

**Parametrizace modelů evakuace osob z prostoru  
dopravních staveb v různém stupni projektové  
dokumentace**



2023

**Parametrizace modelů evakuace osob z prostoru dopravních staveb v různém stupni  
projektové dokumentace**

Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D., Ing. Ondřej Uhlík, doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.,

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební*

Brno, 2023

Výsledek vznikl v rámci řