiu priebehu MO
Vysoká	4	Má priami vplyv na mimoriadnu udalosť, dochádza k silnému ovplyvneniu priebehu MO
Závažná	5	Má priami vplyv na mimoriadnu udalosť, priebeh MO je závažne ovplyvnený

Tabuľka 7 - Hodnotiacia stupnica pre pravdepodobnosť odhalenia vady (Vlastné spracovanie)

PRAVDEPODOBNOSŤ ODHALENIA VADY		
Pravdepodobnosť	Klasifikácia	
Skoro istá	1	Je skoro istá pravdepodobnosť detekcie problému
Vysoká	2	Je vysoká pravdepodobnosť detekcie problému
Stredná	3	Je stredná pravdepodobnosť detekcie problému
Nízka	4	Je nízka pravdepodobnosť detekcie problému
Neistá	5	Je absolútne neistá pravdepodobnosť detekcie problému

Tabuľka 8 - Hodnotiacia stupnica pre mieru rizika (Vlastné spracovanie)

MIERA RIZIKA	
Riziko	Klasifikácia
veľmi nízke	0–25
nízke	26–50
stredné	51–75
vysoké	76–100
veľmi vysoké	101–125

5 VLASTNÉ RIEŠENIE/ DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

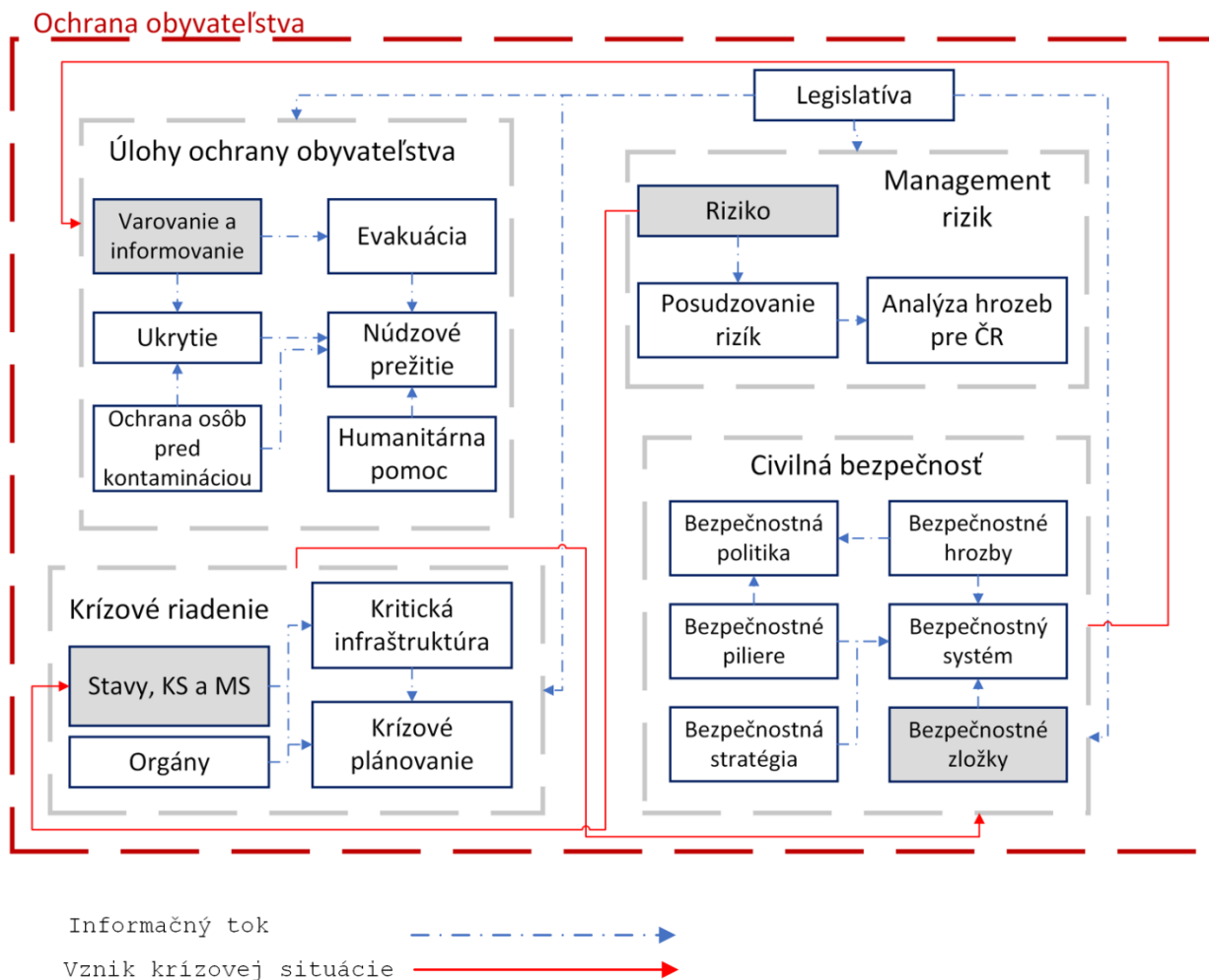
Kapitola pozostáva zo vstupnej analýzy rizík pre systém ochrany obyvateľstva a základných informácií spojených s ochranou obyvateľstva pre brnenskú mestskú časť Brno-Židenice. Na základe podkladov o rozmiestnení civilných krytov a výsledkov analýz sú zostrojené matematické modely v optimalizačnom programe GAMS.

5.1 ANALÝZA RIZÍK

Samotnej analýze rizík, pre ktorú bola zvolená metóda FMEA, predchádza znázornenie systému ochrany obyvateľstva blokovým diagramom. Jednotlivé zložky blokového diagramu sú ohodnotené v matici príčin a následkov a za využitia Paretovho princípu sú identifikované najdôležitejšie prvky systému. Tieto prvky sú ďalej spracované do diagramu príčin a následkov, ktorý je vstupom pre finálnu FMEA analýzu. Metóda FMEA slúži predovšetkým k určeniu miery rizika pre dané scenáre a výber najväznejších rizík ako podklad pre modelovanie v programe GAMS.

Blokový diagram

Pre počiatočnú orientáciu a znázornenie problematiky spojenej s ochranou obyvateľstva, sú informácie z kapitoly stavu súčasného poznania spracované do blokového diagramu uvedeného na Obr. 7, obsahujúceho všetky základné časti systému ochrany obyvateľstva, o ktorých bolo pojednané. V blokovom diagrame sú zakreslené väzby medzi jednotlivými prvkami pomocou odlišných typov čiar.



Obr. 7 - Blokový diagram (Vlastné spracovanie)

Blokový diagram ochrany obyvateľstva znázornený na Obr. 7 pozostáva celkovo zo štyroch samostatných podsystémov, a to z managementu rizík, civilnej bezpečnosti, krízového riadenia a úloh ochrany obyvateľstva. Tieto podsystémy sú otvorené a dochádza k výmene informácií v rámci každého podsystému, aj medzi systémami navzájom.

V blokovom diagrame bol identifikovaný priebeh situácie, kedy riziko vyvolá vznik krízového stavu, a tým dochádza k aktivácii bezpečnostných zložiek, ktoré sú súčasťou celku civilnej bezpečnosti. V priebehu krízovej situácie cez bezpečnostný systém dochádza k reakcii na daný stav prvkami úloh ochrany obyvateľstva, kde prvým krokom je varovanie a informovanie.

V ochrane obyvateľstva dochádza samozrejme k množstvu ďalších interakcií medzi identifikovanými zložkami systému, avšak pre účely predloženej práce obsiahnutie v blokovom diagrame nie je potrebné.

Tabuľka príčin a následkov

Prvky identifikované v zostrojenom blokovom diagrame boli očíslované a usporiadané do Tabuľky 9.

Tabuľka príčin a následkov obsahuje vo svojich stĺpcoch celkovo 12 čiastkových strategických cieľov prevzatých z kapitoly 2.5. Každý z uvedených cieľov bol ohodnotený z pohľadu dôležitosti pomocou stupnice v kapitole 4 Tabuľka 2.

Pre ďalšie hodnotenie bol základný princíp tabuľky príčin a následkov pozmenený tak, že je hodnotená väzba vplyvu a prepojenia strategického cieľa na prvok. Stanovenie korelačného vzťahu je v opačnom smere, ako pri klasickej tabuľke príčin a následkov. Väzby strategických cieľov na prvky sú ohodnotené stupnicou v Tabuľka 3, ktorá je súčasťou kapitoly 4.

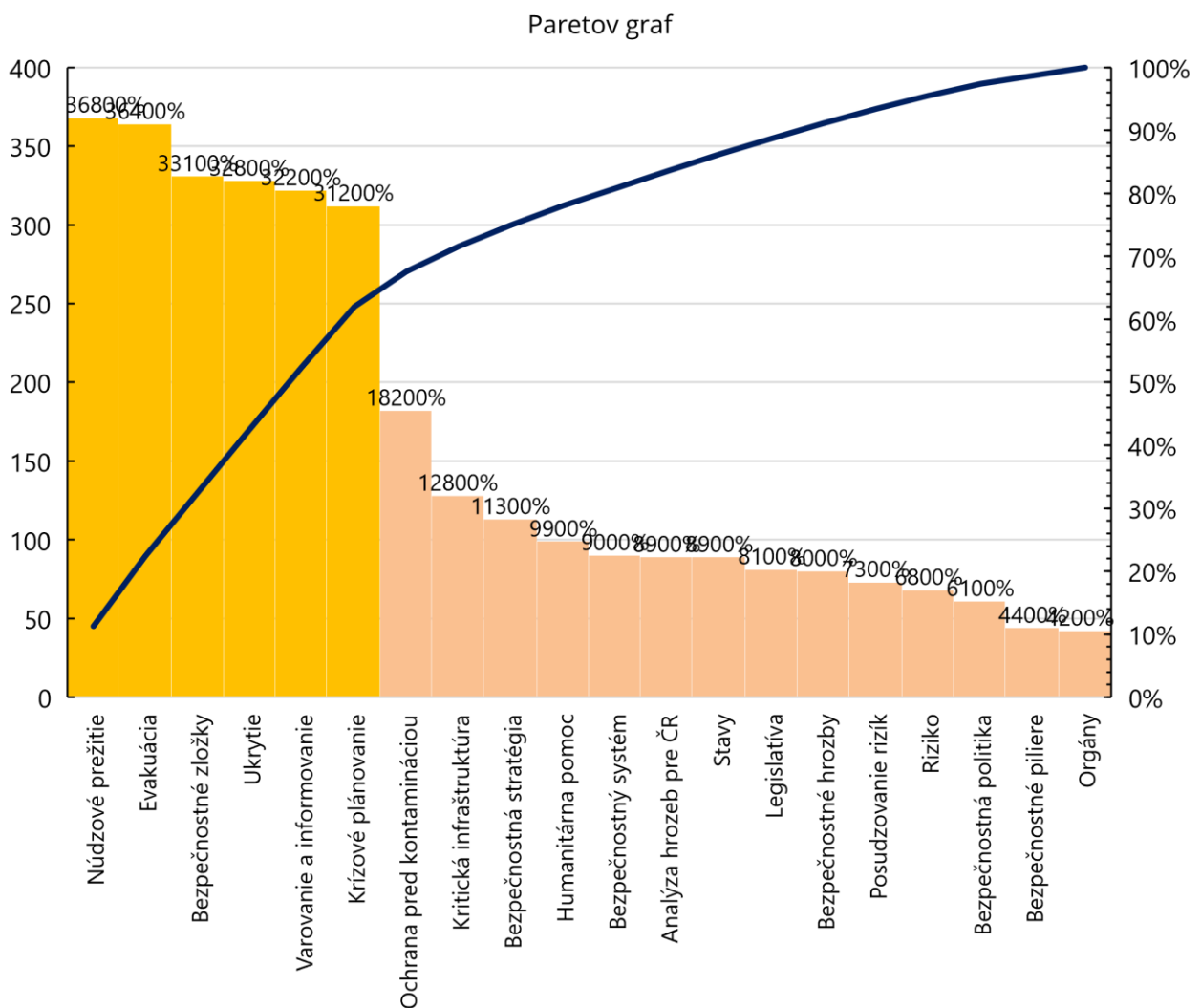
Tabuľka 9 - Matica príčin a následkov

Systém	Zložky systému	Prvok systému	Strategické ciele												Hodnota prvku systému				
			HODNOTENIE DÔLEŽITOSTI				Rozvoj podmienok				Podpora úloh a opatrení					Zvyšovanie účinnosti organizovania			
			3	2	5	5	1	4	3	2	4	5	2	4					
			Právne podmienky	Príprava volených zamestnancov	Personálne zabezpečenie	Materiálno-technické zabezpečenie	Vzdelávanie a príprava žiakov	Príprava obyvateľstva	Revízia opatrení	Koncepcný a technologický rozvoj	Cvičenia ochrany obyvateľstva	Plánovanie	Zapojenie nevládného sektoru	Analytické nástroje a informačné systémy					
OCHRANA OBYVATEĽSTVA	ÚLOHY OCHRANY OBYVATEĽSTVA	1.1 Legislatíva	11	0	0	0	0	0	1	9	1	1	3	3	81				
		2.1 Varovanie a informovanie	3	11	11	9	3	9	3	9	9	9	9	0	11	322			
		2.2 Evakuácia	3	9	11	11	3	11	3	11	11	11	11	3	11	364			
		2.3 Ukrytie	3	3	11	11	1	11	9	9	11	11	11	1	3	328			
		2.4 Núdzové prežitie	3	9	11	11	3	11	9	11	11	11	11	0	9	368			
		2.5 Ochrana osôb pred kontamináciou	1	3	9	11	1	9	1	1	3	3	3	0	1	182			
	2.6 Humanitárna pomoc	1	1	3	11	1	0	0	1	0	3	3	3	0	99				
	MANAGEMENT RIZÍK	3.1 Riziko	0	3	0	0	0	3	3	3	1	3	3	0	3	68			
		3.2 Posudzovanie rizík	9	3	0	0	0	0	3	3	1	3	1	0	3	73			
		3.3 Analýza hrozieb pre ČR	9	0	0	0	0	3	3	3	1	3	3	0	3	89			
	KRÍZOVÉ RIADENIE	4.1 Stavby	3	3	1	3	0	3	3	3	0	3	3	1	1	89			
		4.2 Orgány	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	42			
		4.3 Kritická infraštruktúra	9	1	0	3	0	1	1	3	1	11	0	3	128				
		4.4 Krízové plánovanie	11	3	3	9	1	9	11	3	11	11	1	9	312				
	CIVILNÁ BEZPEČNOSŤ	5.1 Bezpečnostná politika	9	0	0	0	0	1	1	3	0	3	1	1	1	61			
		5.2 Bezpečnostné hrozby	9	3	0	0	1	1	3	1	1	3	0	3	80				
		5.3 Bezpečnostné piliere	9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	44				
		5.4 Bezpečnostný systém	9	3	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3	90				
		5.5 Bezpečnostná stratégia	9	0	0	1	0	1	0	3	3	9	1	3	113				
		5.6 Bezpečnostné zložky	9	3	11	9	0	9	3	9	11	11	0	9	331				

Tabuľka 9 obsahuje výpočtom stanovené hodnoty pre každý prvok blokového diagramu. Pre určenie najdôležitejších prvkov bola využitá Paretova analýza.

Pareto princíp

Z výsledkov hodnôt jednotlivých prvkov bol zostavený Graf 2. V grafe sú vynesené výpočtom získané hodnoty pre prvky systému. Zároveň, je na druhej pomocnej ose vynesená relatívna početnosť. Za kľúčové bolo zvolených 30% všetkých prvkov, ktorých hodnota predstavuje v súčte 70% z celkového hodnotenia systému.

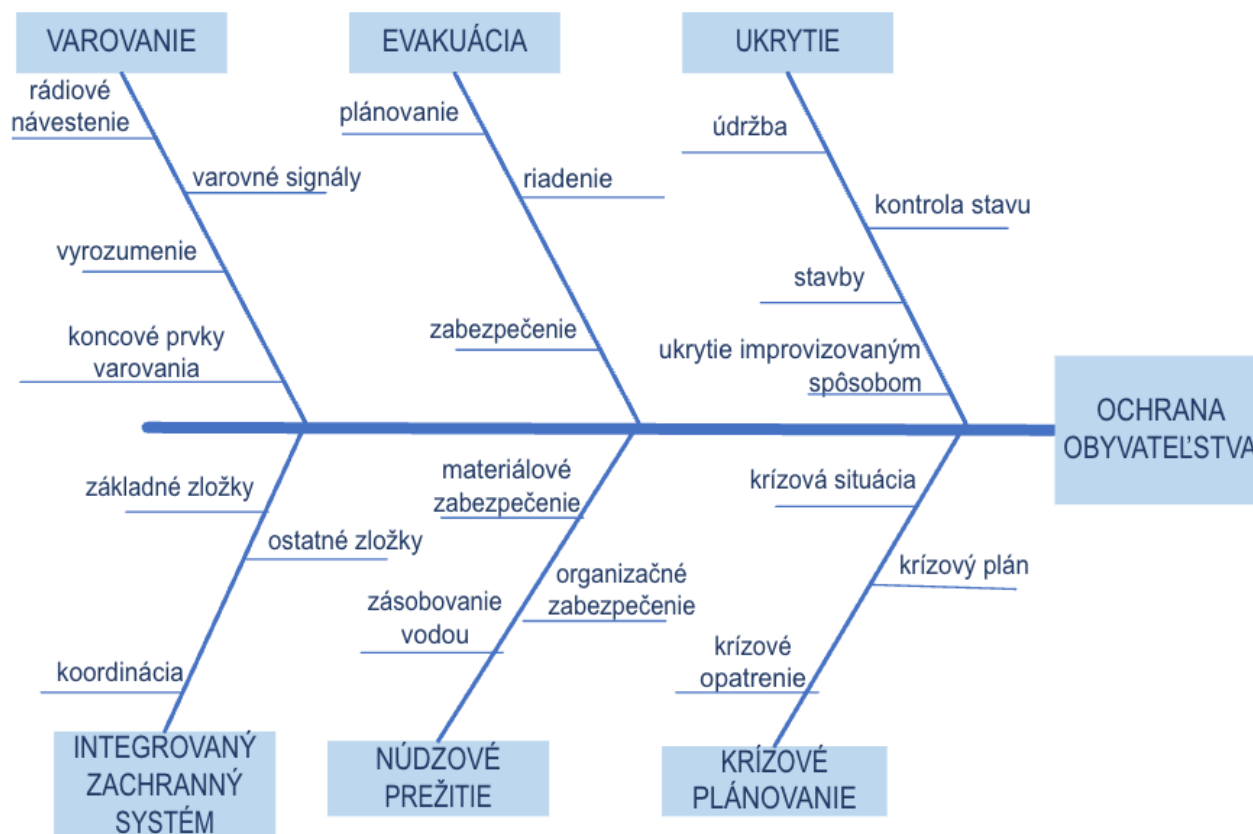


Graf 2 - Pareto graf

Z výsledkov Grafu 2, bolo stanovených celkovo 6 kľúčových prvkov, vstupujúcich do ďalšej analýzy.

Diagram príčin a následkov

Získané kľúčové prvky boli detailnejšie rozpracované pomocou diagramu príčin a následkov. Pre každý prvok boli identifikované časti, ktoré prvok obsahuje. Výsledné spracovanie diagramu je uvedené na Obr. 8.



Obr. 8 - Diagram príčin a následkov

Výsledný diagram príčin a následkov poslúžil ako vstupný údaj pre spracovanie hlavnej analýzy tejto práce.

FMEA

Predchádzajúce analýzy boli využité s cieľom identifikovania kľúčových častí a prvkov systém ochrany obyvateľstva. Jednotlivé prvky boli v analýzach posúdené tak, aby boli určené prvky, s nutnosťou ich detailnej analýzy. Pre výslednú analýzu, kde budú zároveň formulované možné scenáre vady bola zvolená metóda FMEA. Výsledky metódy sú zobrazené v Tabuľke 10. Z dôvodu obsiahlosti, je uvedená skrátená verzia vypracovanej analýzy. Celá analýza je uvedená v prílohe č.1.

Tabuľka 10 - FMEA (Vlastné spracovanie)

	zložky	ID scenáru	scenár vady	Kontrolné opatrenia	pravdepodobnosť vzniku vady	význam vady	pravdepodobnosť včasného odhalenia vady	miera rizika	Odporúčené opatrenia	pravdepodobnosť vznik vady	význam vady	pravdepodobnosť odhalenia vady	miera rizika
VAROVANIE	rádiové návestenie	1.1	Technická porucha nasledujúcej stanice	naprogramovaná jedna chybová cesta, podmienená cesta a reverzná cesta	2	3	2	12	pravidelná servisná kontrola	2	3	1	6
		1.2	Rušenie nasledujúcej stanice rádiovým signálom		2	3	2	12		2	3	1	6
		1.3	Znehodnotenie obsahu tokenu		3	3	2	18		3	3	1	9
		1.4	Nefunkčnosť diaľkového selektívneho ovládania poplachových sirén	2	3	2	12	2		3	1	6	
		1.5	Nefunkčný vysielateľ v základnej stanici	1	3	2	6	1		3	1	3	
	vyrozumenie	1.6	Nepredanie úplnej informácie o zdroji, povahe a rozsahu nebezpečia	monitorovací systém koncových prvkov, čidlá	4	5	4	80	cvičenia pripravenosti na MU	4	5	3	60
		1.7	Nepredanie informácie zložkám IZS, orgánom krízového riadenia a územnej samosprávy		2	5	4	40		2	5	3	30
		1.8	Nevčasné varovanie		3	4	4	48		3	4	3	36
		1.9	Nezrozumiteľné varovanie	pravidelná skúška sirén	1	4	3	12		x	1	4	3
	1.10	Strata zaznamenaných a uložených informácií vo vyzorumievacom stredisku	zálohovanie na externý disk	1	3	2	6	x	1	3	2	6	
	varovné signály	1.11	Časový priebeh a kmitočtové charakteristiky signálu neodpovedajú pokynom Hasičského záchranného zboru ČR	pravidelná skúška sirén	1	4	4	16	x	1	4	4	16
		1.12	Nerpoznanie typu varovného signálu	x	3	4	5	60		2	2	2	8

EVAKUÁCIA	koncové prvky varovania	1.13	Nesprávna verbálna informácia	pravidelná skúška sirén	1	4	5	20	školenia a vzdelávanie spoločnosti	1	2	2	4
		1.14	Varovný signál nebol vykonaný		1	5	4	20	x	1	5	4	20
		1.15	Nedochádza ku generovaniu nastavených signálov		1	2	3	6	x	1	2	3	6
		1.16	Koncové prvky nie sú prevádzky schopné pri prerušení dodávok energie	záložný zdroj	2	4	5	40	x	2	4	5	40
	plánovanie	2.1	Nie je naplánovaná evakuačná trasa	vypracovanie evakuačného plánu	4	5	3	60	návrh evakuačnej trasy	4	5	2	40
		2.2	Nie je naplánované rozmiestenie evakuačných stredísk a miest zhromaždenia		4	5	3	60	x	4	5	3	60
		2.3	Nie je vypracovaný evakuačný plán	x	1	5	4	20	x	1	5	4	20
		2.4	Nie je vypracovaný plán stálych úkrytov	x	4	5	4	80	x	4	5	4	80
		2.5	Nie je naplánované zásobovanie evakuačných stredísk a stálych úkrytov	vypracovanie evakuačného plánu	5	5	4	100	návrh zásobovania	5	5	3	75
		2.6	Nesprávne pripravená evakuačná batožina	vypracovanie pokynov pre prípad evakuácie	3	1	4	12	x	3	1	4	12
		2.7	Nesprávne orientačné prepočty	vypracovanie evakuačného plánu jeho pravidelná kontrola a aktualizácia	2	3	3	18	x	2	3	3	18
	riadenie	2.8	Nie je poverený zodpovedný pracovník	2	1	3	6	x	2	1	3	6	
		2.9	Nedostatočné pokyny a informovanosť obyvateľstva	x	4	4	3	48	školenia a vzdelávanie spoločnosti	4	4	2	32
		2.10	Nedostatočné uzávery brániace vstupu do evakuačnej zóny	x	1	2	5	10	x	1	2	5	10
	zabezpečenie	2.11	Nedostatok personálu v evakuačnom stredisku	vypracovanie evakuačného plánu jeho pravidelná kontrola a aktualizácia	4	4	4	64	určenie náhradníkov	3	4	1	12
		2.12	Nedostatok záchranárov, zdravotníkov a personálu podieľajúcich sa na evakuácii		3	5	4	60		2	5	4	40
2.13		Nezabezpečené materiálové vybavenie stredísk	3		3	4	36	2	3	4	24		

UKRYTIE		2.14	Nedostatok lôžok		4	3	4	48	inventúra skladového materiálu	3	3	3	27	
		2.15	Nezabezpečené jedlo a vody		2	4	4	32	x	2	4	4	32	
		2.16	Nedostatok dezinfekčných prostriedkov a hygienických pomôcok	kontrola, inventúra skladových zásob	2	3	4	24	x	2	3	4	24	
		2.17	Nedostatočné poriadkové zabezpečenie	vypracovanie evakuačného plánu jeho pravidelná kontrola a aktualizácia	2	2	2	8	x	2	2	2	8	
		2.18	Nedostatočné dopravné zabezpečenie		2	2	2	8	x	2	2	2	8	
		2.19	Nedostatočné mediálne zabezpečenie		1	2	2	4	x	1	2	2	4	
	údržba	3.1	Nebola vykonaná pravidelná údržba	technická norma	3	3	5	45	zdokumentovanie súčasného stavu úkrytov, vykonanie náprav	3	3	4	36	
		3.2	Neodhalená vada pri údržbe	x	3	4	3	36		3	4	2	24	
	kontrola stavu	3.3	Nekompletný protokol o vykonaní kontroly a revízie technického zariadenia	x	1	1	3	3		1	1	2	2	
		3.4	Nebola uskutočnená pravidelná kontrola podľa technickej normy ČSN 73 9050	x	3	3	4	36		3	3	3	27	
		3.5	Nezistenie závažných väd pri kontrole	x	3	2	3	18		3	2	2	12	
		3.6	Nezistenie, že kryt nespĺňa požiadavky pre stály tlakovo odolný úkryt	pokyny v technickej norme	3	4	4	48		3	4	3	36	
		3.7	Nekompletná dokumentácia úkrytu CO podľa technickej normy ČSN 73 9050		3	1	3	9		3	1	2	6	
	improvizované úkryty, ukrytie improvizovaným spôsobom	3.8	Poškodenie stavebnej konštrukcie	pokyny v technickej norme	2	5	2	20		2	5	1	10	
		3.9	Hrúbka zdiva nespĺňa stanovené parametre		1	4	2	8			1	4	1	4
		3.10	Poškodenie dverí, uzáverov a poklopov		1	4	3	12			1	4	2	8
		3.11	Improvizovaný úkryt nespĺňa jednu do základných požiadaviek		4	4	5	80	x	4	4	5	80	
		3.12	Improvizovaný úkryt nie je možné nepriedušne uzatvoriť	x	3	5	4	60	x	3	5	4	60	
		3.13	Improvizovaný úkryt je vzdialený viac ako 800 metrov	x	3	3	4	36	x	3	3	4	36	

		3.14	Nie je možné pri vzniku MU zvoliť vhodnú stavbu pre improvizované ukrytie	x	4	5	5	100	x	4	5	5	100
		3.15	Improvizovaný úkryt nemá dostatočnú kapacitu	x	4	4	5	80	návrh nových miest pre ukrytie	4	4	4	64
	stále úkryty CO	3.16	Stály tlakový kryt nespĺňa technické parametre definované v ČSN 73 9010	x	1	3	5	15	x	1	3	5	15
		3.17	Dostupné stále tlakové kryty nemajú dostatočnú kapacitu	x	5	5	4	100	návrh nových miest pre ukrytie	4	5	3	60
		3.18	Nie je dostupný havarijný plán, ktorý obsahuje zakreslenú polohu úkrytov	x	1	5	3	15	x	1	5	3	15
		3.19	Havarijný plán neobsahuje informácie o polohe úkrytov	x	2	4	3	24	aktualizácia rozmiestnení a CO úkrytov	2	4	2	16
		3.20	Nedostatočná informovanosť obyvateľstva o dostupnosti krytov	x	4	4	3	48	školenia a vzdelávanie spoločnosti	3	4	3	36
NÚDZOVÉ PREŽITIE	organizačné zabezpečenie	4.1	Nie je poverený zodpovedný pracovník	pravidelná kontrola a aktualizácia plánu	1	3	2	6	x	1	3	2	6
		4.2	Vypracovaný plán núdzového prežitia neobsahuje dané informácie		2	4	4	32	x	2	4	4	32
	materiálové zabezpečenie	4.3	Nedostatok lôžok	kontrola, inventúra skladových zásob	3	5	2	30	x	3	5	2	30
		4.4	Nedostatok potravín		3	5	3	45	x	3	5	3	45
		4.5	Nedostatok dezinfekčných prostriedkov a hygienických pomôcok a základných potrieb		3	5	2	30	x	3	5	2	30
	zásobovanie pitnou vodou	4.6	Nedostatok pitnej vody	kontrola vodných zdrojov	3	5	3	45	x	3	5	3	45
		4.7	Nedostatok cisterien	kontrola, technická kontrola a údržba	2	4	2	16	x	2	4	2	16
		4.8	Nie je vypracovaný plán núdzového prežitia	x	1	4	1	4	x	1	4	1	4

KRÍZOVÉ PLÁNOVANIE	Krízová situácia	5.1	Krízová situácia nie je včas odhalená	x	3	5	5	75	x	3	5	5	75
	krízový plán	5.2	Nie je vypracovaný krízový plán	x	1	4	1	4	x	1	4	1	4
		5.3	Krízový plán neobsahuje všetky potrebné informácie	pravidelná kontrola a aktualizácia plánu		2	4	4	32	x	2	4	4
	krízové opatrenia	5.4	Opatrenia nie sú zavedené	x	2	4	3	24	x	2	4	3	24
		5.5	Zavedené opatrenia sú nedostatočné	pravidelná kontrola a aktualizácia plánu		2	4	4	32	x	2	4	4

Tabuľka 10 a jej obsah boli vypracované na základe konzultácií s príslušníkom *HZS Jihomoravského kraje s Oddělení ochrany obyvatelstva a krizového řízení*. Znalosti experta a jeho odporúčania boli zohľadnené pri tvorbe scenárov, hodnotení miery rizika a návrhu opatrení.

Celkovo bolo identifikovaných 68 scenárov väd. Veľmi vysoká miera rizika nebola vypočítaná pre žiadne riziko. Vysoká hodnota miery rizika pred zavedením odporúčaných preventívnych opatrení bola stanovená u celkom siedmich scenárov:

- (1.6) Nepredanie úplnej informácie o zdroji, povahe a rozsahu nebezpečia
- (2.4) Nie je vypracovaný plán stálych úkrytov
- (2.5) Nie je naplánované zásobovanie evakuačných stredísk a stálych úkrytov
- (3.11) Improvizovaný úkryt nespĺňa jednu do základných požiadaviek
- (3.14) Nie je možné pri vzniku mimoriadnej udalosti zvoliť vhodnú stavbu pre improvizované ukrytie
- (3.15) Improvizovaný úkryt nemá dostatočnú kapacitu
- (3.17) Dostupné stále tlakové kryty nemajú dostatočnú kapacitu

Pre riziká, kde to bolo možné boli navrhnuté preventívne opatrenia. Celková miera rizika bola výpočtom stanovená na hodnotu 2274. V prípade zavedenia odporúčaných opatrení by došlo k zníženiu v miere rizika na hodnotu 1822, čo značí zníženie celkovej miery rizika len o 20%.

Uvedené scenáre sú použité k zostaveniu situácií, použitých k optimalizačnému modelovaniu.

Situácia 1 – na základe reálnych podkladov je pre mestskú časť Brno-Židenice modelovaná situácia, kedy známe množstvo osôb zhromaždených na určených miestach, a tieto osoby sú následne rozmiestnené do úkrytov so známou kapacitou. Kapacita úkrytov je menšia ako počet osôb, ktoré je nevyhnutné ukryť. Jedná sa o plne deterministický model a pre zostrojenie sú použité informácie z kapitoly 5.2.

Situácia 2 – v druhej situácií je pracované s možnosťou, že nie je možné presne určiť počet ľudí, zhromaždených v daných miestach. Situácia je rozšírená o náhodnosť týchto počtov osôb, pričom je zachované rozmiestnenie a kapacita úkrytov.

Situácia 3 – pre prežitie osôb v úkrytoch je dôležité rozšírenie plánu zásobovania úkrytov pitnou vodou, potravinami a základným materiálom, potrebným k prežitiu.

Situácia 4 – pre zabezpečenie priebehu evakuácie sú kľúčovými bezpečnostné zložky viz Obr. 8. Tretia situácia rieši optimálny počet zamestnancov, potrebný pre zabezpečenie plynulosti evakuácie.

Situácia 1 a 2 je najprv modelovaná na menšom súbore dát, pracujúci s polovicou mestskej časti a potom sú situácie použité pre modely celej mestskej časti.

5.2 POPIS SITUÁCIE BRNO-ŽIDENICE

Pre zostavovanie modelov bola zvolená mestská časť Brno-Židenice. Táto mestská časť má verejne dostupný dokument obsahujúci zoznam stálych tlakoodolných úkrytov a protiradiačných úkrytov s presnou adresou, na ktorých sa tieto stavby nachádzajú. Adresy aj zvyšné dodatočné informácie obsahuje Tabuľka 11. Celý dokument je uvedený v prílohe č.2.

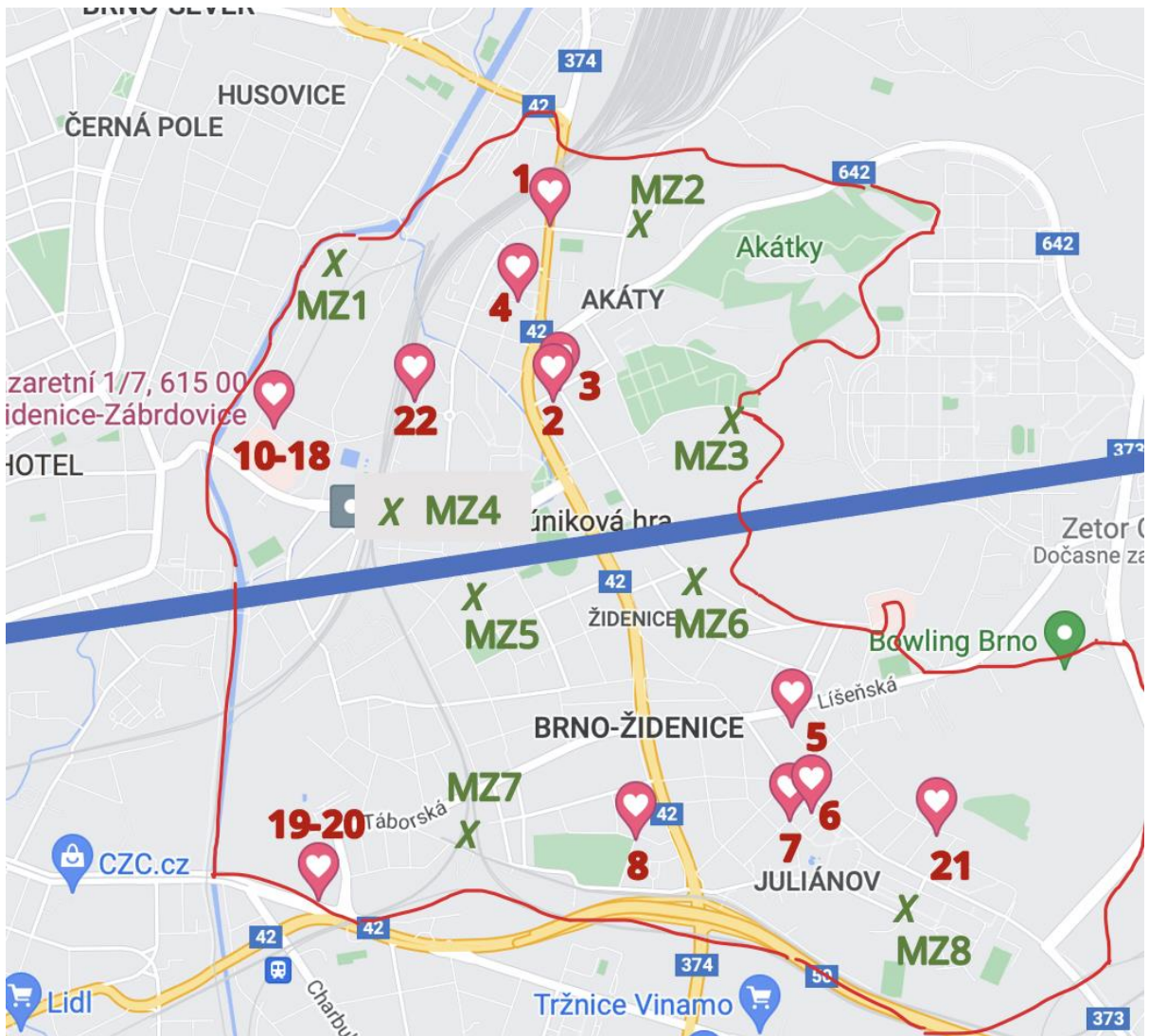
Tabuľka 11 - Zoznam stálych úkrytov Brno-Židenice

Poradové číslo	Majiteľ	Adresa	Kapacita úkrytu
1	MČ Brno-Židenice	Svatoplukova 73	65
2	MČ Brno-Židenice	Meluzínova 8	150
3	MČ Brno-Židenice	Meluzínova 9	90
4	MČ Brno-Židenice	Slívova 7	110
5	MČ Brno-Židenice	Hromádková 17/19	150
6	MČ Brno-Židenice	Boettingrova 11	130
7	MČ Brno-Židenice	Boettingrova 17	130
8	MČ Brno-Židenice	Strakatého 7/9	80
10-15	Zbrojovka Brno	Lazaretní 7	1700
16-18	Zbrojovka Brno	Lazaretní 7	450
19	ABB, Alstom Power	Olomoucká 7/9	300
20	ABB, Alstom Power	Olomoucká 7/9	50
21	SBD Mír	Slatinská 100	90
22	ČD	Lazaretní 11	450

K modelovaniu boli využité informácie o kapacite krytov, obsiahnuté v Tabuľka 11. Pre matematické modelovanie boli zachované označenia poradových čísel u všetkých úkrytov.

Mestská časť má k 1.1.2023 celkovo 18 834 obyvateľov [46]. Celková dostupná kapacita úkrytov je 3945 miest, čo pri uvedenom počte obyvateľov pokrýva iba necelých 21% celkovej dopytu, ak by bolo uvažované ukrytie všetkých obyvateľov mestskej časti.

Úkryty boli pre väčšiu prehľadnosť zakreslené do mapy zobrazenej na Obr. 9.



Obr. 9 - Grafické zobrazenie stálych úkrytov Brno-Židenice (Vlastné spracovanie)

Ako vyplýva z Obr. 9 pre modelovanie bola mestská časť Židenice rozdelená podľa polohy úkrytov na dve polovice priamkou vedenou stredom mestskej časti. Mapa je rozšírená o návrh ôsmich možných miest zhromažďísk v prípade vzniku krízovej situácie. Tieto miesta, boli určené náhodne tak, aby boli miesta zhromaždenia rozmiestnené rovnomerne pre obe polovice mestskej časti. Vzdialenosti v kilometroch, získané pomocou dostupných máp, medzi úkrytmi a miestami zhromaždenia sú obsiahnuté v Tabuľke 12.

Tabuľka 12 - Vzdialenosti medzi stálymi úkrytmi a miestami zhromaždenia (Vlastné spracovanie)

Miesta zhromaždenia	Kapacity	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K10-15	K16-18	K19	K20	K21	K22
MZ1	500	2,5	3,4	3,4	3,1	4,7	5	5,1	4,5	2,5	2,6	5	5	5,2	3,1
MZ2	500	0,8	0,65	0,6	0,5	2,1	2,2	2,2	2,2	1,5	1,5	2,8	2,8	2,6	1,1
MZ3	500	1	0,5	0,5	0,85	2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,4	2,2	2,2	1,9	0,9
MZ4	500	1,2	1,1	1,1	1	1,9	2,1	2,1	1,8	0,4	0,4	1,6	1,6	2,5	0,45
MZ5	500	1,1	0,85	0,85	0,95	1,4	1,8	1,8	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	2,1	0,6
MZ6	500	1,8	1,4	1,4	1,7	0,26	0,35	0,35	0,75	2,2	2,2	1,7	1,7	0,8	1,7
MZ7	500	2,5	2	2	2,2	1,4	1,3	1,3	0,7	1,9	1,9	0,7	0,7	1,6	1,8
MZ8	500	2,4	1,9	1,9	2,2	0,6	0,4	0,4	0,8	2,7	2,7	1,8	1,8	0,45	2,2
Max kapacity krytov	-	65	150	90	110	150	130	130	80	1700	450	300	50	90	450

5.3 OPTIMALIZÁCIA

Kapitola obsahuje matematickú formuláciu základného modelu, ktorý bude upravovaný podľa vybraných problémov.

V nadväznosti na predchádzajúce analýzy rizík, boli pre modelovanie v optimalizačnom programe GAMS použité štyri formulované situácie.

Za využitia informácií uvedených v kapitole 5.2, bol sformulovaný nasledujúci matematický model. V nasledujúcich podkapitolách je uvedený podrobný číselný zápis modelu. Indexy sú volené názorne podľa autorky.

Matematický zápis základného modelu

Cieľom základného modelu je minimalizovať náklady spojené s prepravou osôb z miest zhromaždenia do miest úkrytov.

Účelová funkcia:

$$Z_{\min} = 2,5x_{11} + 3,4x_{12} + 3,4x_{13} + 3,1x_{14} + 4,7x_{15} + 5x_{16} + 5,1x_{17} + 4,5x_{18} + 2,5x_{115} + 2,6x_{118} + 5x_{119} + 5x_{120} + 5,2x_{121} + 3,1x_{122} + 0,8x_{21} + 0,65x_{22} + 0,6x_{23} + 0,5x_{24} + 2,1x_{25} + 2,2x_{26} + 2,2x_{27} + 2,2x_{28} + 1,5x_{215} + 1,5x_{218} + 2,8x_{219} + 2,8x_{220} + 2,6x_{221} + 1,1x_{222} + 1x_{31} + 0,5x_{32} + 0,5x_{33} + 0,85x_{34} + 2x_{35} + 1,4x_{36} + 1,6x_{37} + 1,6x_{38} + 1,4x_{315} + 1,4x_{318} + 2,2x_{319} + 2,2x_{320} + 1,9x_{321} + 0,9x_{322} + 1,2x_{41} + 1,1x_{42} + 1,1x_{43} +$$

$$\begin{aligned}
&1x_{44} + 1,9x_{45} + 2,1x_{46} + 2,1x_{47} + 1,8x_{48} + 0,4x_{415} + 0,4x_{418} + 1,6x_{419} + 1,6x_{420} + 2,5x_{421} + 0,45x_{422} \\
&+ 1,1x_{51} + 0,85x_{52} + 0,85x_{53} + 0,95x_{54} + 1,4x_{55} + 1,8x_{56} + 1,8x_{57} + 1,2x_{58} + 1,2x_{515} + 1,2x_{518} + 1,1x_{519} \\
&+ 1,1x_{520} + 2,1x_{521} + 0,6x_{522} + 1,8x_{61} + 1,4x_{62} + 1,4x_{63} + 1,7x_{64} + 0,26x_{65} + 0,35x_{66} + 0,35x_{67} + 0,75x_{68} \\
&+ 2,2x_{615} + 2,2x_{618} + 1,7x_{619} + 1,7x_{620} + 0,8x_{621} + 1,7x_{622} + 2,5x_{71} + 2x_{72} + 2x_{73} + 2,2x_{74} + 1,4x_{75} + 1,3x_{76} \\
&+ 1,3x_{77} + 0,7x_{78} + 1,9x_{715} + 1,9x_{718} + 0,7x_{719} + 0,7x_{720} + 1,6x_{721} + 1,8x_{722} + 2,4x_{81} + 1,9x_{82} + 1,9x_{83} + 2,2x_{84} \\
&+ 0,6x_{85} + 0,4x_{86} + 0,4x_{87} + 0,8x_{88} + 2,7x_{815} + 2,7x_{818} + 1,8x_{819} + 1,8x_{820} + 0,45x_{821} + 2,2x_{822}
\end{aligned}$$

Kapacitné obmedzenia miest zhromaždenia:

- (1) $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{115} + x_{118} + x_{119} + x_{120} + x_{121} + x_{122} \leq 1000$
- (2) $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{215} + x_{218} + x_{219} + x_{220} + x_{221} + x_{222} \leq 1000$
- (3) $x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{318} + x_{318} + x_{319} + x_{320} + x_{321} + x_{322} \leq 1000$
- (4) $x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{415} + x_{418} + x_{419} + x_{420} + x_{421} + x_{422} \leq 1000$
- (5) $x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} + x_{58} + x_{515} + x_{518} + x_{519} + x_{520} + x_{521} + x_{522} \leq 1000$
- (6) $x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} + x_{67} + x_{68} + x_{615} + x_{618} + x_{619} + x_{620} + x_{621} + x_{622} \leq 1000$
- (7) $x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} + x_{77} + x_{78} + x_{715} + x_{718} + x_{719} + x_{720} + x_{721} + x_{722} \leq 1000$
- (8) $x_{81} + x_{82} + x_{83} + x_{84} + x_{85} + x_{86} + x_{87} + x_{88} + x_{815} + x_{818} + x_{819} + x_{820} + x_{821} + x_{822} \leq 1000$

Kapacitné obmedzenia úkrytov:

- (9) $x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} \leq 65$
- (10) $x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} \leq 150$
- (11) $x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} + x_{83} \leq 90$
- (12) $x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} + x_{84} \leq 110$
- (13) $x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} + x_{85} \leq 150$
- (14) $x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} + x_{76} + x_{86} \leq 130$
- (15) $x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} + x_{77} + x_{87} \leq 130$
- (16) $x_{18} + x_{28} + x_{38} + x_{48} + x_{58} + x_{68} + x_{78} + x_{88} \leq 80$
- (17) $x_{115} + x_{215} + x_{315} + x_{415} + x_{515} + x_{615} + x_{715} + x_{815} \leq 1700$
- (18) $x_{118} + x_{218} + x_{318} + x_{418} + x_{518} + x_{618} + x_{718} + x_{818} \leq 450$
- (19) $x_{119} + x_{219} + x_{319} + x_{419} + x_{519} + x_{619} + x_{719} + x_{819} \leq 350$
- (20) $x_{120} + x_{220} + x_{320} + x_{420} + x_{520} + x_{620} + x_{720} + x_{820} \leq 350$
- (21) $x_{121} + x_{221} + x_{321} + x_{421} + x_{521} + x_{621} + x_{721} + x_{821} \leq 90$
- (22) $x_{122} + x_{222} + x_{322} + x_{422} + x_{522} + x_{622} + x_{722} + x_{822} \leq 450$

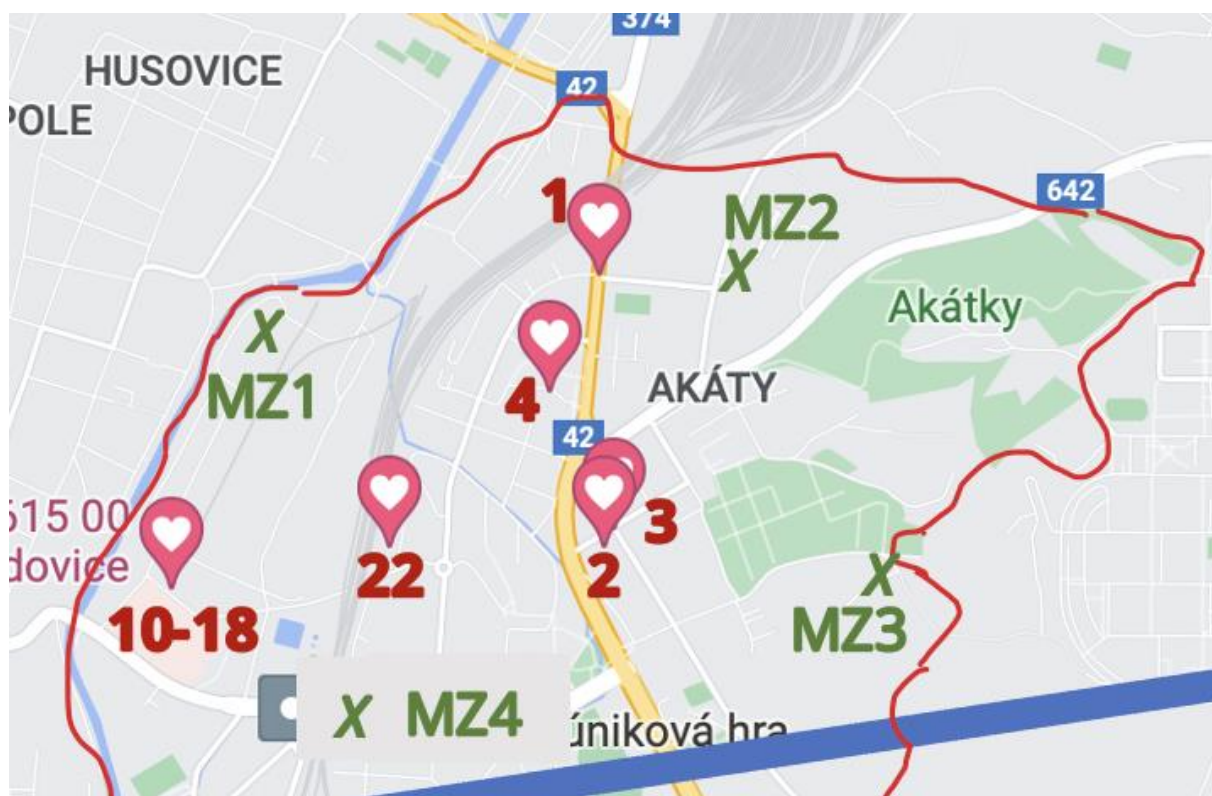
Podmienky nezápornosti:

$$x_{11}, \dots, x_{822} \geq 0$$

Uvedené informácie sú použité k vytvoreniu základného modelu v programe GAMS.

Základný model GAMS – malý dátový súbor

Pre zostrojenie základného modelu v programe GAMS bolo využité grafické zobrazenie rozmiestnenia krytov na Obr. 9. Pre základný model bola zvolená prvotne iba polovica mestskej časti Brno-Židenice, zobrazenej na Obr. 10. Model je v tomto tvare plne deterministický, s ohľadom na ďalšie modely ho je možné považovať za *wait-and-see* pre jeden scenár.



Obr. 10 - Polovica mestskej časti Brno-Židenice pre základný model malý dátový súbor (Vlastné spracovanie)

```

1 set
2 j "sloupcovy index" /
3 x11,x12,x13,x14,x115,x118,x122,
4 x21,x22,x23,x24,x215,x218,x222
5 x31,x32,x33,x34,x315,x318,x322,
6 x41,x42,x43,x44,x415,x418,x422 /,
7 i "radkovy index" / 1, 2, 3, 4,101,102,103,104,115,118,122/,
8 i1(i) /1,2,3,4/,
9 i2(i) /101,102,103,104,115,118,122/;
10
11 parameters c(j) "vzdialenost v km " /
12 x11 2.5, x12 3.4, x13 3.4, x14 3.1, x115 2.5,x118 2.6,x122 3.1,
13 x21 0.8, x22 0.65,x23 0.65,x24 0.5, x215 1.5,x218 1.5,x222 1.1,
14 x31 1, x32 0.5 ,x33 0.5 ,x34 0.85,x315 1.4,x318 1.4,x322 0.9,
15 x41 1.2, x42 1.1, x43 1.1, x44 1, x415 0.4,x418 0.4,x422 0.45/,
16
17 b(i) "kapacity miest zhromaždeni a ukrytov" /
18 1 1000, 2 1000, 3 1000, 4 1000,
19 101 -65, 102 -150, 103 -90, 104 -110, 115 -1700,118 -450,122 -450 /;
20
21 table a(j,i) "tabulka dopravni site"
22      1  2  3  4   101  102  103   104  115  118  122
23 x11  1
24 x12  1          -1
25 x13  1          -1
26 x14  1          -1
27 x115 1          -1
28 x118 1          -1
29 x122 1          -1
30 x21      1      -1
31 x22      1      -1
32 x23      1      -1
33 x24      1      -1
34 x215     1      -1
35 x218     1      -1
36 x222     1      -1
37 x31      1      -1
38 x32      1      -1
39 x33      1      -1
40 x34      1      -1
41 x315     1      -1
42 x318     1      -1
43 x322     1      -1
44 x41      1      -1
45 x42      1      -1
46 x43      1      -1
47 x44      1      -1
48 x415     1      -1
49 x418     1      -1
50 x422     1      -1
51 ;

```

Obr. 11 – GAMS: Základný model malý dátový súbor (Vlastné spracovanie)

Základný model pozostáva z celkovo 4 miest zhromažďísk a 7 úkrytov. Pomocou parametru $c(j)$ sú vyjadrené vzdialenosti medzi jednotlivými miestami. Za využitia indexov i a j je vytvorená tabuľka dopravnej siete $a(j,i)$. Parameter $b(i)$

obsahuje kapacity daných úkrytov a navrhnuté kapacity miest zhromažďísk. z je hodnota účelovej funkcie a $x(j)$ je rozhodovacia premenná.

```

54 Variables
55 z "hodnota ucelove funkce";
56
57 positive variables
58 x(j) "rozhodovaci promenne";
59
60 equations
61 ucelfce "ucelova funkce",
62 omez(i) "omezeni";
63 ucelfce..      z =E=      sum(j, c(j)      * x(j) );
64 omez(i)..      sum(j, a(j,i) * x(j) ) =L=  b(i);
65
66 model evakuace / all /;
67 solve evakuace  min z using LP;
68
69 parameter zmin, xmin(j), celkovekapacity,
70 celkovepoptavky, nevyuzitapoptavka;
71 zmin=z.L;
72 xmin(j)=x.L(j);
73 celkovekapacity=sum(i1,b(i1));
74 celkovepoptavky=-sum(i2,b(i2));
75 nevyuzitapoptavka= -(celkovekapacity - celkovepoptavky);
76 if (nevyuzitapoptavka <= 0,
77   nevyuzitapoptavka =0;
78 );
79
80 display i,j,i1,i2,c,b,a,z.L,x.L,
81 zmin,xmin,celkovekapacity,celkovepoptavky;
82
83 file out / "EVAKUACIAZ01.txt" /; put out;
84 put "VYSLEDKY" /; put "======" / /;
85
86 put "Celkove naklady na evakuaciu:", @40 z.L:10:0/;
87 put/;
88 put "Celkova kapacita miest zhromazdeni:", @40 celkovekapacity:10:0 / /; ;
89 put "Celkova kapacita krytov:", @40 celkovepoptavky:10:0 / /; ;
90 put "Nevyuzite kapacity krytov:", @40 nevyuzitapoptavka:10:0 / /; ;
91 put/;
92 parameter klad(i2);
93 klad(i2)= - b(i2);
94
95 parameter xpom(i1,i2);
96 loop(i1,loop(i2,loop(j,
97   if((a(j,i1)EQ 1)and(a(j,i2)EQ -1),xpom(i1,i2)=xmin(j)) ) ) );
98 display xmin, xpom;
99 put / /;

```

Obr. 12 - GAMS: Základný model malý dátový súbor – pokračovanie (Vlastné spracovanie)

Účelová funkcie je definovaná ako $z =E= \text{sum}(j, c(j) * x(j))$ a obmedzenia majú tvar $\text{sum}(j, a(j,i) * x(j)) =L= b(i) ;$. Príkazom `solve` je určené, aký typ optimalizačnej úlohy bude počítaný. V prípade daného problému ide o minimalizáciu nákladov za použitia lineárneho programovania. Ku generovaniu výsledkov do textového súboru dochádza

prostredníctvom príkazu `file out` a `put`. Tieto príkazy sú zhodné alebo prispôbené pre všetky ďalej uvedené modely, a teda nie sú už znovu popisované. Pre zápis výsledkov do prehľadnej tabuľky bol použitý parameter `xpom`.

```
put "TABULKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANYCH OBYVATELOV" /;
put "===== " /;
put " KRYTY "; loop(i2, put " ",i2.TL:5; ); put /;
put "----- " /;
put "kapacity "; loop(i2, put klad(i2):8:0; ); put " kapacity MZ" /;
put "----- " /;
loop(i1,put " " i1.TL:5;loop(i2,put xpom(i1,i2):8:0;));
put b(i1):8:0;put /;)
```

Obr. 13 - GAMS: Základný model malý dátový súbor - zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie)

VYSLEDKY
=====

Celkove naklady na evakuáciu:	2741
Celkova kapacita miest zhromaždení:	4000
Celkova kapacita krytov:	3015
Nevyuzite kapacity krytov:	0

TABULKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANYCH OBYVATELOV

KRYTY	101	102	103	104	115	118	122	
kapacity	65	150	90	110	1700	450	450	kapacity MZ
1	0	0	0	0	15	0	0	1000
2	65	0	0	110	685	140	0	1000
3	0	150	90	0	0	310	450	1000
4	0	0	0	0	1000	0	0	1000

Obr. 14 - GAMS: Základný model malý dátový súbor - výsledky (Vlastné spracovanie)

Na Obr. 14 sa nachádza výstupný textový súbor základného modelu pre malé dáta. Celkové náklady na evakuáciu sú stanovené na hodnotu 2741j. Kapacita všetkých úkrytov bola plne využitá. Úkryt 1 na adrese *Svatoplukova 73* je naplnený výhradne osobami zo zhromaždiska č.2, keďže toto zhromaždisko je najbližšie k polohe tohto úkrytu. V dôsledku najmenšej vzdialenosti je naplnený úkryt č.2 a č.3 osobami z najbližšieho zhromaždiska, ktorým je zhromaždisko č.3. Celková kapacity úkrytu č.4 je pokrytá zhromaždiskom č.2. Najväčší úkryt s kapacitou 1700 osôb pozostáva z 15 osôb, ktoré dorazia zo zhromaždiska č.1, 685 osôb prichádza z zhromaždiska č.2

a zhromaždisko č.4 do tohto úkrytu zasiela celú svoju kapacitu, a to 1000 osôb. Aj napriek väčšej vzdialenosti je kapacita úkrytu č.18 tvorená 140 osobami zo zhromaždiska č.2 a 310 osobami zo zhromaždiska č.3. Celková kapacita úkrytu č.22 je naplnená osobami zo zhromaždiska č.3. Ako najmenej vhodné je možné považovať umiestnenie zhromaždiska č.1, ktorého kapacity neboli v modeli takmer vôbec využité.

Základný model GAMS – veľký dátový súbor

Malý dátový súbor bol rozšírený o celú oblasť Žideníc, kde je celkovo navrhnutých 8 miest zhromaždenia a model pracuje s celkovým počtom 14 úkrytov, zobrazených na Obr. 9.

Z dôvodu veľkosti samotného zdrojového kódu ho uvádzame v prílohe č.3. Kapitola obsahuje iba získaný výsledok a jeho diskusiu. Aj v prípade modelu celej mestskej časti je základný model odrazom *wait-and-see* prístupu.

Na Obr. 15 je časť zdrojového kódu, slúžiaca k výpisu výsledkov do prehľadnej tabuľky. Pre prípad veľkého dátového súboru bola tabuľka rozšírená o riadok kontrolného súčtu kapacít úkrytov. Pri prechode z malého dátového súboru na veľké data, bola rozšírená tabuľka $a(j, i)$ znázorňujúca dopravnú sieť. Keďže boli pridané nové miesta zhromaždení a úkrytov bol parameter vzdialenosti $c(j)$ doplnený o tieto nové vzdialenosti. Pridané boli hodnoty kapacít $b(j)$ pre doplnené zhromaždiská a úkryty. Navrhnuté kapacity miest zhromaždisk sú v tomto prípade 500 osôb pre každé zhromaždisko.

```

put "TABUĽKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANÝCH OBYVATELOV" /;
put "===== " /;
put " KRYTY "; loop(i2, put " ", i2.TL:5; ); put /;
put "===== " /;
put "kapacity "; loop(i2, put klad(i2):8:0; ); put " kapacity MZ" /;
put "===== " /;
loop(i1, put " " i1.TL:5; loop(i2, put xpom(i1, i2):8:0; );
put b(i1):8:0; put /; )
put "===== " /;
put " KONTROLNY SUCET KAPACIT " /;
put "===== " /;
put "kapacity "; loop(i2, put klad(i2):8:0; ); put " kapacity MZ" /;

```

Obr. 15 - GAMS: Základný model veľký dátový súbor – zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie)

VYSLEDKY

=====

Celkove naklady na evakuaciu:	4444
Celkova kapacita miest zhromaždeni:	4000
Celkova kapacita krytov:	3945
Nevyuzite kapacity krytov:	0

TABULKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANYCH OBYVATELOV

KRYTY	101	102	103	104	105	106	107	108	115	118	119	120	121	122	
kapacity	65	150	90	110	150	130	130	80	1700	450	300	50	90	450	kapacity MZ
1	0	0	0	0	0	0	0	0	500	0	0	0	0	0	500
2	65	0	90	110	0	0	0	0	235	0	0	0	0	0	500
3	0	150	0	0	0	0	0	0	350	0	0	0	0	0	500
4	0	0	0	0	0	0	0	0	50	450	0	0	0	0	500
5	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	450	500
6	0	0	0	0	135	0	0	0	365	0	0	0	0	0	500
7	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	300	50	0	0	500
8	0	0	0	0	15	130	130	80	0	0	0	0	90	0	500
KONTROLNY SUCET KAPACIT															
kapacity	65	150	90	110	150	130	130	80	1700	450	300	50	90	450	kapacity MZ

Obr. 16 - GAMS: Základný model veľký dátový súbor - výsledky (Vlastné spracovanie)

Z výsledkov uvedených na Obr. 16 je jasný nárast v hodnote účelovej funkcie, predstavujúcej náklady spojené s prepravou osôb z miest zhromaždenia do úkrytov. Celková kapacita úkrytov je plne využitá. Celkový počet zhromaždených 500 osôb je pre veľký dátový súbor alokovaný do krytu č.15. Zhromaždisko č.2 plne pokrýva voľné kapacity krytov č.1, č.3 a č.4, pričom zvyšných 235 osôb z daného zhromaždiska je prepravených do krytu č.15. Zhromaždisko č.3 napĺňa dopyt krytu č.2 a zvyšných 350 osôb zo zhromaždiska je presunutých do krytu č.15. Úkryt č.18 je naplnený osobami zo zhromaždiska č.4 a zvyšných 50 osôb je prepravených do úkrytu č.15. Rovnaká alokácia je sledovaná pre osoby zo zhromaždiska č.5, ktoré ale vyplňa celkovú kapacitu úkrytu č.22, a zvyšných 50 osôb je alokovaných do krytu č.18. Kapacita zhromaždiska č.6 je rozložená v počte 365 osôb v kryte č.15 a 135 osôb je premiestnených do úkrytu č.5. Zvyšná kapacita úkrytu č.5 je doplnená 15 osobami zo zhromaždiska č.8. Osoby zo zhromaždiska č.7 sú rozmiestnené do úkrytu č.15 do úkrytu č.19 a č.20, kde napĺňajú celkovú kapacitu týchto úkrytov. Posledné zhromaždisko č.8 prispieva k naplneniu až piatich rôznych úkrytov, kedy sú prostredníctvom zhromaždiska č.8 naplnené miesta v úkrytoch č.6, č.7, č.8 a č.21, 15 osôb dopĺňa voľné miesta v úkryte č.5. z celkovej kapacity zhromaždiska č.8 zostalo neukrytých 55 osôb.

Model náhodných kapacít miest zhromaždisk GAMS – malý dátový súbor

Druhá situácia uvedená v kapitole 5.1 pracuje s možnosťou, kedy nie je možné určiť, koľko ľudí dorazí na určené zhromaždiská, a preto bol základný model rozšírený o náhodné kapacity osôb nachádzajúcich sa na zhromaždiskách.

Model náhodných kapacít je rozšírením základného modelu. Množina **set** bola rozšírená o index scenáru **s**. Pre modelovanie na malých dátach boli zvolené 2 scenáre.

Pravdepodobnosť bola generovaná príkazom $p(s) = 1/\text{card}(s)$; . Normovanie pravdepodobnosti bolo zabezpečené príkazom $p(s) = \text{uniform}(0,1)$; a $p(s) = p(s) / \text{sum}(s1, p(s1))$; . Príkaz **alias** (**s**, **s1**) ; na Obr. 17 určuje rozdielne označenie pre sčítací index vo vzorci, aby mal **s1** rovnaký obor hodnôt ako **s**.

Z dôvodu ťažkosti určenia počtu osôb, ktoré dorazia na zhromaždiská je v modeli náhodných kapacít uplatnený a využívaný prístup *here-and-now expected value*, ktorý sa vyznačuje tým, že pre náhodné dopyty je stanovený vážený priemer všetkých scenárov, a pre tieto hodnoty je model vyriešený. Následne je model vhodné verifikovať, či dané rozhodnutie pokrýva dané dopyty, a tým obsahuje model pre každý scenár prípustné riešenie. To isté platí aj pre prípad veľkých dát modelu náhodných kapacít miest zhromaždisk.

```

1 set
2 j "sloupcovy index" /
3 x11,x12,x13,x14,x115,x118,x122,
4 x21,x22,x23,x24,x215,x218,x222
5 x31,x32,x33,x34,x315,x318,x322,
6 x41,x42,x43,x44,x415,x418,x422 /,
7 i "radkovy index" / 1, 2, 3, 4,101,102,103,104,115,118,122/,
8 i1(i) /1,2,3,4/,
9 i2(i) /101,102,103,104,115,118,122/,
10 s / 1 * 2 /;
11 alias(s,s1);
12
13 parameters c(j) "vzdialenost v km " /
14 x11 2.5, x12 3.4, x13 3.4, x14 3.1, x115 2.5,x118 2.6,x122 3.1,
15 x21 0.8, x22 0.65,x23 0.65,x24 0.5, x215 1.5,x218 1.5,x222 1.1,
16 x31 1, x32 0.5 ,x33 0.5 ,x34 0.85,x315 1.4,x318 1.4,x322 0.9,
17 x41 1.2, x42 1.1, x43 1.1, x44 1, x415 0.4,x418 0.4,x422 0.45/,
18
19 b(i) "kapacity miest zhromazdeni a ukrytov"
20 /
21 101 -65, 102 -150, 103 -90, 104 -110, 115 -1700,118 -450,122 -450 /
22 ,
23 bs(i,s) " nahodne kapacity miest zhromazdeni a ukrytov",
24 p(s) "pravdepodobnosti",
25 qp(i),
26 qm(i)
27 ;
28 qp(i1)=100;
29 qm(i1)=1000000;
30 qp(i2)=1000000;
31 qm(i2)=10;

```

Obr. 17 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor (Vlastné spracovanie)

Ako vidieť na Obr. 17 do modelu boli pridané parametre **qp** a **qm** a premenné **yp** a **yp** (viz Obr. 18 Obr. 19), slúžiace k zabezpečeniu obsadzovania miest v úkrytoch tomu, aj v prípade kedy by bolo výhodnejšie z pohľadu nákladov tieto voľné miesta nevyužiť.

```

33 table a(j,i) "tabulka dopravni site"
34      1  2  3  4  101  102  103  104  115  118  122
35 x11  1
36 x12  1
37 x13  1
38 x14  1
39 x115 1
40 x118 1
41 x122 1
42 x21  1
43 x22  1
44 x23  1
45 x24  1
46 x215 1
47 x218 1
48 x222 1
49 x31  1
50 x32  1
51 x33  1
52 x34  1
53 x315 1
54 x318 1
55 x322 1
56 x41  1
57 x42  1
58 x43  1
59 x44  1
60 x415 1
61 x418 1
62 x422 1
63 ;
64 bs(i1,s) =round(uniform(650,850),0);
65 bs(i2,s) = b(i2);
66 p(s) = 1/card(s);
67 p(s) = uniform(0,1);
68 p(s) = p(s)/sum(s1,p(s1));
69 b(i1)=round (sum (s,p(s)*bs(i1,s)),0);
70
71 Variables
72 z "hodnota ucelove funkce";
73
74 positive variables
75 x(j) "rozhodovaci promenne",
76 yp(i),
77 ym(i);

```

Obr. 18 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor – pokračovanie (Vlastné spracovanie)

Model obsahuje nový parameter náhodných kapacít pre zhromaždiská $bs(i, s)$, počet obyvateľov je náhodne generovaný za použitia príkazu $bs(i1,s) = round(uniform(650,850),0);$.

```

80 equations
81 ucelfce "ucelova funkce",
82 omez(i) "omezeni";
83 ucelfce..      z =E=sum(j,c(j)* x(j))+sum(i,qp(i)* yp(i))+sum(i,qm(i)*ym(i));
84 omez(i)..      sum(j, a(j,i) * x(j) ) +yp(i)-ym(i)=E= b(i);
85
86 model evakuace / all /;
87 solve evakuace min z using LP;
88
89 parameter zmin, xmin(j), celkovekapacity,
90 celkovepoptavky, nevyuzitapoptavka;
91 zmin=z.L;
92 xmin(j)=x.L(j);
93 celkovekapacity=sum(i1,b(i1));
94 celkovepoptavky=-sum(i2,b(i2));
95 nevyuzitapoptavka= -(celkovekapacity - celkovepoptavky);
96 if (nevyuzitapoptavka <= 0,
97   nevyuzitapoptavka =0;
98 );
99 display i,j,i1,i2,c,b,a,z.L,x.L,
100 zmin,xmin,celkovekapacity,celkovepoptavky;
101
102 file out / "EVAKUACIAZ03.txt" /; put out;
103 put "VYSLEDKY" /; put "======" / /;
104 put "Celkove naklady na evakuaciu:", @40 z.L:10:0/;
105 put/;
106 put "Celkova kapacita miest zhromaždeni:", @40 celkovekapacity:10:0 / /; ;
107 put "Celkova kapacita krytov:", @40 celkovepoptavky:10:0 / /; ;
108 put "Nevyuzite kapacity krytov:", @40 nevyuzitapoptavka:10:0 / /; ;
109 put/;
110 parameter klad(i2);
111 klad(i2)= - b(i2);
112
113 parameter xpom(i1,i2);
114 loop(i1,loop(i2,loop(j,
115   if((a(j,i1)EQ 1)and(a(j,i2)EQ -1),xpom(i1,i2)=xmin(j)) ) ) );
116 display xmin, xpom;
117 put / /;
118
119 parameter skutkap(i2);
120 skutkap(i2) = sum(i1, xpom(i1,i2) );
121

```

Obr. 19 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor – účelová funkcia a obmedzenia (Vlastné spracovanie)

Pre časť modelu uvedeného na Obr. 19 náhodných kapacít bola upravená účelová funkcia do tvaru:

$$z =E= \text{sum}(j, c(j) * x(j)) + \text{sum}(i, qp(i) * yp(i)) + \text{sum}(i, qm(i) * ym(i));$$

Táto modifikácia bola opäť nutná, z dôvodu zabezpečenia využitia všetkých dostupných miest v úkrytoch. Obmedzenie bolo upravené do tvaru $\text{omez}(i) .. \text{sum}(j, a(j,i) * x(j)) + yp(i) - ym(i) =E= b(i);$. Premenná yp pri zhromaždiskách vyjadruje počet osôb, ktoré sú na zhromaždisku a nie sú prepravení do úkrytov a ym pri zhromaždiskách vyjadruje počet ľudí, ktorí na zhromaždisko neprišli, čo môže znamenať, že sa dostavili do miesta úkrytu priamo.

Táto situácia nie je zachytená modelom, a teda nie je možné stanoviť na základe výsledkov, či by v takomto prípade využili voľnú kapacitu daného úkrytu, alebo sú nad rámec kapacity úkrytu.

Premenná **yp** v interpretácii pre úkryty vyjadruje počet osôb, prepravených do úkrytu navyše, a v úkryte pre nich nie je miesto. Naopak, premenná **ym** vyjadruje v úkrytoch počet nevyužitej kapacity.

```

123 put "TABULKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANÝCH OBYVATELOV" /;
124 put "===== " /;
125 put " KRYTY "; loop(i2, put " ",i2.TL:5; ); put /;
126 put "----- " /;
127 put "kapacity "; loop(i2, put klad(i2):8:0; ); put " kapacity MZ" /;
128 put "----- " /;
129 loop(i1,put " " i1.TL:5;loop(i2,put xpom(i1,i2):8:0;);
130 put b(i1):8:0;put /;
131
132 put "----- " /;
133 put " KONTROLNY SUCET KAPACIT " /;
134 put "----- " /;
135 put "kapacity "; loop(i2, put klad(i2):8:0; ); put " kapacity MZ" /;
136 put / /;put / /;
137
138 put /;
139
140 x.L0(j) = x.L(j); x.UP(j) = x.L(j);
141 put "TABULKA VYSLEDKOV – VERIFIKACIA NAHODNYCH KAPACIT MZ" /;
142 put "===== " /;
143 put " s ", " p(s)", " ?", " !", " zmin";
144
145 loop(i1, put " MZ(",i1.TL:2, ")");put /;
146 put "----- " /;
147 loop(s, b(i) = bs(i,s);
148 solve evakuace minimizing z using LP; display j, c, i, b, a, z.L, x.L;
149 put s.TL:3, p(s):6:3, evakuace.modelstat:2:0,evakuace.solvestat:2:0, z.L:15:2;
150 loop(i1, put b(i1):7:0;);
151
152
153 put /;
154 );
155 put //;
156 put "TABULKA VYSLEDKOV –VERIFIKACIA POMOCNYCH PARAMETROV" /;
157 put "===== " /;
158 put " s ", " p(s)", " ?", " !", " zmin";
159 loop(i, put " yp(",i.TL:3, ")");
160 loop(i, put " ym(",i.TL:3, ")");put /;
161 put "----- " /;
162 loop(s, b(i) = bs(i,s);
163 solve evakuace minimizing z using LP; display j, c, i, b, a, z.L, x.L;
164 put s.TL:3, p(s):6:3, evakuace.modelstat:2:0,evakuace.solvestat:2:0, z.L:15:2;
165 loop(i, put yp.L(i):8:0;);
166 loop(i, put ym.L(i):8:0;);
167
168 put /;
169 );
170

```

Obr. 20 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor – zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie)

Model je rozšírený o výpis tabuliek obsahujúcich verifikáciu vypočítaných dát, ktorých zdrojový kód je súčasťou Obr. 20.

VYSLEDKY

=====

Minimalny cas potrebný na evakuáciu: 4759
 Celková kapacita miest zhrmazdení: 3025
 Celková kapacita krytov: 3015
 Nevyuzité kapacity krytov: 0

TABULKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANYCH OBYVATELOV

KRYTY	101	102	103	104	115	118	122	
kapacity	65	150	90	110	1700	450	450	kapacity MZ
1	0	0	0	0	793	0	0	803
2	65	0	0	110	541	0	0	716
3	0	150	90	0	7	0	450	697
4	0	0	0	0	359	450	0	809
KONTROLNY SUCET KAPACIT								
kapacity	65	150	90	110	1700	450	450	kapacity MZ
kapacity	65	150	90	110	1700	450	450	

TABULKA VYSLEDKOV – VERIFIKACIA NAHODNYCH KAPACIT MZ

s	p(s) ? !	zmin	MZ(1)	MZ(2)	MZ(3)	MZ(4)
1	0.118 1 1	198009259.40	684	760	708	720
2	0.882 1 1	8007559.40	819	710	695	821

TABULKA VYSLEDKOV –VERIFIKACIA POMOCNYCH PARAMETROV

s	p(s) ? !	zmin	yp(1)	yp(2)	yp(3)	yp(4)	yp(101)	yp(102)	yp(103)	yp(104)	yp(115)	yp(118)	yp(122)
1	0.118 1 1	198009259.40	0	44	11	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.882 1 1	8007559.40	26	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0

TABULKA VYSLEDKOV –VERIFIKACIA POMOCNYCH PARAMETROV

s	p(s) ? !	zmin	ym(1)	ym(2)	ym(3)	ym(4)	ym(101)	ym(102)	ym(103)	ym(104)	ym(115)	ym(118)	ym(122)
1	0.118 1 1	198009259.40	109	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0
2	0.882 1 1	8007559.40	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 21 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor – výsledky (Vlastné spracovanie)

Vstupné kapacity miest zhromažďísk, uvedené v tabuľke výsledkov na Obr. 21, sú náhodne generované v stanovenom rozmedzí. Toto náhodné množstvo osôb je distribuované do siedmich úkrytov. Rozdiel v alokácií osôb je v porovnaní so základným deterministickým modelom v zaplňovaní kapacity úkrytov č.15 a č.18. Úkryt č.18 je v tomto prípade zaplňovaný osobami, prichádzajúcich zo všetkých štyroch zhromažďísk. Celková kapacita miest zhromažďísk je stanovená na 3025, pričom kapacita úkrytov je 3015. Neevakuovaných 10 osôb sa nachádza na zhromažďisku č.1.

Boli spočítané ďalšie dva scenáre, slúžiace k overeniu správnosti riešeni pre iné náhodné počty osôb na zhromažďiskách. Verifikované pre tieto dva scenáre boli aj pomocné premenné y_m a y_p . Pre oba scenáre je dôležité poznamenať, že y_m pomocná premenná je rovná nule, a teda v úkrytoch nezostávajú žiadne voľné nevyužité miesta.

Model náhodných kapacít miest zhromažďísk GAMS – veľký dátový súbor

Z dôvodu veľkej obsiahlosti zdrojového kódu modelu náhodných kapacít, uvádzame na Obr. 22 iba časť zdrojového kódu, rozšíreného o druhú polovicu úkrytov a miest zhromažďísk. Rozšírená bola dopravná sieť $a(j,i)$ a parameter $c(j)$ je doplnený o vzdialenosti medzi pridanými miestami. Pre veľký dátový súbor je počet scenárov určený na počet 10 príkazom $s / 1 * 10 / ;$. Celý zdrojový kód je k nahliadnutiu v prílohe č.6

```

1 set
2 j "sloupcovy index" /
3 x11,x12,x13,x14,x15,x16,x17,x18,x115,x118,x119,x120,x121,x122,
4 x21,x22,x23,x24,x25,x26,x27,x28,x215,x218,x219,x220,x221,x222,
5 x31,x32,x33,x34,x35,x36,x37,x38,x315,x318,x319,x320,x321,x322,
6 x41,x42,x43,x44,x45,x46,x47,x48,x415,x418,x419,x420,x421,x422,
7 x51,x52,x53,x54,x55,x56,x57,x58,x515,x518,x519,x520,x521,x522,
8 x61,x62,x63,x64,x65,x66,x67,x68,x615,x618,x619,x620,x621,x622,
9 x71,x72,x73,x74,x75,x76,x77,x78,x715,x718,x719,x720,x721,x722,
10 x81,x82,x83,x84,x85,x86,x87,x88,x815,x818,x819,x820,x821,x822 /,
11
12 i "radkovy index" / 1, 2, 3, 4,5,6,7,8,101,102,103,104,105,106,107,108,115,118,119,120,121,122/,
13 i1(i) /1,2,3,4,5,6,7,8/,
14 i2(i) /101,102,103,104,105,106,107,108,115,118,119,120,121,122/,
15
16 s / 1 * 10 /;
17 alias(s,s1);
18
19 parameters c(j) "vzdialenost v km " /
20 x11 2.5, x12 3.4, x13 3.4, x14 3.1, x15 4.7, x16 5.0, x17 5.1, x18 4.5, x115 2.5,x118 2.6,x119 5, x120 5, x121 5.2, x122 3.1,
21 x21 0.8, x22 0.65,x23 0.6, x24 0.5, x25 2.1, x26 2.2, x27 2.2, x28 2.2, x215 1.5,x218 1.5,x219 2.8,x220 2.8,x221 2.6, x222 1.1,
22 x31 1, x32 0.5 ,x33 0.5 ,x34 0.85,x35 2, x36 1.4, x37 1.6, x38 1.6, x315 1.4,x318 1.4,x319 2.2,x320 2.2,x321 1.9, x322 0.9,
23 x41 1.2, x42 1.1, x43 1.1, x44 1, x45 1.9, x46 2.1, x47 2.1, x48 1.8, x415 0.4,x418 0.4,x419 1.6,x420 1.6,x421 2.5, x422 0.45,
24 x51 1.1, x52 0.85,x53 0.85,x54 0.95,x55 1.4, x56 1.8, x57 1.8, x58 1.2, x515 1.2,x518 1.2,x519 1.1,x520 1.1,x521 2.1, x522 0.6,
25 x61 1.8, x62 1.4, x63 1.4, x64 1.7, x65 0.26,x66 0.35,x67 0.35,x68 0.75,x615 2.2,x618 2.2,x619 1.7,x620 1.7,x621 0.8, x622 1.7,
26 x71 2.5, x72 2, x73 2, x74 2.2, x75 1.4, x76 1.3, x77 1.3, x78 0.7, x715 1.9,x718 1.9,x719 0.7,x720 0.7,x721 1.6, x722 1.8,
27 x81 2.4, x82 1.9, x83 1.9, x84 2.2, x85 0.6, x86 0.4, x87 0.4, x88 0.8, x815 2.7,x818 2.7,x819 1.8,x820 1.8,x821 0.45,x822 2.2 /,
28
29 b(i) "kapacity miest zhromazdeni a ukrytov" /
30 101 -65, 102 -150, 103 -90, 104 -110,105 -150,106 -130,107 -130,108 -80, 115 -1700,118 -450,119 -300,120 -50,121 -90, 122 -450 /,

```

Obr. 22 - GAMS: Náhodné kapacity veľký dátový súbor (Vlastné spracovanie)

VYSLEDKY

=====

Celkove naklady na evakuaciu:	199356
Celkova kapacita miest zhromazdeni:	5906
Celkova kapacita krytov:	3945
Nevyuzite kapacity krytov:	0

TABULKA VYSLEDKOV – ROZMIESTNENIE EVAKUOVANYCH OBYVATELOV

KRYTY	101	102	103	104	105	106	107	108	115	118	119	120	121	122	
kapacity	65	150	90	110	150	130	130	80	1700	450	300	50	90	450	kapacity MZ
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	731
2	65	0	0	110	0	0	0	0	583	0	0	0	0	0	758
3	0	150	90	0	0	0	0	0	487	0	0	0	0	0	727
4	0	0	0	0	0	0	0	0	303	450	0	0	0	0	753
5	0	0	0	0	0	0	0	0	274	0	0	0	0	450	724
6	0	0	0	0	150	130	130	0	0	0	0	0	0	0	751
7	0	0	0	0	0	0	0	80	53	0	300	50	0	0	738
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	724
KONTROLNY SUCET KAPACIT															
kapacity	65	150	90	110	150	130	130	80	1700	450	300	50	90	450	kapacity MZ
kapacity	65	150	90	110	150	130	130	80	1700	450	300	50	90	450	

Obr. 23 - GAMS: Náhodné kapacity veľký dátový súbor – výsledky (Vlastné spracovanie)

TABULKA VYSLEDKOV – VERIFIKACIA NAHODNYCH KAPACIT MZ

s	p(s) ? !	zmin	MZ(1)	MZ(2)	MZ(3)	MZ(4)	MZ(5)	MZ(6)	MZ(7)	MZ(8)
1	0.062 1 1	86198055.50	684	850	722	672	733	782	665	699
2	0.002 1 1	60206155.50	819	766	720	750	674	801	685	699
3	0.083 1 1	133210555.50	760	848	676	682	713	775	755	676
4	0.154 1 1	112221855.50	710	802	680	824	659	707	800	837
5	0.047 1 1	138187755.50	708	766	768	703	718	667	686	726
6	0.054 1 1	84198855.50	695	778	816	707	686	671	657	807
7	0.102 1 1	107209555.50	720	682	696	769	779	778	767	710
8	0.098 1 1	58221455.50	821	700	783	795	762	759	774	675
9	0.100 1 1	210355.50	663	784	805	776	804	656	728	800
10	0.298 1 1	61199355.50	750	737	711	743	710	808	722	664

TABULKA VYSLEDKOV –VERIFIKACIA POMOCNYCH PARAMETROV

s	p(s) ? !	zmin	yp(1)	yp(2)	yp(3)	yp(4)	yp(5)	yp(6)	yp(7)	yp(8)	yp(101)	yp(102)	yp(103)	yp(104)	yp(105)	yp(106)	yp(107)	yp(108)	yp(115)	yp(118)	yp(119)	yp(120)	yp(121)	yp(122)
1	0.062 1 1	86198055.50	684	92	0	0	9	372	182	609	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.002 1 1	60206155.50	819	8	0	0	0	391	202	609	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.083 1 1	133210555.50	760	90	0	0	0	365	272	586	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.154 1 1	112221855.50	710	44	0	71	0	297	317	747	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.047 1 1	138187755.50	708	0	41	0	0	257	203	636	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.054 1 1	84198855.50	695	20	89	0	0	261	174	717	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.102 1 1	107209555.50	720	0	0	16	55	368	284	620	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.098 1 1	58221455.50	821	0	56	42	38	349	291	585	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.100 1 1	210355.50	663	26	78	23	80	246	245	710	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.298 1 1	61199355.50	750	0	0	0	0	398	239	574	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABULKA VYSLEDKOV –VERIFIKACIA POMOCNYCH PARAMETROV

s	p(s) ? !	zmin	ym(1)	ym(2)	ym(3)	ym(4)	ym(5)	ym(6)	ym(7)	ym(8)	ym(101)	ym(102)	ym(103)	ym(104)	ym(105)	ym(106)	ym(107)	ym(108)	ym(115)	ym(118)	ym(119)	ym(120)	ym(121)	ym(122)
1	0.062 1 1	86198055.50	0	0	5	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.002 1 1	60206155.50	0	0	7	3	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.083 1 1	133210555.50	0	0	51	71	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.154 1 1	112221855.50	0	0	47	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.047 1 1	138187755.50	0	82	0	50	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.054 1 1	84198855.50	0	0	0	46	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.102 1 1	107209555.50	0	76	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.098 1 1	58221455.50	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.100 1 1	210355.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.298 1 1	61199355.50	0	21	16	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

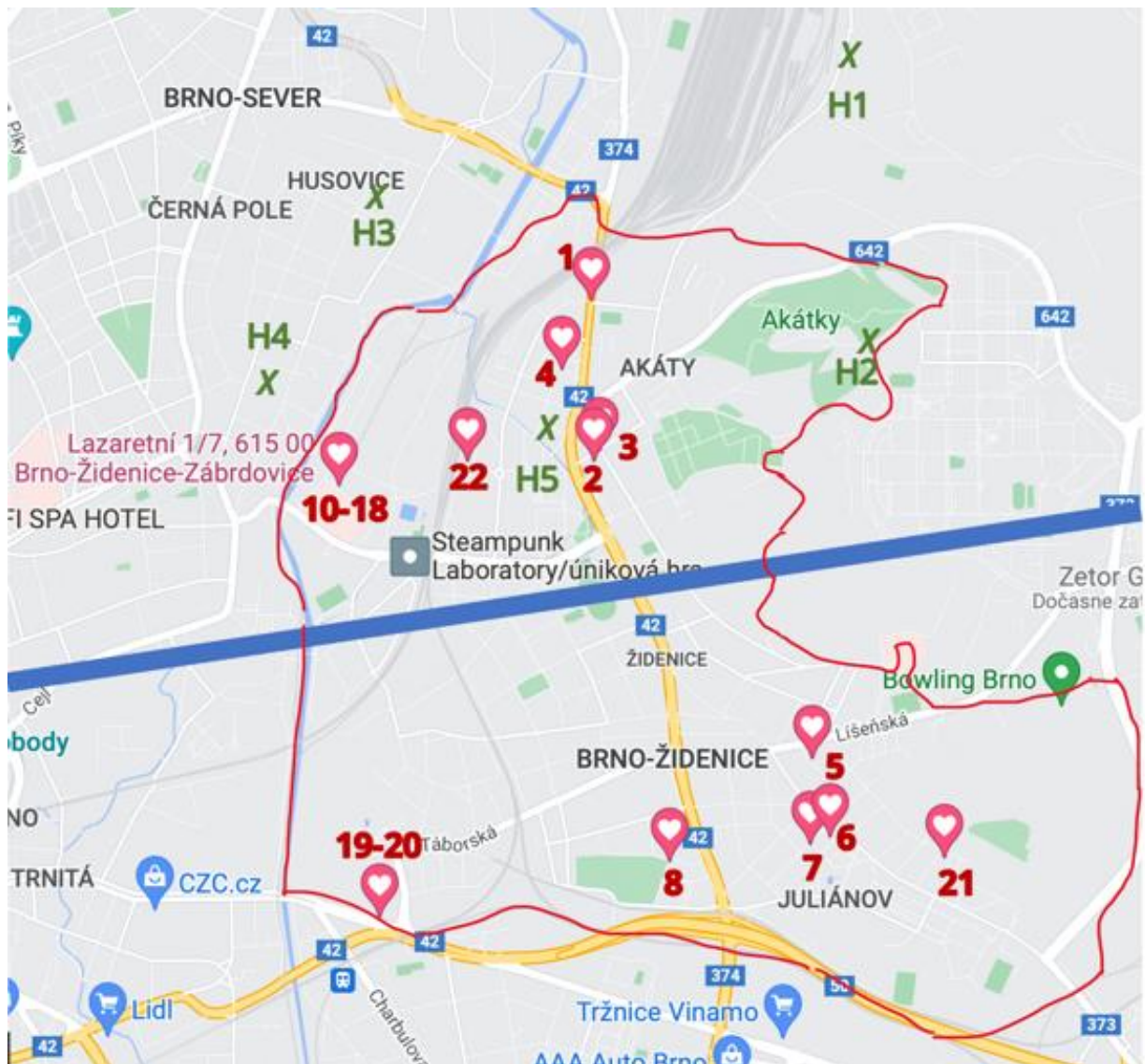
Obr. 24 - GAMS: Náhodné kapacity veľký dátový súbor – verifikácia (Vlastné spracovanie)

Celkové náklady na evakuáciu pre veľké dáta vzrástli na hodnotu 199 356 jednotiek. Kapacita úkrytov je plne využitá aj pre veľký model, pričom dopyt prevyšuje dostupnú kapacitu o 1961 osôb, ktoré nie sú evakuované zo zhromaždišiek do úkrytov. Výsledná tabuľka rozmiestnenia obyvateľov je rozšírená o ďalší kontrolný riadok kapacít úkrytov. Logika interpretácie alokácie osôb je zhodná s predchádzajúcimi modelmi.

Na Obr. 24 je uvedená verifikácia náhodných kapacít zhromaždišiek, ako aj pomocných parametrov. Znovu je vďaka pomocnej premennej možné overiť, že kapacity úkrytov sú plne využité pre všetky scenáre. Pre 10 scenárov je možné sledovať zmenu v hodnote minimalizovanej účelovej funkcie, s najnižšou hodnotu účelovej funkcie v deviatom scenári.

Model zásobovania úkrytov vodou GAMS – veľký dátový súbor

Pre situáciu 3 bol základný model upravený pre zobrazenie situácie zásobovania stálych úkrytov pitnou vodou. Zmena v modeli je zakreslená na Obr. 25. Miesta úkrytov sú totožné s predchádzajúcimi modelovými situáciami. Zmenené sú polohy hasičských staníc, kde sú dostupné cisterny. Pre model je zvolený rovnaký počet cisterien ako úkrytov.



Obr. 25 - Grafické zobrazenie stálych úkrytov Brno-Židenice a hasičských zložiek (Vlastné spracovanie)

Pre model boli zistené vzdialenosti v kilometroch medzi hasičskými stanicami a úkrytmi, ktoré sú v modeli zaznamenané pomocou parametru $c(j)$. Model je rozšírený o skalár e , vyjadrujúci náklady spojené s prepravou cistery do každého úkrytu. Tabuľka $a(j, i)$, je k nahliadnutiu v prílohe č.7, má upravený dopravný tok tak, aby existovala v sieti možnosť zásobenia každého úkrytu každou hasičskou stanicou. Požiadavka, aby bola každému úkrytu pristavená práve jedna cisterna je vyjadrený parametrom $b(i)$. Model je postavený na prístupe *wait-and-see*, kedy dochádza k rozhodovaniu až po realizácii náhodného parametru.

```

1 set
2 j "sloupcovy index" /
3 x11,x12,x13,x14,x15,x16,x17,x18,x115,x118,x119,x120,x121,x122,
4 x21,x22,x23,x24,x25,x26,x27,x28,x215,x218,x219,x220,x221,x222,
5 x31,x32,x33,x34,x35,x36,x37,x38,x315,x318,x319,x320,x321,x322,
6 x41,x42,x43,x44,x45,x46,x47,x48,x415,x418,x419,x420,x421,x422,
7 x51,x52,x53,x54,x55,x56,x57,x58,x515,x518,x519,x520,x521,x522 /,
8
9 i "radkovy index" / 1, 2, 3, 4,5,101,102,103,104,105,106,107,108,115,118,119,120,121,122/,
10 i1(i) /1,2,3,4,5/,
11 i2(i) /101,102,103,104,105,106,107,108,115,118,119,120,121,122/;
12
13 Scalars
14 e naklady /500/;
15
16 parameters c(j) "vzdialenost v km " /
17 x11 1.8, x12 1.8, x13 1.8, x14 2.2, x15 3.6, x16 3.5, x17 3.4, x18 3.9, x115 3.2,x118 3.2,x119 4.2,x120 4.2,x121 4, x122 2.8,
18 x21 3.4, x22 3.2, x23 3.2, x24 4.7, x25 2.6, x26 3.2, x27 3.1, x28 4.2, x215 4.8,x218 4.8,x219 4.1,x220 4.1,x221 3.7, x222 4.3,
19 x31 2.8, x32 3.6 ,x33 3.6 ,x34 3.5, x35 4.9, x36 5.6, x37 5.5, x38 4.9, x315 1.7,x318 1.7,x319 5.6,x320 5.6,x321 5.6, x322 1.8,
20 x41 3.4, x42 3.1, x43 3.1, x44 2.7, x45 4, x46 4.3, x47 4.3, x48 4, x415 2, x418 2, x419 4.7,x420 4.7,x421 4.7, x422 2.1,
21 x51 0.8, x52 1.4 ,x53 1.4 ,x54 0.45,x55 2.3, x56 2.8, x57 2.7, x58 2.3, x515 1, x518 1, x519 3.1,x520 3.1,x521 3, x522 0.5 /,
22
23 b(i) "poptavky garazi a ukrytov" /
24 1 2, 2 2, 3 4, 4 4, 5 2,
25 101 -1, 102 -1, 103 -1, 104 -1,105 -1, 106 -1, 107 -1, 108 -1, 115 -1,118 -1, 119 -1, 120 -1, 121 -1, 122 -1 /;
26

```

Obr. 26 - GAMS: Zásobenie vodou (Vlastné spracovanie)


```

101 Variables
102 z "hodnota ucelove funkce";
103
104 positive variables
105 x(j) "rozhodovaci promenne";
106
107 equations
108 ucelfce "ucelova funkce",
109 omez(i) "omezeni";
110
111
112
113 ucelfce..      z =E= e * sum(j, c(j)      * x(j) );
114 omez(i)..      sum(j, a(j,i) * x(j) ) =E= b(i);
115
116
117

```

Obr. 27 - GAMS: Zásobenie vodou – účelová funkcia (Vlastné spracovanie)

Na Obr. 27 je uvedený zápis účelovej funkcie **z** a obmedzenia **omez(i)** a Obr. 28 je textový výpis výsledkov pre alokáciu cisterien z piatich hasičských staníc do 14 stálych úkrytov pre mestskú časť Brno-Židenice.

Z hasičskej stanici H1 je cisterna pristavená do úkrytu č.2 a č.3. Dopyt úkrytu č.7 a č.5 je zásobený pitnou vodou z hasičskej stanici H2. Štyri dostupné cisterny z hasičskej stanici H3 sú použité k zásobeniu pitnou vodou úkrytov č.1, č.15, č.18 a č.22. Z hasičskej stanici H5 sú 2 dostupné cisterny použité k zásobeniu úkrytov č. 4 a č.8. Zvyšné štyri úkryty č.6, č.19, č.20 a č.21 sú zásobené pitnou vodou z cisterien z hasičskej stanice H4.

VYSLEDKY

=====

Minimalny cas potrebný na zasobenie: 19225

Celkovy pocet dostupnych cisterien: 14

TABULKA VYSLEDKOV – ZASOBOVANIE KRYTOV VODOU

KRYTY	101	102	103	104	105	106	107	108	115	118	119	120	121	122	
poptavka	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 pocet cisterien
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	4
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4
5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2

Obr. 28 - GAMS: Zásobenie vodou – výsledky (Vlastné spracovanie)

Model stanovenia potrebného počtu zamestnancov

Bol zostavený matematický model operujúci so situáciou 4, kedy je požiadavka na určenie optimálneho počtu zamestnancov, podieľajúcich sa evakuácií. Model zamestnancov, uvedený na Obr. 29 operuje s tromi scenármi, kedy je počet zamestnancov odhadom stanovený pre prvý scenár na 50 potrebných zamestnancov, pre druhý je to 100 a pre tretí scenár 75 zamestnancov. Model obsahuje tri typy zamestnancov, líšiacich sa v nákladoch na ich odmeny. Náklady na hasiča, zdravotníka a brigádnika sú určené skalármi e , f a g .

```
1 set
2 i / 1, 2, 3 /,
3 s / 1 * 3 /;
4 alias(s,s1);
5
6 Scalars
7 e naklady na zamestanca hasic /500/,
8 f naklady na zamestanca brigadnik /200/,
9 g naklady na zamestanca zdravotnik /400/,
10 qp pri nadbytku zamestnancov /100/,
11 qm pri nedostatku zamestnancov / 700/;
12 ;
13
14 parameters
15 b(i,s) "pozadovane pocty zamestnancov" /1.1 10, 2.1 30, 3.1 10,
16                                     1.2 20, 2.2 65, 3.2 15,
17                                     1.3 15, 2.3 50, 3.3 10 /,
18 bi(s) "pozadovane pocty zamestnancov" /1 50, 2 100, 3 75/,
19 p(s) "pravdepodobnosti";
20 p(s) = 1/card(s);
21 p(s) = uniform(0,1);
22 p(s) = p(s)/sum(s1,p(s1));
23
24
25 Variables
26 z "hodnota ucelove funkce";
27
28 positive variables
29 xcelk "rozhodovaci promenne",
30 x(i),
31 yp(i,s) nadbytok zamestanca,
32 ym(i,s) nedostatok zamestanca;
33
34
35 equations
36 ucelfce "ucelova funkce",
37 omez(i,s) "omezeni",
38 omez2(s) "maximalny pocet zamestnancov";
39
40 ucelfce..      z =E= e*x("1")+f*x("2")+g*x("3")
41                +sum(s,p(s)*sum(i,qp*yp(i,s)+qm*ym(i,s)));
42 omez(i,s)..   x(i) - b(i,s) =E= yp(i,s) - ym(i,s);
43 omez2(s)..    sum(i,x(i)) =E= xcelk;
44
45
46 model evakuace / all /;
47 solve evakuace min z using LP;
48
```

Obr. 29 - GAMS: Počet zamestnancov (Vlastné spracovanie)

Model na Obr. 29 obsahuje tiež pomocné skaláry qp a qm , slúžiace ako forma penále. Ak je počet zamestnancov vyšší, vypočítaný náklad je spojený so zaplatením hodinovej mzdy tohto

zamestnanca. Pri nedostatku zamestnancov je však penále q_m výrazne vyššie, z dôvodu, že nedostatok zamestnancov výrazne spomaľuje priebeh evakuácie. Účelová funkcia modelu bola upravená o rozšírenie skalárov pre jednotlivý typ zamestnanca do tvaru:

$$z = E = e * x("1") + f * x("2") + g * x("3") + \text{sum}(s, p(s) * \text{sum}(i, q_p * y_p(i,s) + q_m * y_m(i,s)));$$

Do modelu bolo pridané ďalšie obmedzenie $\text{omez2}(s) \dots \text{sum}(i, x(i)) = E = x_{\text{celk}}$; s cieľom, aby nedošlo k prekročeniu maximálneho počtu dostupných zamestnancov.

Časť zdrojového kódu na Obr. 30, slúži k výpisu tabuľky do textového súboru. Tabuľka výsledkov bola modifikovaná pre tento model, kedy je uvedený stĺpec s požadovaným množstvom zamestnancov a stĺpec s navrhnutým optimálnym počtom zamestnancov.

```

49 display s, p, bi, e, qp, qm, z.L, x.L yp.L ym.L;
50
51 file out / "EVAKUACIA04.txt" /; put out;
52 put "VYSLEDKY" /; put "=====" / /;
53 put "Celkove naklady na rozmiestnenie zamestnancov:", @40 z.L:10:2/; put /;
54 put "Navrhnuty pocet zamestnancov:", @40 xcelk.L:10:2 / /; ;
55 put "Naklady z dovodu nadbytku zamestnancov :", @40 qp:10:2/ /; ;
56 put "Naklady z dovodu nedostatku zamestnancov:", @40 qm:10:2/ /; ;
57 put/;
58
59 put "TABULKA VYSLEDKOV - POCET ZAMESTNANCOV" /;
60 put "=====" /;
61 put "s      ", " p(s)", "   pozad Z", " skutocny Z";
62 loop(i, put " b(",i.TL:1,"s)", " x.L(",i.TL:1,")";
63 put " yp(",i.TL:1,"s)", " ym(",i.TL:1,"s)"); put /;
64 put "=====" /;
65
66 loop (s,put s.TL:5, p(s):6:2, bi(s):11:2 xcelk.L:11:2;
67 loop(i, put b(i,s):8:2 x.L(i):8:2;
68 put yp.L(i,s):9:2, ym.L(i,s):9:2; ); put /;);
69

```

Obr. 30 - GAMS: Počet zamestnancov – zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie)

V tabuľkách na Obr. 31, sú výsledky pre tri stanovené scenáre možného počtu zamestnancov, ktorí sa podieľajú na priebehu evakuácie. Navrhnutý počet zamestnancov je 90 pre všetky tri odlišné požiadavky. V prvom scenári je požadovaných 10 hasičov a skutočný počet hasičov je stanovený na 15. Pomocná premenná yp s hodnotou 5 vyjadruje počet zamestnancov nad rámec požiadavku. Pre prvý scenár je navrhnutý počet brigádnikov 65, čo prevyšuje pôvodnú požiadavku 30 brigádnikov o 35 zamestnancov typu brigádnik. Pre prvý scenár je navrhnutý počet zdravotníkov totožný s navrhnutým počtom, 10 zdravotníkov. V druhom scenári je navrhnutý menší, ako pôvodne požadovaný počet zamestnancov. Chýbajúci zamestnanci sú vyjadrený pomocnou premennej ym , pričom je navrhnutý počet nižší o 5 hasičov a 5 zdravotníkov. Pre tretí scenár bol navýšený požadovaný počet brigádnikov o 15 zamestnancov tohto typu. Detailné výsledky sú k dispozícii na Obr. 31

VYSLEDKY

=====

Celkove naklady na rozmiestnenie zamest 29237.11

Navrhnuty pocet zamestnancov: 90.00

Naklady z dovodu nadbytku zamestnancov 100.00

Naklady z dovodu nedostatku zamestancov 700.00

TABULKA VYSLEDKOV – POCET ZAMESTNANCOV

s	p(s)	pozad Z	skutocny Z	b(1,s)	x.L(1)	yp(1,s)	ym(1,s)	b(2,s)	x.L(2)	yp(2,s)	ym(2,s)	b(3,s)	x.L(3)	yp(3,s)	ym(3,s)
1	0.11	50.00	90.00	10.00	15.00	5.00	0.00	30.00	65.00	35.00	0.00	10.00	10.00	0.00	0.00
2	0.54	100.00	90.00	20.00	15.00	0.00	5.00	65.00	65.00	0.00	0.00	15.00	10.00	0.00	5.00
3	0.35	75.00	90.00	15.00	15.00	0.00	0.00	50.00	65.00	15.00	0.00	10.00	10.00	0.00	0.00

Obr. 31 - GAMS: Počet zamestnancov – výsledky (Vlastné spracovanie)

Rozšířený model zamestnanci

Predchádzajúci model zamestnancov, stanovujúci ich potrebný počet bol rozšírený o rozmiestnenie týchto zamestnancov medzi miesta zhromaždenia a známe stále úkryty. Z dôvodu obsiahlosti zdrojového kódu, neuvádzame jeho plné znenie. Celý súbor je súčasťou prílohy č.9.

Model uvedený na Obr. 32 bol prepracovaný do podoby, kedy z dvoch počiatočných miest, a to konkrétne z *Úřadu městské části Brno-Židenice* a *Vojenskej nemocnice Brno* je požadované stanovenie optimálneho rozmiestnenia zdravotníkov, brigádnikov a hasičov, ktorí sú alokovaní jednak na základne nákladov, spojených s ich zaplatením a zároveň aj v závislosti na vzdialenosti medzi jednotlivými bodmi. Tieto vzdialenosti sú v zdrojovom kóde vyjadrené parametrom $d(j)$. Stanovené sú zároveň opäť tri predbežné scenáre, kedy v prvom prípade je požadovaných 50 zamestnancov, v druhom scenári je pracované so 100 zamestnancami a pre tretí prípad je požadovaných celkovo 75 zamestnancov, podieľajúcich sa na evakuačnom procese.

```
1 sets
2 i "riadok kryty a miesta zhromaždenia, stanice" /m1, m2, m3, m4, m5,m6,m7,m8,
3 k101,k102,k103,k104,k105,k106,k107,k108,k115,k118,k119,k120,k121,k122,u1,n2/,
4 i1(i) /u1,n2/,
5 i2(i) /m1,m2,m3,m4,m5,m6,m7,m8,k101,k102,k103,
6 k104,k105,k106,k107,k108,k115,k118,k119,k120,k121,k122/,
7
8 j "stlpec -uzol" /x11, x12, x13, x14,x15,x16,x17,x18,
9 x1101, x1102, x1103, x1104, x1105,x1106,x1107,x1108, x1115, x1118, x1119, x1120, x1121, x1122
10 x21, x22, x23, x24,x25,x26,x27,x28,
11 x2101, x2102, x2103, x2104, x2105,x2106,x2107,x2108, x2115, x2118, x2119, x2120, x2121, x2122/,
12
13 k "zamestnanec" /hasic, zdravotnik, brigadnik/,
14 s / 1 * 3 /;
15 alias(s,s1);
16
17 parameters d(j) "vzdialenost v km "
18 / x11 3.3, x12 1.7, x13 2.0, x14 2.1, x15 2.2,x16 0.45,x17 1.4,x18 2.2,
19 x1101 2.1, x1102 1.2, x1103 1.2, x1104 2.4, x1105 1.5,x1106 1.5,x1107 1.4,
20 x1108 2, x1115 2.8, x1118 2.8, x1119 2.2, x1120 2.2, x1121 2, x1122 2.4
21 x21 1.3, x22 1.8, x23 2.3, x24 1.4,x25 0.85,x26 1.4,x27 2.7,x28 2.9,
22 x2101 1.7, x2102 2.2, x2103 2.2, x2104 1.4, x2105 2.5,x2106 2.4,x2107 2.5 ,
23 x2108 2.9, x2115 0.3, x2118 0.3, x2119 2.9, x2120 2.9, x2121 2, x2122 0.65/,
24
25 b(s) "pozadovane pocty zamestnancov" /1 50, 2 100, 3 75/,
26 p(s) "pravdepodobnosti";
27 p(s) = 1/card(s);
28 p(s) = uniform(0,1);
29 p(s) = p(s)/sum(s1,p(s1));
```

Obr. 32 - GAMS: Rozšířený model zamestnanci (Vlastné spracovanie)

Model zároveň pracuje s podmienkou, určujúcou, že pre každé miesto musí byť pridelený vždy aspoň jeden hasič, zdravotník a brigádnik. Počet zamestnancov jedného typu nesmie byť v danom mieste väčší ako päť zamestnancov. Tieto hranice sú nastavené parametrami $\min_zam(k, i)$ a $\max_zam(k, i)$, uvedenými na Obr. 33.

```

80 parameters
81   c(k) "naklady na zamestnanca"
82   min_zam(k,i) "minimum typu zamestnanca pozadovanoho na kazdom mieste"
83   max_zam(k,i) "maximum typu zamestnanca pozadovanoho na kazdom mieste"
84
85
86 parameter c(k) "naklady na zamestnanca"
87 /hasic 20, zdravotnik 15, brigadnik 10/;
88
89 parameter min_zam(k,i) "minimum typu zamestnanca pozadovanoho na kazdom mieste"
90 /hasic.m1 1, zdravotnik.m1 1, brigadnik.m1 1,
91   hasic.m2 1, zdravotnik.m2 1, brigadnik.m2 1,
92   hasic.m3 1, zdravotnik.m3 1, brigadnik.m3 1,
93   hasic.m4 1, zdravotnik.m4 1, brigadnik.m4 1,
94   hasic.m5 1, zdravotnik.m5 1, brigadnik.m5 1,
95   hasic.m6 1, zdravotnik.m6 1, brigadnik.m6 1,
96   hasic.m7 1, zdravotnik.m7 1, brigadnik.m7 1,
97   hasic.m8 1, zdravotnik.m8 1, brigadnik.m8 1,
98   hasic.k101 1,zdravotnik.k101 1,brigadnik.k101 1,
99   hasic.k102 1,zdravotnik.k102 1,brigadnik.k102 1,
100  hasic.k103 1,zdravotnik.k103 1,brigadnik.k103 1,
101  hasic.k104 1,zdravotnik.k104 1,brigadnik.k104 1,
102  hasic.k105 1,zdravotnik.k105 1,brigadnik.k105 1,
103  hasic.k106 1,zdravotnik.k106 1,brigadnik.k106 1,
104  hasic.k107 1,zdravotnik.k107 1,brigadnik.k107 1,
105  hasic.k108 1,zdravotnik.k108 1,brigadnik.k108 1,
106  hasic.k115 1,zdravotnik.k115 1,brigadnik.k115 1,
107  hasic.k118 1,zdravotnik.k118 1,brigadnik.k118 1,
108  hasic.k119 1,zdravotnik.k119 1,brigadnik.k119 1,
109  hasic.k120 1,zdravotnik.k120 1,brigadnik.k120 1,
110  hasic.k121 1,zdravotnik.k121 1,brigadnik.k121 1,
111  hasic.k122 1,zdravotnik.k122 1,brigadnik.k122 1/;
112
113 parameter max_zam(k,i) "maximum typu zamestnanca pozadovanoho na kazdom mieste"
114 /hasic.m1 5, zdravotnik.m1 5, brigadnik.m1 5,
115   hasic.m2 5, zdravotnik.m2 5, brigadnik.m2 5,
116   hasic.m3 5, zdravotnik.m3 5, brigadnik.m3 5,
117   hasic.m4 5, zdravotnik.m4 5, brigadnik.m4 5,
118   hasic.m5 5, zdravotnik.m5 5, brigadnik.m5 5,
119   hasic.m6 5, zdravotnik.m6 5, brigadnik.m6 5,
120   hasic.m7 5, zdravotnik.m7 5, brigadnik.m7 5,
121   hasic.m8 5, zdravotnik.m8 5, brigadnik.m8 5,
122   hasic.k101 5,zdravotnik.k101 5,brigadnik.k101 5,
123   hasic.k102 5,zdravotnik.k102 5,brigadnik.k102 5,
124   hasic.k103 5,zdravotnik.k103 5,brigadnik.k103 5,
125   hasic.k104 5,zdravotnik.k104 5,brigadnik.k104 5,
126   hasic.k105 5,zdravotnik.k105 5,brigadnik.k105 5,
127   hasic.k106 5,zdravotnik.k106 5,brigadnik.k106 5,
128   hasic.k107 5,zdravotnik.k107 5,brigadnik.k107 5,
129   hasic.k108 5,zdravotnik.k108 5,brigadnik.k108 5,
130   hasic.k115 5,zdravotnik.k115 5,brigadnik.k115 5,
131   hasic.k118 5,zdravotnik.k118 5,brigadnik.k118 5,
132   hasic.k119 5,zdravotnik.k119 5,brigadnik.k119 5,
133   hasic.k120 5,zdravotnik.k120 5,brigadnik.k120 5,
134   hasic.k121 5,zdravotnik.k121 5,brigadnik.k121 5,
135   hasic.k122 5,zdravotnik.k122 5,brigadnik.k122 5/,
136   dolmez(i,k,s),
137   hormez(i,k,s);

```

Obr. 33 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – nastavenie hraníc (Vlastné spracovanie)

Na Obr. 34 je časť zdrojového kódu s účelovou funkciou, ktorá pre daný model bola upravená do tvaru:

$$\text{ucelfce.. z =e= sum((j,k), c(k)*x(j,k)) + sum(s, p(s)* sum((i,k), qp * yp(i,k,s) + qm * ym(i,k,s))) .}$$

Zároveň boli pridané dve obmedzenia:

omez3(i2,k,s)..sum(j, -a(j,i2)*x(j,k)) + yp(i2,k,s) - ym(i2,k,s) =G=dolmez(i2,k,s);

a **omez4(i2,k,s)..sum(j, -a(j,i2)*x(j,k)) + yp(i2,k,s) - ym(i2,k,s) =L=hormez(i2,k,s),**

zabezpečujúce splnenie podmienky, že do každého miesta určenia bude priradený vždy minimálne jeden z každého typu zamestnanca, a že nebude do každého miesta pridelených viac ako päť zamestnancov rovnakého typu.

Pomocou príkazov **dolmez(i,k,s) = round(uniform(min_zam(k,i),min_zam(k,i)+2),0);**

a **hormez(i,k,s) = round(uniform(max_zam(k,i)-1,max_zam(k,i)+1),0);**

dochádza k zaokrúhľovaniu výsledkov pre nastavené hranice.

```
148 scalars
149 qp pri nedostatku zamestnancov / 25 /,
150 qm pri nadbytku zamestnancov / 100 /;;
151
152 equations
153 ucelfce "ucelova funkce"
154 omez1(i,k,s)
155 omez2(i,k,s)
156 omez3(i,k,s)
157 omez4(i,k,s)
158 ;
159 ucelfce.. z =e= sum((j,k),c(k)*x(j,k))
160 + sum(s,p(s)* sum((i,k),qp*yp(i,k,s)+qm* ym(i,k,s)));
161 omez1(i1,k,s)..sum(j, a(j,i1)*x(j,k)) =G= 0;
162 omez2(i1,k,s)..sum(j, a(j,i1)*x(j,k)) =L= 200;
163 omez3(i2,k,s)..sum(j, -a(j,i2)*x(j,k)) + yp(i2,k,s) - ym(i2,k,s) =G=dolmez(i2,k,s);
164 omez4(i2,k,s)..sum(j, -a(j,i2)*x(j,k)) + yp(i2,k,s) - ym(i2,k,s) =L=hormez(i2,k,s);
165
166 dolmez(i,k,s) = round(uniform(min_zam(k,i),min_zam(k,i)+2),0);
167 hormez(i,k,s) = round(uniform(max_zam(k,i)-1,max_zam(k,i)+1),0);
```

Obr. 34 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – rovnice (Vlastné spracovanie)

Pomocou zdrojového kódu uvedeného na Obr. 35 je zabezpečené vyriešenie modelu a výpis získaných výsledkov do textového súboru, pozostávajúceho z dvoch tabuliek poskytujúcich informácie o počte rozmiestnených zamestnancov, ako aj o počte nadbytku zamestnancov pre tri možné scenáre.

Tento rozšírený model v sebe kombinuje oba *wait-and-see* a *here-and-now* prístupy, a tým dochádza k dvojstupňovosti v rozhodovaní pre daný model. V prvom kroku dochádza k stanoveniu potrebného počtu zamestnancov, bez znalosti o počte osôb evakuovaných do jednotlivých úkrytov. Takto stanovené počty zamestnancov sú alokované medzi stanovené zhromaždiská a úkryty tak, aby toto rozmiestnenie bolo najvýhodnejšie pre uvažované scenáre s ohľadom na nasledujúce prípadné nutné doplnenie ďalších zamestnancov a aj s ohľadom na náklady pri vyššom než potrebnom počte pre niektorý scenár.


```

120 model zidenice8 /all/;
121
122 solve zidenice8 using lp minimizing z;
123
124 display s, p, b, qp, qm, z.L, x.L yp.L ym.L;
125
126 file out / "EVAKUACIA08.txt" /; put out;
127 put "VYSLEDKY" /; put "=====" / /;
128 put "Celkove naklady na evakuáciu:", @40 z.L:10:0/ /;
129 put "Naklady pri nadbytku :", @40 qp:10:2/ /; ;
130 put "Naklady pre nedostatocneho:", @40 qm:10:2/ /; ;
131 put/;
132 put/;
133
134 put "TABULKA VYSLEDKOV – POCET ZAMESTNANCOV" /;
135 put "=====" /;
136
137 put @24; loop(k, put k.TL:20; ); put /;
138 put /;
139 put "-----" /;
140 loop(j, put j.TL:8:0;
141 loop(k,
142 put x.L(j,k):20:0;
143 ); put /;
144 );
145
146 put /;
147 put "-----" /;
148
149 put /;
150 put /;
151
152 put "TABULKA VYSLEDKOV – Nadbytok ZAMESTNANCOV" /;
153 put "=====" /;
154
155
156 put "miesto ", " zamestnanec", @24; loop(s, put "Scenar ", s.TL:3; ); put /;
157 put "-----" /;
158 loop(i2,
159 loop(k, put i2.TL:8, k.TL:10,
160 loop(s, put yp.L(i2,k,s):10:0;
161 ); put /;
162 );
163 );
164

```

Obr. 35 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie)

Získané výsledky pre rozšírený model zamestnancov sú uvedené na Obr. 36 a Obr. 37. Z výsledkov na Obr. 36 je jasné, že je využívané pre rozmiestnenie zamestnancov len prvé stanovište, ktorým je mestský úrad. Model nie je obmedzený v tom, koľko zamestnancov je k dispozícii na mieste mestského úradu, a teda pre dané vzdialenosti je alokovanie z tohto miesta menej nákladné v porovnaní so vzdialenejšou nemocnicou. Podmienka určujúca minimálny a maximálne počet zdravotníkov na zhromaždiskách a v stálych úkrytoch je splnená. Výsledky je možné interpretovať nasledujúcim spôsobom. Na mieste zhromaždenia č.1 sú pridelení jeden hasič, 2 zdravotníci a 3 brigádnici. K zabezpečeniu evakuácie v úkryte č.1 je k pridelený jeden hasič, jeden zdravotník a 2 brigádnici. Najmenší počet, a zároveň minimálny

možný počet je pridelený na zhromaždisko č.7. Do úkrytu č.4 je pridelených celkovo až 7 zamestnancov. Kompletné výsledky sú k dispozícii k nahliadnutiu na Obr. 36.

TABULKA VYSLEDKOV – POČET ZAMESTNANCOV

	hasic	zdravotnik	brigadnik
x11	1	2	3
x12	1	1	2
x13	1	2	3
x14	1	2	2
x15	1	1	2
x16	2	2	1
x17	1	1	1
x18	2	1	3
x1101	1	1	2
x1102	1	2	2
x1103	2	1	1
x1104	2	2	3
x1105	2	2	2
x1106	2	1	2
x1107	2	2	2
x1108	1	2	2
x1115	1	1	2
x1118	1	2	1
x1119	1	1	2
x1120	2	1	1
x1121	2	1	2
x1122	1	2	2
x21	0	0	0
x22	0	0	0
x23	0	0	0
x24	0	0	0
x25	0	0	0
x26	0	0	0
x27	0	0	0
x28	0	0	0
x2101	0	0	0
x2102	0	0	0
x2103	0	0	0
x2104	0	0	0
x2105	0	0	0
x2106	0	0	0
x2107	0	0	0
x2108	0	0	0
x2115	0	0	0
x2118	0	0	0
x2119	0	0	0
x2120	0	0	0
x2121	0	0	0
x2122	0	0	0

Obr. 36 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – výsledky (Vlastné spracovanie)

Obr. 37 obsahuje zároveň počet pridelených zamestnancov nad rámec požiadavku. Prvý stĺpec je tvorený kombináciou miesta a typu zamestnanca v nadbytku. Zvyšné tri stĺpce sú tri možné scenáre požiadaviek. Zobrazené výsledky je možné interpretovať nasledovne. Pre druhý scenár je v mieste zhromaždenia č.1 v nadbytku jeden hasič a jeden zdravotník.

Pre prvý scenár je v mieste zhromaždenia č.1 v nadbytku iba jeden hasič, pričom pre tretí scenár nie je v danom mieste zhromaždenia v nadbytku žiaden zamestnanec. Pri rozhodovaní vopred prostredníctvom popísaného *here-and-now* prístupom totižto nie je známy počet ľudí v úkrytoch, a teda k základnému rozmiesteniu zamestnancov dochádza pred realizáciou náhodných parametrov.

	1	2	3
m1 .hasic	1.000	1.000	
m1 .zdravotnik		1.000	
m2 .hasic	2.000	2.000	
m2 .zdravotnik	1.000		1.000
m3 .hasic	1.000		
m3 .zdravotnik		1.000	
m4 .hasic		1.000	
m4 .zdravotnik	1.000		
m5 .hasic	1.000	1.000	
m5 .zdravotnik	1.000		1.000
m6 .hasic	1.000		
m6 .zdravotnik	1.000		
m6 .brigadnik			1.000
m7 .hasic	1.000		2.000
m7 .zdravotnik			1.000
m7 .brigadnik	2.000		
m8 .zdravotnik	1.000		
k101.hasic	2.000	1.000	
k101.zdravotnik	1.000		
k102.hasic			1.000
k102.zdravotnik			1.000
k102.brigadnik	1.000		
k103.hasic	1.000		1.000
k103.zdravotnik		1.000	
k103.brigadnik	1.000		
k105.zdravotnik		1.000	
k106.zdravotnik			1.000
k106.brigadnik			1.000
k107.hasic	1.000		
k108.hasic	1.000		2.000
k108.zdravotnik			1.000
k108.brigadnik	1.000		
k115.hasic			1.000
k115.zdravotnik	1.000		
k118.hasic	2.000		1.000
k118.zdravotnik		1.000	
k118.brigadnik	2.000		
k119.hasic		1.000	
k119.zdravotnik	1.000		1.000
k119.brigadnik	1.000		
k120.zdravotnik	2.000		
k121.hasic		1.000	
k121.zdravotnik			2.000
k122.hasic	1.000		1.000
k122.zdravotnik		1.000	
k122.brigadnik			1.000

Obr. 37 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – výsledky nadbytok zamestnancov (Vlastné spracovanie)

6 DISKUSIA

Kapitola obsahuje porovnanie výsledkov analýz rizík za využitia FMEA metódy. Diskutované sú dosiahnuté výsledky optimalizácie, ktoré sú graficky zapracované do máp.

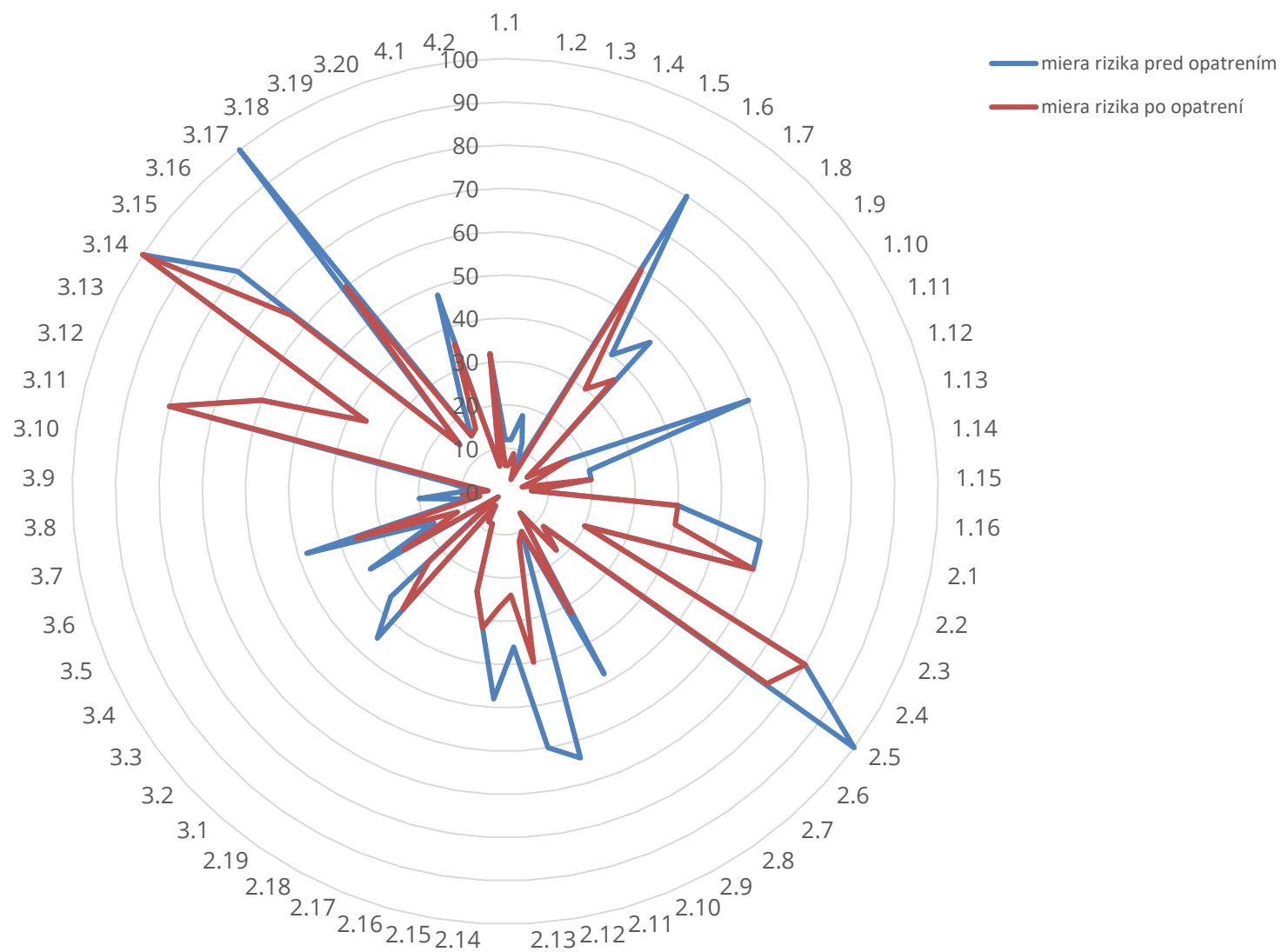
6.1 ANALÝZA RIZÍK

Analýza rizík pozostávala s kombinácie použitých metód s cieľom deduktívneho stanovenia najkritickejších zložiek systému ochrany obyvateľstva.

Prvky boli stanovené za využitia zobrazenia blokovým diagramom, matice príčin a následkov. Paretoovou analýzou boli stanovené najdôležitejšie prvky systému, ktoré boli opäť graficky zobrazené v diagrame príčin a následkov. Pre takto identifikované zložky bola využitá metóda FMEA, pre identifikovanie možných väd, formuláciu scenárov a kvantifikovanie miery rizika jednotlivých scenárov.

Celkovo FMEA analýzy obsahuje 68 možných scenárov väd, použitých k modelovaniu situácií pre optimalizačné modely. Miera rizika bola stanovená pred opatreniami a po navrhnutí preventívnych opatrení. Vytvorené scenáre, pre kritické prvky systému ochrany obyvateľstva a stanovená miera rizika, boli konzultované a hodnotené s odborníkom a zároveň príslušníkom HZS *Jihomoravského kraje s Oddělení ochrany obyvatelstva a krizového řízení*.

Celkovú hodnotu miery rizika je možné celkovo znížiť u 30 scenárov, a to z celkovej hodnoty miery rizika 2274 na hodnotu 1822. Graf 3 obsahuje znázornenie miery rizika pred a po zavedení preventívnych opatrení pre jednotlivé scenáre väd. Pre scenáre, kde nebola znížená miera rizika, dochádza v Grafe 3 k prekrytiu čiar vyjadrujúcich mieru rizika pred a po zavedení opatrení.



Graf 3 - Miera rizika pred a po zavedení opatrení

6.1.1 Odporúčania

Predložená analýza rizík sa snažila čo najviac využiť dostupné znalosti a názor odborníka, pre stanovovanie miery rizika, ako aj návrhu možných preventívnych opatrení. Matematické modelovanie bolo zvolené s cieľom ošetriť vysokú zvyškovú mieru rizika u scenárov, kde nebolo možné jasne a jednoducho formulovať možné preventívne opatrenia. Preto po zostavení matematických modelov je možné znovu navrhnúť nové spôsoby opatrení, a opäť stanoviť výpočtom novú mieru rizika, ktorá je nižšia ako pred optimalizáciu najrizikovejších scenárov. Miera rizika po navrhnutí odporúčaných opatrení je stále stanovená na vysokú hodnotu u troch scenárov, kde nebolo možné hodnotu znížiť.

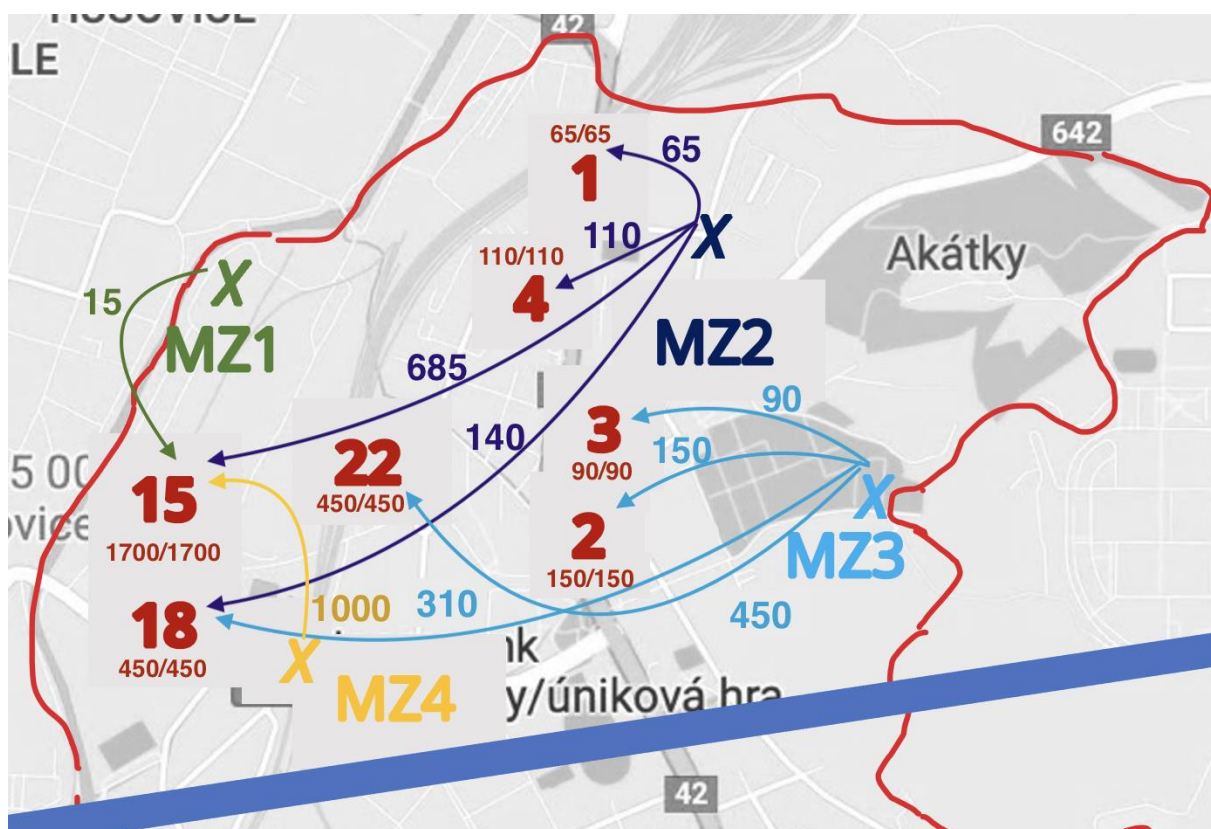
Do budúca je možné rizikový scenár 2.4 ošetriť vypracovaním detailného plánu stálych úkrytov, s dostatočnou kapacitou miest. Scenár 3.11 s výslednou hodnotou 80 v miere rizika, kedy sa pracuje s možnosťou, že improvizovaný úkryt nespĺňa základné požiadavky si vyžaduje pomerne komplexný rozbor problému a návrh opatrenia, umožňujúci rýchlu a správnu kontrolu improvizovaného úkrytu. Rovnaké riešenie sa ponúka pre scenár vady 3.14, kedy pri vypuknutí mimoriadnej udalosti nie je možné zvolenie vhodnej budovy. Možné pre ošetrenie tejto vady je využitie stálych úkrytov, pričom ich rozmiestnenie a kapacity budú súčasťou vypracovaného plánu, ktorý je navrhnutý ako opatrenie pre scenár 2.4.

6.2 OPTIMALIZÁCIA

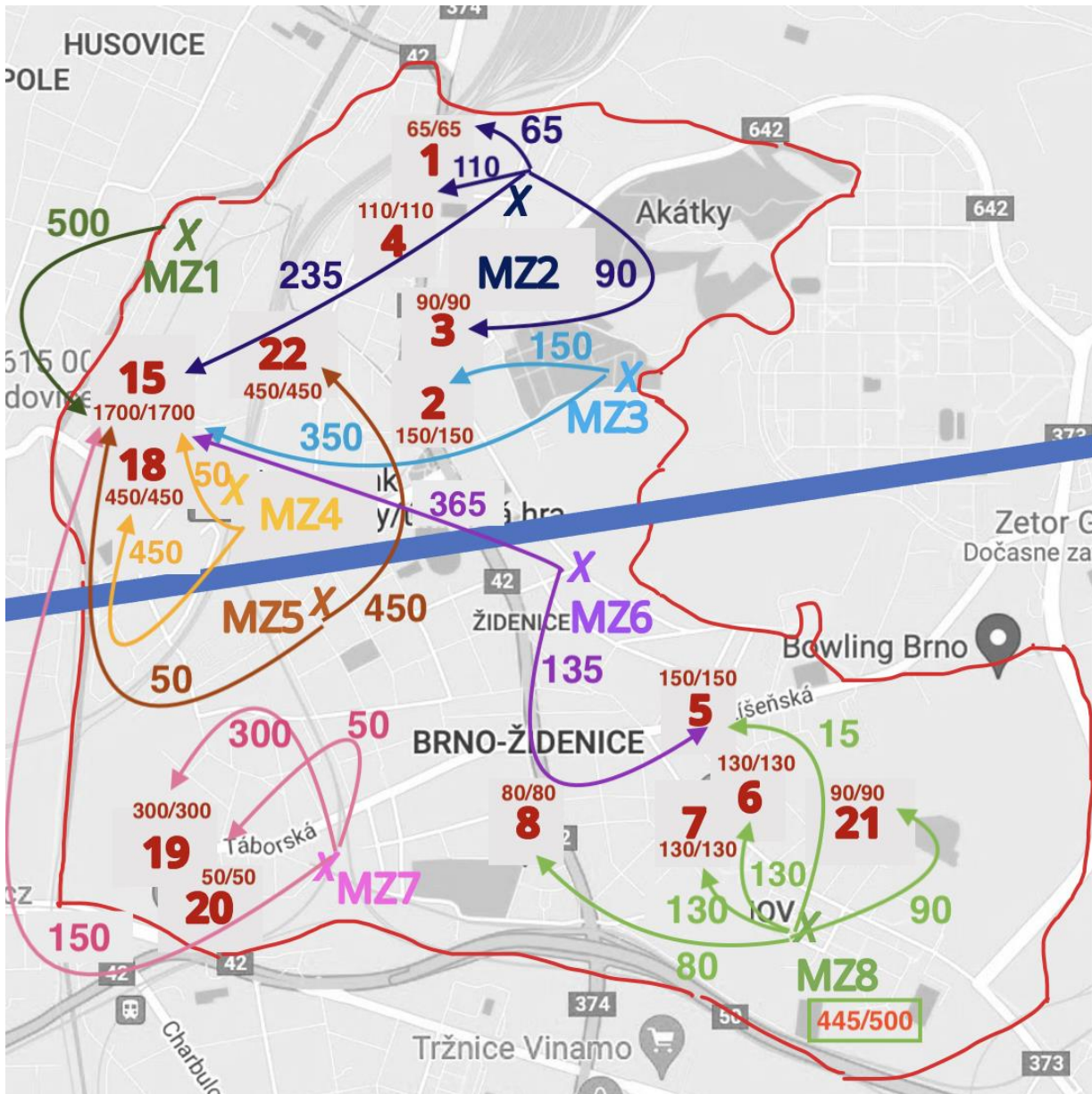
Pomocou optimalizačného softwaru GAMS bol zostavený na základe výsledkov analýzy rizík základný matematický model, modifikovaný pre riešenie stanovených situácií. Výsledky modelov sú pre ich jasnejšie zhodnotenie v tejto kapitole graficky zobrazené v mape.

Základný model

Výsledná alokácia evakuovaných osôb pre základný model operujúci s polovicou mestskej časti Brno-Židenice je znázornená na Obr. 38. Obr. 39 znázorňuje alokáciu základného modelu pre celú mestskú časť. V malých dátach bola zvolená kapacita zhromažďísk až 1 000 osôb pre jedno zhromažďisko, v prípade veľkých dát bola návštevnosť zhromažďísk zvolená polovičná. Pre malé dáta je najmenej využívané zhromažďisko č.1, z ktorého je evakuovaných celkovo iba 15 osôb. V prípade veľkého dátového súboru zostávajú neevakuovaní obyvatelia zo zhromažďiska č.8. Pre veľké dáta je uprednostnené naplnenie kapacity úkrytu č.3 z miesta zhromažďiska č.2, kedy pri malých dátach je tento úkryt obsadzovaný osobami z miesta zhromažďiska č.3. To má za následok zmenu v počte osôb, posielaných z tohto zhromažďiska do kapacitne najväčšieho úkrytu č.15.



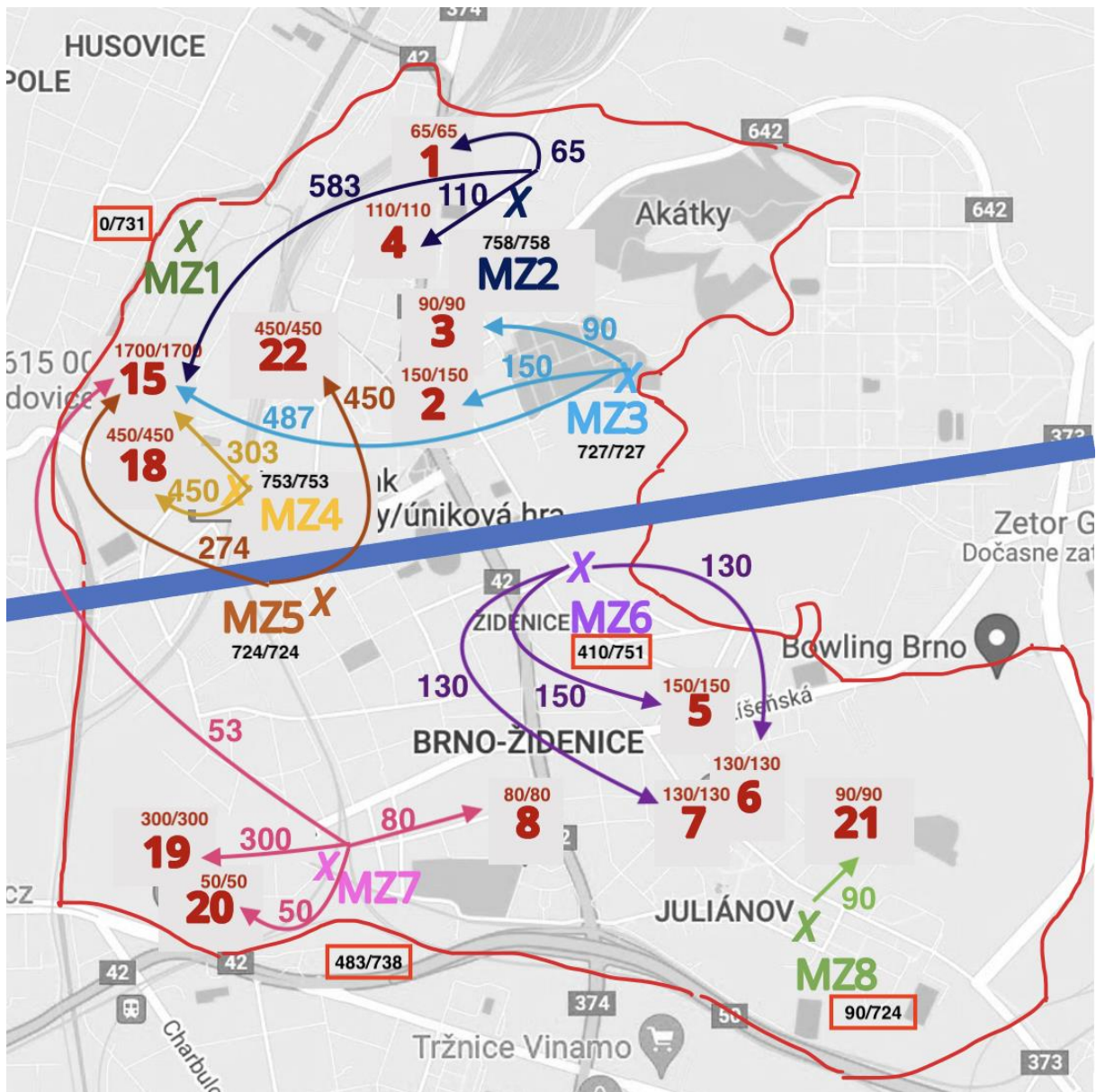
Obr. 38 - GAMS: Základný model malý dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie)



Obr. 39 - GAMS: Základný model veľký dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie)

Ďalšiu úvahu spojenú s výsledkom nevyužitej kapacity zhromaždiska č.8 je tiež možné formulovať, ako dôvod, že všetky štyri zásobené úkryty majú v porovnaní so zvyšnými menšie kapacity.

Pre veľké dáta dochádza pri všetkých zhromaždiskách k rozloženiu osôb minimálne medzi dva úkryty, s výnimkou miesta zhromaždiska č.1, ktoré je celé evakuované do úkrytu č.15. V tomto prípade je podľa informácií v kapitole 2.5.2, odporúčané využiť možnosť zlúčiť evakuačné a prijímacie stredisko. To znamená, že miesto zhromaždiska môže byť v pláne stanovené priamo v mieste úkrytu.

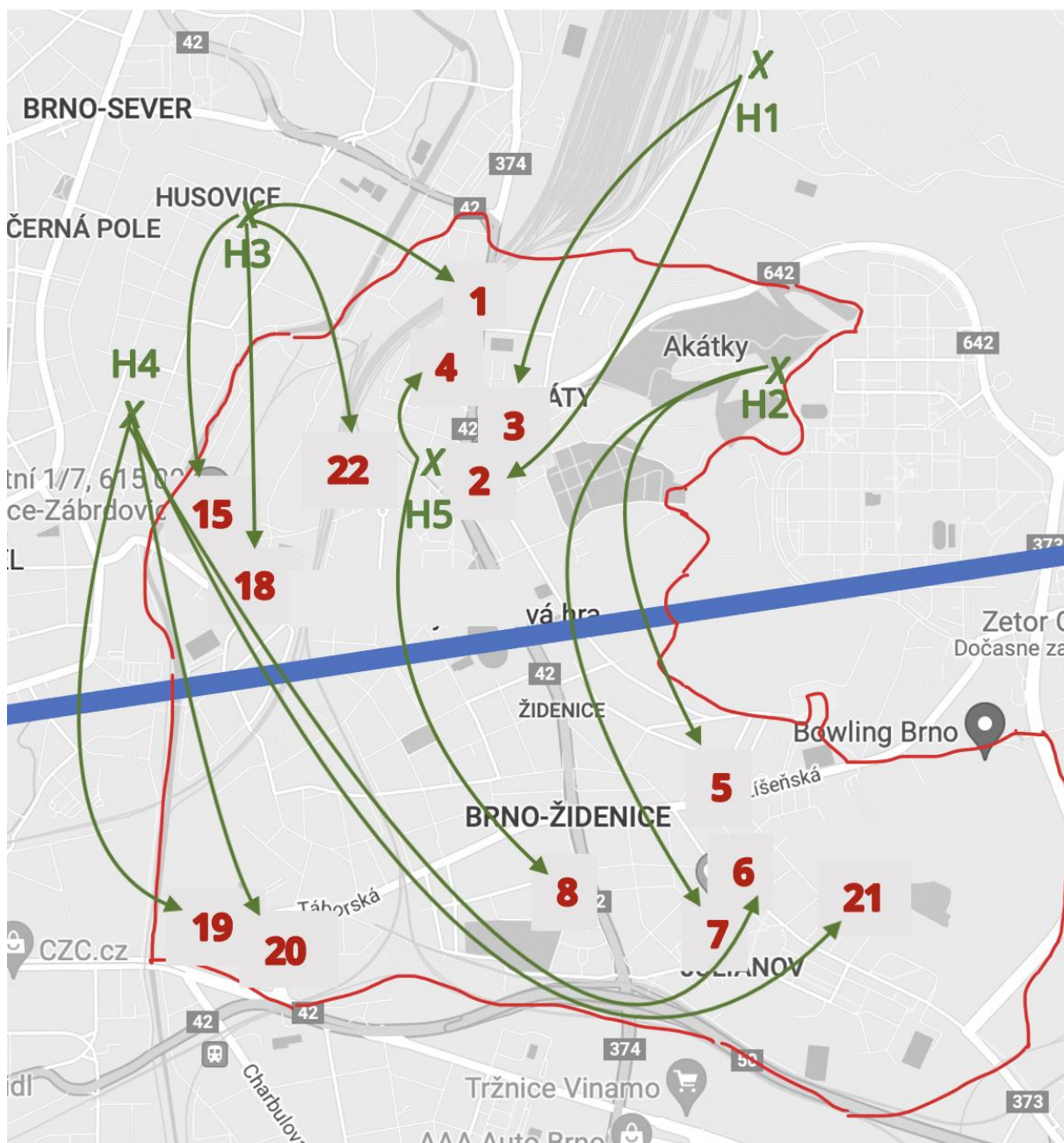


Obr. 41 - GAMS: Model náhodných kapacít veľký dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie)

Z dôvodu veľkého počtu osôb, na ôsmich stanovených zhromaždiškách a obmedzených miest v úkrytoch, nie je možné evakuovať plné počty obyvateľov zo 4 zhromaždišiek. Evakuované sú všetky osoby zo zhromaždišiek č.2, č.3, č.4 a č.5. Pre veľký dátový súbor graficky znázornený na mape na Obr. 41, zo zhromaždiška č. 1 nedochádza k evakuovaniu. Zo zvyšných troch zhromaždišiek dochádza iba k čiastočnej evakuácii obyvateľov.

Zásobovanie vodou

Výsledky modelu zásobovania úkrytov pitnou vodou a rozmiestnenie dostupných cisterien sú zobrazené v mape na Obr. 42. Celkovo sa v oblasti mestskej časti Brno-Židenice nachádza päť hasičských staníc. Pre účely diplomovej práce bol počet dostupných cisterien stanovený náhodne. Takto zostrojený model, však je možné po zistení skutočných počtov dostupných cisterien pomerne jednoducho a rýchlo upraviť, tak aby zodpovedal skutočnosti.



Obr. 42 - GAMS: Zásobenie vodou – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie)

Z mapy jasne vyplýva, že všetky hasičské stanice sa nachádzajú v jej hornej časti, a sú značne vzdialené od úkrytov nachádzajúci sa pod modrou čiarou na Obr. 42. Práve rozloženie hasičských staníc a úkrytov, vedie k tomu, že hodnota účelovej funkcie, vyjadrujúca minimálny možný čas tohto rozmiestnenia, je tak vysoká.

Zamestnanci

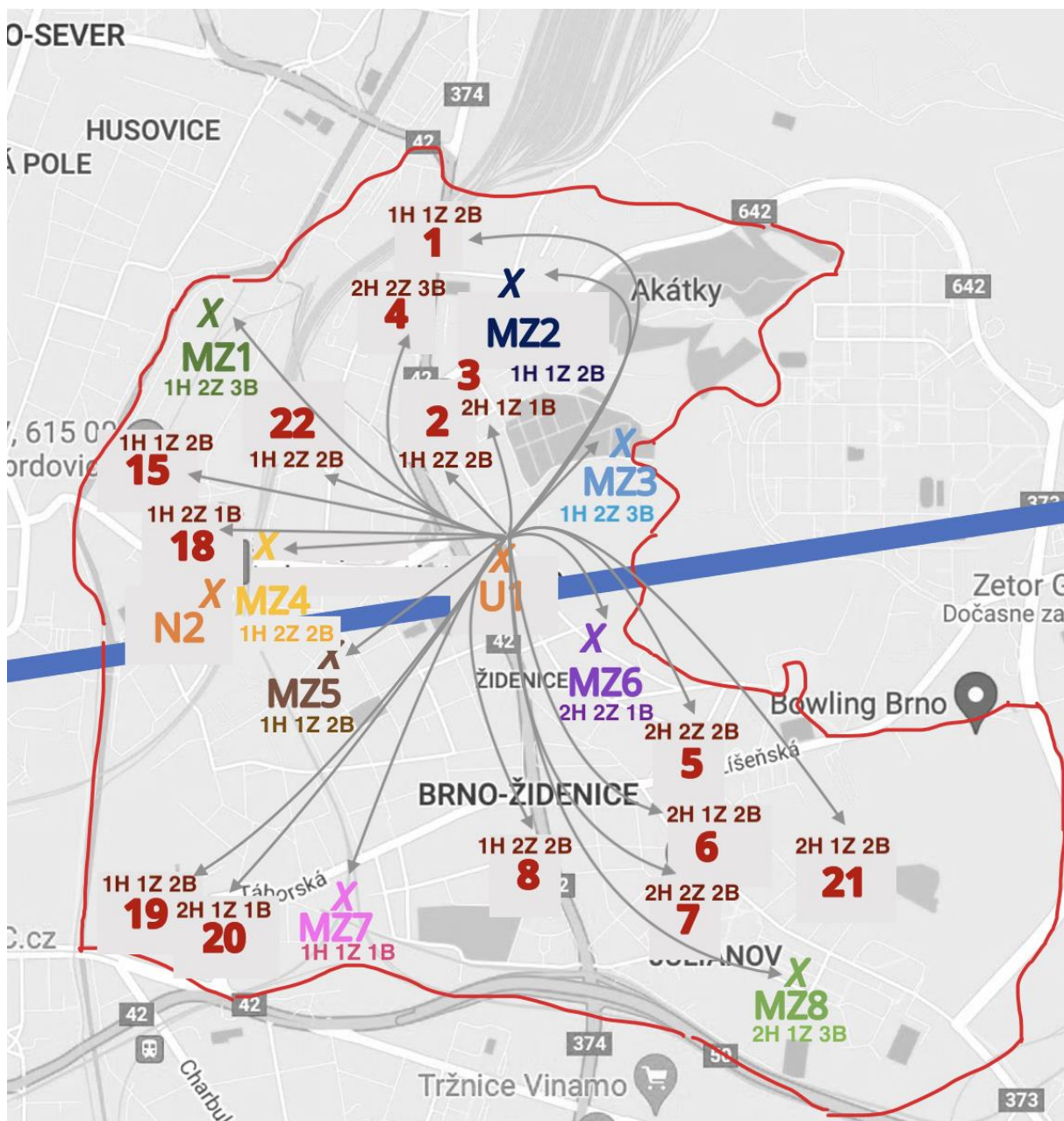
Za optimálne bolo pri súčasnom nastavení modelu stanovených celkovo 90 zamestnancov, kedy pri pôvodných požiadavkách prvého scenáru s počtom 50 a pre druhý scenár s počtom 75 dochádza k navýšeniu počtu zamestnancov, podieľajúcich na evakuácií, keďže náklady spojené s nadbytkom zamestnanca sú výrazne nižšie, ako v prípade keď je zamestnancov nedostatok. Pre všetky tri scenáre je optimálne zloženie zamestnancov v podobe 15 hasičov, 65 brigádnikov a 10 zdravotníkov. Daný model je možné v praxi využiť k analýze historických dát, o počte potrebných zamestnancov jednotlivých zložiek k riešeniu daného typu krízovej situácie, a tým stanoviť optimálne zloženie zásahu pre riešenie budúcich situácií.

Rozšírený model zamestnanci

Na Obr. 43 je graficky znázornené rozmiestnenie požadovaného počtu zamestnancov, kedy bola stanovená podmienka, že pre každé miesto zhromaždenia i úkrytu, nesmie byť priradených viac ako päť zamestnancov rovnakého typu, a zároveň, každé miesto musí mať vždy z každého typu minimálne jedného zamestnanca. Na Obr. 33, ktorý obsahuje časť zdrojového kódu, sú tieto podmienky rozpísané pre každý stanovený bod, tak aby v prípade zmeny, mohla byť podmienka aj čiastočne upravená.

Boli zvolené dve možné miesta, z kadiaľ by v prípade vypuknutia mimoriadnej udalosti dochádzalo k jej riadeniu v rámci mestskej časti. Z výsledkov vyplýva, že pri možnosti dvoch miest, kde by zasadal krízový štáb, a z ktorého sú následne zamestnanci alokovaný na svoje pracovné stanovišťa sa javí práve lepšou voľbou mestský úrad. Keďže model nie je obmedzený celkovým počtom dostupných zamestnancov v bode U1 a N2, je výhodnejšie rozmiestnenie zamestnancov zo stanovišťa U1.

Celkovo je rozmiestnených 112 zamestnancov medzi 14 úkrytov a 8 miest zhromaždišiek. Na procesoch organizácie a riadenia evakuácie sa pritom podieľa 32 hasičov, 35 zdravotníkov a 45 brigádnikov.



Obr. 43 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie)

6.2.2 Odporúčania

Pre základný model veľkých dát boli v plnom počte evakuované osoby zo siedmich navrhnutých miest zhromažďísk. Za najmenej využívané zhromažďisko je možné označiť zhromažďisko č.8, ktoré je do budúcnosti odporúčané pri zachovaní rozloženia stálych úkrytov, umiestniť na inú pozíciu. Pre základný model malých dát bolo za najmenej využívané zhromažďisko č.1, ktoré ale v prípade veľkých dát je výhodnejšie ako zhromažďisko č.8. Do budúcnosti je potreba zvážiť stav a kapacity stálych úkrytov, a navrhnúť nové miesta pre vybudovanie a zriadenie úkrytov tak, aby kapacita miest v úkrytoch prevyšovala počet obyvateľov mestskej časti.

Ako bolo zmienené vyššie, je možné predpokladať, že kapacita miesta zhromaždenia č.8 nie je plne využitá z dôvodu menších kapacít štyroch úkrytov. Po kontrole stavu daných úkrytov, je možné rozšíriť miesta v úkrytoch, a tak zabezpečiť evakuovanie všetkých osôb zo zhromaždiska č.8.

Pre náhodný model celej mestskej časti dochádza k čiastočnému evakuovaniu osôb z troch z navrhnutých ôsmich zhromaždisk. Z miesta zhromaždenia č.1 nedochádza k evakuácií vôbec. Pri vypracovaní evakuačného plánu je opäť na zvážení umiestnenie tohto zhromaždiska.

V praktickom využití môže tento návrh alokácie osôb vyvolávať množstvo morálnych otázok, ako aj z pohľadu nákladov a riadenia sa nemusí jednať o najvhodnejšie riešenie. Pri vzniku situácie, vyžadujúcej ukrytie musí existovať dostatok miest v úkrytoch. Model by mohol byť modifikovaný tak, aby bol minimalizovaný počet jász autobusov, slúžiacich k preprave, keďže pri nákladoch zohráva rolu aj fakt, že je ekonomické prepravovať čo najviac plné autobusy osôb, a nie využívať dopravné prostriedky k prevezeniu iba siedmich osôb, tak ako v prípade malých dát náhodného modelu.

Zostrojený model slúžiaci k zásobeniu úkrytov pitnou vodou je jednoduchou, ale pritom využiteľnou aplikáciou priradzovacieho problému. Tento model je do budúca možné rozširovať a postupne do neho zanášať ďalšiu náhodnosť tak, aby čo najviac odrážal skutočnosť. Zároveň predložený model poskytuje slušný základ pre modelovanie zásobovania úkrytov potrebným materiálom a potravinami.

Model zamestnancov slúži k optimálnemu stanoveniu počtu zamestnancov na základe výdavkov spojených jednak s nákladom na samotného zamestnanca a s nákladom penalizácie, ak je zamestnancov nedostatok, čo predlžuje samotný čas evakuácie. Model pracuje s tromi základnými typmi zamestnancov, pričom je hľadané optimálne riešenie z troch navrhnutých scenárov. Model je zostavený obecné, tak aby jeho jednoduchou modifikáciou bolo možné učiť rýchle a kvalitné rozhodnutie, o tom, koľko zamestnancov pre každý útvar je potrebných pre riešenie krízovej situácie.

Rozšírený model alokácie zamestnancov poslužil k stanoveniu vhodného počiatočného stanovišťa, kedy bude v prípade mimoriadnej udalosti potrebné personálne zabezpečiť proces evakuácie a vybaviť všetky počiatočné zhromaždiská a úkryty dostatočným počtom zamestnancov. Do budúca je model opäť možné rozšíriť tak, že budú doplnené maximálne možné dostupné kapacity zamestnancov v počiatočných stanovištiach, s ktorými momentálne model neoperuje, a práve preto sú všetci zamestnanci alokovaný iba z jedného bodu. Avšak, model v predloženom stave ponúka naozaj pomerne rýchlu a kvalitnú alternatívu k súčasne používanému alokovaniu bezpečnostných zložiek prostredníctvom tabuľkového formuláru.

7 ZÁVER

Predložená diplomová práca sa venuje identifikácii základných zložiek systému ochrany obyvateľstva a modelovaniu vybraných situácií za využitia optimalizácie a stochastického lineárneho programovania. V analýze rizík boli použité metódy blokového diagramu, matice príčin a následkov, diagram príčin a následkov, Paretova analýza. Ťažiskom analýzy rizík je metóda FMEA, obsahujúca detailný zoznam možných rizikových scenárov pre kritické identifikované prvky systému. Pre výpočet zostavených modelov bol používaný program GAMS.

Aj napriek tomu, že v stochastických modeloch a modeloch operujúcich s návrhom zásobovania rozmiestenia zamestnancov nie je pracované s reálnymi dátami, tieto modely sú zostavené všeobecne tak, aby po jednoduchom dodaní potrebných informácií pre jednotlivé premenné boli získané kvalitné, logicky správne a použiteľné výsledky. Zostrojený základný model a model alokácie zamestnancov je možné využiť k určeniu vhodných miest zhromažďísk a miest, vhodných ako východzí bod v riadení evakuačných procesov.

Ako bolo priblížené v popise súčasnej aplikácie a využívania stochastickej optimalizácie v krízovom riadení v kapitole súčasného poznania, pri humanitárnom využití je viditeľný zásadný rozdiel v podmienkach alokačného problému. Pri komerčnom využití s cieľom minimalizácie nákladov je bežné, že niektoré kapacity je výhodné nevyužívať. V modeloch krízového riadenia, kedy je navrhnuté z dôvodu zníženia celkových nákladov spojených s evakuáciou, miesta v úkrytoch nechať prázdne, nastaviť obmedzenia tak, aby boli kapacity vždy naplnené.

Predložené a diskutované modely je do budúca možné rozširovať o ďalšie premenné a modifikovať pre rôzne situácie. Takto zostrojené a prezentované modely uľahčujú a urýchľujú samotné procesy krízového riadenia a prinášajú nové možné spôsoby prípravy, prevencie vzniku krízovej situácie a najmä zabezpečujú spôsob reakcie na vzniknutú situáciu, čo vedie k skvalitneniu a modernizácii krízového riadenia a jeho posunu na úroveň moderného, funkčného a pripraveného systému.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ČSN ISO 31000 (010351) Risk Management - Guidelines. Svýcarsko: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/> .
- [2] TICHÝ, Milík, 2006. Ovládání rizika: analýza a management. V Praze: C.H. Beck. Beckova edice ekonomie. ISBN 80-717-9415-5.
- [3] YOE, Charles E., [2019]. *Principles of risk analysis: decision making under uncertainty*. Second edition. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1138478206.
- [4] TCHANKOVA, Lubka, 2002. Risk identification – basic stage in risk management. *Environmental Management and Health*. **13**(3), 290-297. ISSN 0956-6163. Dostupné z: doi:10.1108/09566160210431088
- [5] SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS, 2013. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-802-4746-449.
- [6] ČSN EN 31010 (010352) Management rizik - Techniky posuzování rizik. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: , 2011
- [7] PAULUS, František, Antonín KRÖMER, Jan PETR a Jaroslav ČERNÝ, 2015. ANALÝZA HROZEB PRO ČESKOU REPUBLIKU: ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA. Praha.
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ POD VEDENÍM MINISTERSTVA ZAHRANIČNÍCH VĚCÍ ČR, 2015. Bezpečnostní strategie České republiky. Praha: Ministerstvo zahraničních věcí České republiky. ISBN 978-80-7441-005-5.
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ, 2015. OCHRANA OBYVATELSTVA A KRIZOVÉ ŘÍZENÍ: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. Praha: MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86466-62-0.
- [10] Zákon č. 240/2000 Sb.: Zákon o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), 2000. In: . 73/2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-240>
- [11] Ústavní zákon č. 110/1998 Sb.: Ústavní zákon o bezpečnosti České republiky, 1998. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 39, s. 5386. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-110>
- [12] Ústavní zákon č. 1/1993 Sb.: Ústava České republiky, 1998. In: Sbírka zákonů České republiky. 1/1993. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1993-1>
- [13] *Nařízení vlády č. 432/2010 Sb.: Nařízení vlády o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury*. In: Částka 149/2010.
- [14] *Metodika zpracování krizových plánů podle § 15 až 16 nařízení vlády č. 462/2000 Sb., k provedení § 27 odst. 8 a § 28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), ve znění pozdějších předpisů.*

- [15] Koncepce ochrany obyvatelstva: do roku 2020 s výhledem do roku 2030, 2013. PRAHA: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. ISBN 978-80-86466-50-7.
- [16] SMETANA, Marek a Danuše KRATOCHVÍLOVÁ, 2007. *Integrovaný záchranný systém a jeho složky*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-807-3683-375.
- [17] Vilášek, J., Krizové řízení v ČR na počátku 21. století, Karolinum, 2012
- [18] KONCEPCE OCHRANY OBYVATELSTVA: do roku 2025 s výhledem do roku 2030, Připravený občan. Připravený systém., 2020
- [19] ŘEHÁK, David a Libor FOLWARCZNY, 2012. Východiska technického a organizačního zabezpečení ochrany obyvatelstva. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-117-0.
- [20] Zásady dalšího rozvoje jednotného systému varování a informování obyvatelstva v České republice po roce 2010, 2010. PRAHA: Ministerstvo vnitra Generální ředitelství HZS ČR.
- [21] KRATOCHVÍLOVÁ, Danuše. *Ochrana obyvatelstva*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. SPBI Spektrum. Červená řada, 42. ISBN 80-86634-70-1
- [22] *Zákon č. 239/2000 Sb.: Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů*. In: . Částka 73/2000.
- [23] *ČSN 73 9050 (739050): Údržba stálých úkrytů civilní ochrany*. In: . 07/2004.
- [24] SBÍRKA: INTERNÍCH AKTŮ ŘÍZENÍ GENERÁLNÍHO ŘEDITELE HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY, 2010. PRAHA.
- [25] Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Ubytování evakuovaných osob Nouzové ubytování, 2017. Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky.
- [26] Zákon č. 241 ze dne 29. června 2000 o hospodářských opatřeních pro krizové stavy a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 73, s. 3488
- [27] Metodický pokyn Ministerstva zemědělství čj.102598/2011-MZE-15000 ze dne 30. 5. 2011 k zajištění jednotného postupu orgánů krajů, hlavního města Prahy, orgánů obcí a městských částí v hlavním městě Praze k zajištění nouzového zásobování obyvatelstva pitnou vodou při mimořádných událostech a za krizových stavů Službou nouzového zásobování vodou. In: *Věstník vlády pro orgány krajů a orgány obcí*. Ministerstvo vnitra. 2011, roč. 9, částka 3 ze dne 20. června 2011
- [28] KLAPKA, Jindřich, J. DVOŘÁK a P. POPELA, 2001. *Metody operačního výzkumu*. Vyd. 2. Brno: VUTIUM. ISBN 80-214-1839-7.

- [29] KALL, Peter a Stein W. WALLACE, 1994. *Stochastic Programming*. Chichester: Wiley. ISBN 04-719-5108-0.
- [30] WERNER, Jochen. *Optimization Theory and Applications*. 1984. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-322-84035-6
- [31] SPALL, James C., Stacy D. HILL a David R. STARK, 2006. *Theoretical Framework for Comparing Several Stochastic Optimization Approaches. Probabilistic and Randomized Methods for Design under Uncertainty*. London: Springer-Verlag, 99-117. ISBN 1-84628-094-X. Dostupné z: doi:10.1007/1-84628-095-8_3
- [32] GRIVA, Igor, Stephen NASH a Ariela SOFER, c2009. *Linear and nonlinear optimization*. 2nd ed. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. ISBN 978-0-898716-61-0.
- [33] HANNAH, Lauren A., 2014. *Stochastic Optimization*.
- [34] BECK, Yasmine, Ivana LJUBIĆ a Martin SCHMIDT, 2023. A survey on bilevel optimization under uncertainty. *European Journal of Operational Research*. ISSN 03772217. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejor.2023.01.008
- [35] WETS, Roger J-B., 2002. *Stochastic Programming Models: Wait-and-See Versus Here-and-Now. Decision Making Under Uncertainty*. New York, NY: Springer New York, 2002, 1-15. The IMA Volumes in Mathematics and its Applications. ISBN 978-1-4419-3014-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4684-9256-9_1
- [36] ROSENTHAL, Richard E. *GAMS: A User's Guide* [online]. GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA, 2007 [cit. 2023-05-06].
Dostupné z: https://www.un.org/en/development/desa/policy/mdg_workshops/training_material/gams_users_guide.pdf
- [37] *Quick Start Tutorial* [online]. [cit. 2023-05-06].
Dostupné z: https://www.gams.com/latest/docs/UG_TutorialQuickstart.html
- [38] GRASS, Emilia a Kathrin FISCHER, 2016. Two-stage stochastic programming in disaster management: A literature survey. *Surveys in Operations Research and Management Science*. **21**(2), 85-100. ISSN 18767354. Dostupné z: doi:10.1016/j.sorms.2016.11.002
- [39] METE, Huseyin Onur a Zelda B. ZABINSKY, 2010. Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*. **126**(1), 76-84. ISSN 09255273. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.004
- [40] JIA, Hongzhong, Fernando ORDÓÑEZ a Maged DESSOUKY, 2007. A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE Transactions*. **39**(1), 41-55. ISSN 0740-817X. Dostupné z: doi:10.1080/07408170500539113

- [41] TZENG, Gwo-Hshiung, Hsin-Jung CHENG a Tsung Dow HUANG, 2007. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. **43**(6), 673-686. ISSN 13665545. Dostupné z: doi:10.1016/j.tre.2006.10.012
- [42] NISE, Norman S., [2019]. *Control systems engineering*. Eighth edition. Hoboken, NJ: Wiley. ISBN 978-1-119-47422-7.
- [43] *What is a Cause and Effect Matrix?* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://sixsigmadsi.com/cause-and-effect-matrix/>
- [44] Dunford. R., Su, Q., and Tamang, E. (2014) 'The Pareto Principle', *The Plymouth Student Scientist*, 7(1), p. 140-148.
- [45] ILIE, Gheorghe a Carmen Nadia CIOCOIU. APPLICATION OF FISHBONE DIAGRAM TO DETERMINE THE RISK OF AN EVENT WITH MULTIPLE CAUSES. *MANAGEMENT RESEARCH AND PRACTICE Vol. 2 Issue 1 (2010) p: 1-20* [online]. [cit. 2023-05-06]. ISSN 2067- 2462.
- [46] Brno-Židenice [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/9936/brno-zidenice/pocet-obyvatel/>

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 - Identifikované nebezpečenstvá z analýzy hrozieb [7]	21
Tabuľka 2 - Hodnotiaca stupnica pre dôležitosť strategického cieľu (Vlastné spracovanie)	49
Tabuľka 3 - Hodnotiaca stupnica korelácie strategických cieľov a zložiek systému (Vlastné spracovanie).....	50
Tabuľka 4 - Hlavička tabuľky FMEA metódy.....	52
Tabuľka 5 - Hodnotiaca stupnica pre pravdepodobnosť vzniku vady (Vlastné spracovanie)	53
Tabuľka 6 - Hodnotiaca stupnica pre hodnotu významu vady (Vlastné spracovanie)	53
Tabuľka 7 - Hodnotiaca stupnica pre pravdepodobnosť odhalenia vady (Vlastné spracovanie)	53
Tabuľka 8 - Hodnotiaca stupnica pre mieru rizika (Vlastné spracovanie)	53
Tabuľka 9 - Matica príčin a následkov	57
Tabuľka 10 - FMEA (Vlastné spracovanie)	60
Tabuľka 11 - Zoznam stálych úkrytov Brno-Židenice.....	66
Tabuľka 12 - Vzdialenosti medzi stálymi úkrytmi a miestami zhromažďísk (Vlastné spracovanie)	68

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1 - Výsledky analýzy hrozieb (Vlastné grafické spracovanie na základe [7])	22
Graf 2 - Paretov graf.....	58
Graf 3 - Miera rizika pred a po zavedení opatrení	101

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 - Postup analýzy hrozieb (Vlastné grafické spracovanie [7])	20
Obr. 2 - Typy krízových situácií (Vlastné grafické spracovanie na základe [9]).....	24
Obr. 3 - Piliere bezpečnosti (Vlastné grafické spracovanie na základe [9]).....	27
Obr. 4 - Vývin mimoriadnej udalosti (Vlastné grafické spracovanie na základe [9]).....	29
Obr. 5 - Priebeh evakuácie (Vlastné grafické spracovanie na základe [19]).....	33
Obr. 6 - Základný model dopravného problému [36] [37].....	45
Obr. 7 - Blokový diagram (Vlastné spracovanie).....	55
Obr. 8 - Diagram príčin a následkov.....	59
Obr. 9 - Grafické zobrazenie stálych úkrytov Brno-Židenice (Vlastné spracovanie).....	67
Obr. 10 - Polovica mestskej časti Brno-Židenice pre základný model malý dátový súbor (Vlastné spracovanie).....	70
Obr. 11 - GAMS: Základný model malý dátový súbor (Vlastné spracovanie).....	71
Obr. 12 - GAMS: Základný model malý dátový súbor - pokračovanie (Vlastné spracovanie).....	72
Obr. 13 - GAMS: Základný model malý dátový súbor - zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie).....	73
Obr. 14 - GAMS: Základný model malý dátový súbor - výsledky (Vlastné spracovanie)	73
Obr. 15 - GAMS: Základný model veľký dátový súbor - zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie).....	74
Obr. 16 - GAMS: Základný model veľký dátový súbor - výsledky (Vlastné spracovanie).....	75
Obr. 17 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor (Vlastné spracovanie).....	77
Obr. 18 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor - pokračovanie (Vlastné spracovanie).....	78
Obr. 19 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor - účelová funkcia a obmedzenia (Vlastné spracovanie).....	79
Obr. 20 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor - zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie).....	80
Obr. 21 - GAMS: Náhodné kapacity malý dátový súbor - výsledky (Vlastné spracovanie).....	81
Obr. 22 - GAMS: Náhodné kapacity veľký dátový súbor (Vlastné spracovanie).....	83
Obr. 23 - GAMS: Náhodné kapacity veľký dátový súbor - výsledky (Vlastné spracovanie)	84

Obr. 24 - GAMS: Náhodné kapacity veľký dátový súbor – verifikácia (Vlastné spracovanie).....	85
Obr. 25 - Grafické zobrazenie stálych úkrytov Brno-Židenice a hasičských zložiek (Vlastné spracovanie).....	87
Obr. 26 - GAMS: Zásobenie vodou (Vlastné spracovanie).....	88
Obr. 27 - GAMS: Zásobenie vodou – účelová funkcia (Vlastné spracovanie).....	89
Obr. 28 - GAMS: Zásobenie vodou – výsledky (Vlastné spracovanie).....	90
Obr. 29 - GAMS: Počet zamestnancov (Vlastné spracovanie).....	91
Obr. 30 - GAMS: Počet zamestnancov – zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie).....	92
Obr. 31 - GAMS: Počet zamestnancov – výsledky (Vlastné spracovanie).....	93
Obr. 32 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci (Vlastné spracovanie)	94
Obr. 33 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – nastavenie hraníc (Vlastné spracovanie).....	95
Obr. 34 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – rovnice (Vlastné spracovanie).....	96
Obr. 35 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – zdrojový kód pre výpis tabuľky (Vlastné spracovanie).....	97
Obr. 36 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – výsledky (Vlastné spracovanie).....	98
Obr. 37 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – výsledky nadbytok zamestnancov (Vlastné spracovanie).....	99
Obr. 38 - GAMS: Základný model malý dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie).....	103
Obr. 39 - GAMS: Základný model veľký dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie).....	104
Obr. 40 - GAMS: Model náhodných kapacít malý dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie).....	105
Obr. 41 - GAMS: Model náhodných kapacít veľký dátový súbor – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie).....	106
Obr. 42 - GAMS: Zásobenie vodou – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie)	107
Obr. 43 - GAMS: Rozšírený model zamestnanci – grafické znázornenie výsledkov (Vlastné spracovanie).....	109

ZOZNAM SKRATIEK

ČR	Česká republika
EÚ	Európska únia
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor Českej republiky
IZS	Integrovaný záchranný systém
JPO	Jednotky požiarnej ochrany
NATO	Severoatlantická aliancia

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č.1: FMEA – analýza rizík

Príloha č.2: Ukrytí obyvateľstva MČ Brno-Židenice

Nasledujúce prílohy sa nachádzajú v zložke prílohy.zip

Príloha č.3: Základný model malé data GAMS01

Príloha č.4: Základný model veľké data GAMS02

Príloha č.5: Náhodné kapacity malé data GAMS03

Príloha č.6: Náhodné kapacity veľké data GAMS04

Príloha č.7: Zásobenie veľké data GAMS05

Príloha č.8: Počet zamestnancov GAMS06

Príloha č.9: Rozšírený model zamestnancov GAMS07

Príloha č.1

	zložky	ID scenáru	scenár vady	predpokladané príčiny vady	predpokladané dôsledky vady	kontrolné opatrenia	pravdepodobnosť vzniku vady	význam vady	pravdepodobnosť včasného odhalenia vady	miera rizika	odporúčené opatrenia	pravdepodobnosť vznik vady	význam vady	pravdepodobnosť odhalenia vady	miera rizika
VAROVANIE	rádiové návestenie	1.1	Technická závada nasledujúcej stanice	elektrický skrat, technická vada	chyba siete, nedochádza k prenosu tokenu	naprogramovaná jedna chybová cesta, podmienená cesta a reverzná cesta	2	3	2	12	pravidelná servisná kontrola	2	3	1	6
		1.2	Rušenie nasledujúcej stanice rádiovým signálom	technická vada, úmysel	nedochádza k prenosu tokenu		2	3	2	12		2	3	1	6
		1.3	Znehodnotenie obsahu tokenu	technická vada, úmysel	nedochádza k varovaniu		3	3	2	18		3	3	1	9
		1.4	Nefunkčnosť diaľkového selektívneho ovládania poplachových sirén	technická vada, úmysel	nedochádza k varovaniu	2	3	2	12	2		3	1	6	
		1.5	Nefunkčný vysielač v základnej stanici	technická vada, úmysel	nedochádza k prenosu tokenu, nedochádza k varovaniu	1	3	2	6	1		3	1	3	
	vyrozumen	1.6	Nepredanie úplnej informácie o zdroji, povahe a rozsahu nebezpečia	ľudská chyba, technická vada	predĺženie doby reakcie		4	5	4	80	cvičenia pripravenosti na MU	4	5	3	60

varovné signály	1.7	Nepredanie informácie zložkám IZS, orgánom krízového riadenia a územnej samosprávy	ľudská chyba, technická vada			2	5	4	40		2	5	3	30
	1.8	Nevčasné varovanie	ľudská chyba, technická vada			3	4	4	48		3	4	3	36
	1.9	Nezrozumiteľné varovanie	ľudská chyba, technická vada		pravidelná skúška sirén	1	4	3	12	x	1	4	3	12
	1.10	Strata zaznamenaných a uložených informácií vo vyzozumievacom stredisku	ľudská chyba, technická vada	nemožnosť použitia historických dát	zálohovanie na externý disk	1	3	2	6	x	1	3	2	6
	1.11	Časový priebeh a kmitočtové charakteristiky signálu neodpovedajú pokynom Hasičského záchranného zboru ČR	ľudská chyba, technická vada	vyhodnotenie signálu ako varovanie pred iným typom nebezpečenstva	pravidelná skúška sirén	1	4	4	16	x	1	4	4	16
	1.12	Nerozpoznanie typu varovného signálu	ľudská chyba, neznalosť	príprava na iný typ nebezpečenstva	x	3	4	5	60	školenia a vzdelávanie spoločnosti	2	2	2	8
	1.13	Nesprávna verbálna informácia	ľudská chyba, neznalosť			1	4	5	20		1	2	2	4
	1.14	Varovný signál nebol vykonaný	technická vada, ľudská chyba, neznalosť	predĺženie doby reakcie	pravidelná skúška sirén	1	5	4	20	x	1	5	4	20

	koncové prvky varovania	1.15	Nedochádza ku generovaniu nastavených signálov	technická vada	vyhodnotenie signálu ako varovanie pred iným typom nebezpečenstva	1	2	3	6	x	1	2	3	6	
		1.16	Koncové prvky nie sú provozuschopné pri prerušení dodávok energie	technická vada, poškodenie	nedochádza k včasnému varovaniu	záložný zdroj	2	4	5	40	x	2	4	5	40
EVAKUÁCIA	plánovanie	2.1	Nie je naplánovaná evakuačná trasa	ľudská chyba	neorganizovaní presun obyvateľstva	vypracovanie evakuačného plánu	4	5	3	60	návrh evakuačnej trasy	4	5	2	40
		2.2	Nie je naplánované rozmiestenie evakuačných stredísk a miest zhromaždenia	ľudská chyba, nedostatočné plánovanie			4	5	3	60	x	4	5	3	60
		2.3	Nie je vypracovaný evakuačný plán	ľudská chyba		x	1	5	4	20	x	1	5	4	20
		2.4	Nie je vypracovaný plán stálych úkrytov	ľudská chyba, neznalosť		x	4	5	4	80	x	4	5	4	80
		2.5	Nie je naplánované zásobovanie evakuačných stredísk a stálych úkrytov	ľudská chyba, neznalosť	evakuačné strediská a úkryty sú zásobované z omeškaním	vypracovanie evakuačného plánu	5	5	4	100	návrh zásobovania	5	5	3	75
		2.6	Nesprávne pripravená evakuačná batožina	ľudská chyba, neznalosť	predĺženie doby reakcie	vypracovanie pokynov pre prípad evakuácie	3	1	4	12	x	3	1	4	12
		2.7	Nesprávne orientačné prepočty	ľudská chyba, neznalosť	nesprávne stanovené množstvo kapacít	vypracovanie evakuačného plánu jeho pravidelná	2	3	3	18	x	2	3	3	18

riadenie	2.8	Nie je poverený zodpovedný pracovník	ľudská chyba	neorganizovaní presun obyvateľstva	kontrola a aktualizácia	2	1	3	6	x	2	1	3	6
	2.9	Nedostatočné pokyny a informovanosť obyvateľstva	ľudská chyba, neznalosť, nedostatočné plánovanie		x	4	4	3	48	školenia a vzdelávanie spoločnosti	4	4	2	32
	2.10	Nedostatočné uzávery brániace vstupu do evakuačnej zóny	ľudská chyba, neznalosť, nedostatočné plánovanie		x	1	2	5	10	x	1	2	5	10
zabezpečenie	2.11	Nedostatok personálu v evakuačnom stredisku	ľudská chyba, nedostatočné plánovanie	predĺženie doby evakuácie	vypracovanie evakuačného plánu jeho pravidelná kontrola a aktualizácia	4	4	4	64	určenie náhradníkov	3	4	1	12
	2.12	Nedostatok záchranárov, zdravotníkov a personálu podieľajúcich sa na evakuácií	ľudská chyba, nedostatočné plánovanie			3	5	4	60		2	5	4	40
	2.13	Nezabezpečené materiálové vybavenie stredísk		4		3	3	4	36	inventúra skladového materiálu	2	3	4	24
	2.14	Nedostatok lôžok				nenaplnenie základných potrieb	4	3	4		48	3	3	3
	2.15	Nezabezpečené jedlo a vody	2	4			4	32	x	2	4	4	32	

		2.16	Nedostatok dezinfekčných prostriedkov a hygienických pomôcok			kontrola, inventúra skladových zásob	2	3	4	24	x	2	3	4	24	
		2.17	Nedostatočné poriadkové zabezpečenie			neorganizovaná evakuácia	vypracovanie evakuačného plánu jeho pravidelná kontrola a aktualizácia	2	2	2	8	x	2	2	2	8
		2.18	Nedostatočné dopravné zabezpečenie					2	2	2	8	x	2	2	2	8
		2.19	Nedostatočné mediálne zabezpečenie					1	2	2	4	x	1	2	2	4
UKRYTIE	údržba	3.1	Nebola vykonaná pravidelná údržba	technická príčina, časové opotrebovanie, prírodné podmienky	úkryt nie je v požadovanom stave, nie je vybavený	technická norma	3	3	5	45	zdokumentovanie súčasného stavu úkrytov, vykonanie náprav	3	3	4	36	
		3.2	Neodhalená vada pri údržbe			x	3	4	3	36		3	4	2	24	
	kontrola stavu	3.3	Nekompletný protokol o vykonaní kontroly a revízie technického zariadenia	ľudská chyba, neznalosť, úmysel	chýbajú potrebné informácie	x	1	1	3	3		1	1	2	2	
		3.4	Nebola uskutočnená pravidelná kontrola podľa technickej normy ČSN 73 9050	ľudská chyba	úkryt nie je v požadovanom stave, nie je vybavený	x	3	3	4	36		3	3	3	27	

stavby slúžiace ako improvizované úkryty,	3.5	Nezistenie závažných väd pri kontrole	technická príčina, časové opotrebovanie, prírodné podmienky	úkryt nie je v požadovanom stave, nie je vybavený	x	3	2	3	18		3	2	2	12
	3.6	Nezistenie, že kryt nespĺňa požiadavky pre stály tlakovoodolný úkryt	technická príčina, časové opotrebovanie, prírodné podmienky, ľudská chyba	úkryt nie je v požadovanom stave, nie je vybavený		3	4	4	48		3	4	3	36
	3.7	Nekompletná dokumentácia úkrytu CO podľa technickej normy ČSN 73 9050	ľudská chyba, neznalosť	chýbajú potrebné informácie		3	1	3	9		3	1	2	6
	3.8	Poškodenie stavebnej konštrukcie	technická príčina, časové opotrebovanie, prírodné podmienky	úkryt nie je v požadovanom stave, nie je vybavený	pokyny v technickej norme	2	5	2	20		2	5	1	10
	3.9	Hrúbka zdriva nespĺňa stanovené parametre	technická vada			1	4	2	8		1	4	1	4
	3.10	Poškodenie dverí, uzáverov a poklopov	technická príčina, časové opotrebovanie, prírodné podmienky, ľudská chyba			1	4	3	12		1	4	2	8

stále úkryty CO	3.11	Improvizovaný úkryt nespĺňa jednu do základných požiadaviek	technická vada, poškodenie			4	4	5	80	x	4	4	5	80
	3.12	Improvizovaný úkryt nie je možné nepriedušne uzatvoriť	technická vada, poškodenie	úkryt nie je v požadovanom stave	x	3	5	4	60	x	3	5	4	60
	3.13	Improvizovaný úkryt je vzdialený viac ako 800 metrov	nedostatočné plánovanie	predĺženie doby evakuácie	x	3	3	4	36	x	3	3	4	36
	3.14	Nie je možné pri vzniku MU zvoliť vhodnú stavbu pre improvizované ukrytie			x	4	5	5	100	x	4	5	5	100
	3.15	Improvizovaný úkryt nemá dostatočnú kapacitu		predĺženie doby evakuácie, nie je možné evakuovať daný počet obyvateľov	x	4	4	5	80	návrh nových miest pre ukrytie	4	4	4	64
	3.16	Stály tlakový kryt nespĺňa technické parametre definované v ČSN 73 9010		úkryt nie je v požadovanom stave	x	1	3	5	15	x	1	3	5	15
	3.17	Dostupné stály tlakové kryty nemajú dostatočnú kapacitu	predĺženie doby evakuácie, nie je možné evakuovať daný počet obyvateľov	x	5	5	4	100	návrh nových miest pre ukrytie	4	5	3	60	
	3.18	Nie je dostupný havarijný plán, ktorý obsahuje zakreslenú polohu úkrytov	ľudská chyba, nedostatočné plánovanie	predĺženie doby evakuácie	x	1	5	3	15	x	1	5	3	15

		3.19	Havarijný plán neobsahuje informácie o polohe úkrytov	predĺženie doby evakuácie, neorganizovaná evakuácia	x	2	4	3	24	aktualizácia rozmiestnenia CO úkrytov	2	4	2	16
		3.20	Nedostatočná informovanosť obyvateľstva o dostupnosti krytov		x	4	4	3	48	školenia a vzdelávanie spoločnosti	3	4	3	36
NÚDZOVÉ PREŽITIE	organizačné	4.1	Nie je poverený zodpovedný pracovník	neorganizovanie núdzového prežitia	pravidelná kontrola a aktualizácia plánu	1	3	2	6	x	1	3	2	6
		4.2	Vypracovaný plán núdzového prežitia neobsahuje dané informácie			2	4	4	32	x	2	4	4	32
	materiálové zabezpečenie	4.3	Nedostatok lôžok	nenaplnenie základných potrieb	kontrola, inventúra skladových zásob	3	5	2	30	x	3	5	2	30
		4.4	Nedostatok potravín			3	5	3	45	x	3	5	3	45
		4.5	Nedostatok dezinfekčných prostriedkov a hygienických pomôcok a základných potrieb			3	5	2	30	x	3	5	2	30
	zásobovanie pitnou vodou	4.6	Nedostatok pitnej vody	neorganizovanie núdzového prežitia	kontrola vodných zdrojov	3	5	3	45	x	3	5	3	45
		4.7	Nedostatok cisterien			2	4	2	16	x	2	4	2	16
		4.8	Nie je vypracovaný plán núdzového prežitia			x	1	4	1	4	x	1	4	1

KRÍZOVÉ PLÁNOVANIE	krízová	5.1	Krízová situácia nie je včas odhalená		neskorá reakcia, nedostatočná ochrana obyvateľstva	x	3	5	5	75	x	3	5	5	75	
	krízový plán	5.2	Nie je vypracovaný krízový plán			x	1	4	1	4	4	x	1	4	1	4
		5.3	Krízový plán neobsahuje všetky potrebné informácie			pravidelná kontrola a aktualizácia plánu	2	4	4	32	x	2	4	4	32	
	krízové opatrenia	5.4	Opatrenia nie sú zavedené			x	2	4	3	24	x	2	4	3	24	
		5.5	Zavedené opatrenia sú nedostatočné			pravidelná kontrola a aktualizácia plánu	2	4	4	32	x	2	4	4	32	

Ukrytí obyvatelstva MČ Brno – Židenice

Zásady ukrytí

Ukrytí obyvatelstva, žactva a osazenstva objektů je stanoveno normativy stavebně technických opatření civilní ochrany na území ČR a plánuje se:

- ve stálých tlakově odolných úkrytech
- v protiradiačních úkrytech
- v protiradiačních úkrytech - budované svépomocí

a) **Stálé tlakově odolné úkryty (STOÚ)**

jsou ochranné stavby trvalého charakteru, které poskytují diferencovanou ochranu proti účinkům zbraní hromadného ničení. Budují se investičním způsobem v době míru. Musí být bez ohledu na odolnost a umístění připraveny přijmout ve stanovených lhůtách osoby k ukrytí. STOÚ, které nejsou dokončené, lze využít jako protiradiační úkryty.

b) **Protiradiační úkryty**

jsou vhodné podzemní nebo nadzemní prostory, které poskytují ochranu proti radioaktivnímu zamoření a ozáření. V míru jsou budovány investičním způsobem:

- stálé protiradiační úkryty (SPRÚ)
- stálé protiradiační úkryty zesílené (SPRÚ-Z)

Stálé protiradiační úkryty zesílené poskytují i částečnou ochranu proti účinkům tlakové vlny.

c) **Protiradiační úkryty - budované svépomocí**

jsou prostory ve vhodných částech bytu, domě nebo rodinném domu, které umožní improvizované ukrytí. Vhodnými prostory jsou např. sklepy s klenutými nebo železobetonovými stropy, silnými obvodovými zdmi, pokud možno s co nejmenším počtem vstupních a okenních otvorů. Pro případ úniku nebezpečných látek je nutné vybrat prostory odvrácené od směru úniku nebezpečné látky.

Seznam stálých tlakově odolných úkrytů (STOÚ) a stálých protiradiačních úkrytů (SPRÚ)

Poř. číslo	Majitel	Adresa	Kapacita úkrytu	Třída odolnosti
1	MČ Brno - Židenice	Svatoplukova 73 (STOÚ)	65	5
2	MČ Brno – Židenice	Meluzínova 8 (STOÚ)	150	3
3	MČ Brno – Židenice	Meluzínova 9 (STOÚ)	90	5
4	MČ Brno – Židenice	Slívova 7 (STOÚ)	110	3
5	MČ Brno – Židenice	Hromádkova 17/19 (STOÚ)	150	5
6	MČ Brno – Židenice	Boettingrova 11 (STOÚ)	130	4
7	MČ Brno – Židenice	Boettingrova 17 (STOÚ)	130	4
8	MČ Brno – Židenice	Strakatého 7/9 (STOÚ)	80	5
9				
10-15	býv. Zbrojovka Brno	Lazaretní 7 (STOÚ) – 6 krytů	1 700	3
16-18	býv. Zbrojovka Brno	Lazaretní 7 (STOÚ) – 3 kryty	450	5
19	býv. ABB, Alstom Power	Olomoucká 7/9 (STOÚ)	300	3
20	býv. ABB, Alstom Power	Olomoucká 7/9 (STOÚ)	50	3
21	SBD Mír	Slatinská 100 (STOÚ)	90	4
22	ČD	Lazaretní 11 (STOÚ)	450	3

Martin Lajcman, krizové řízení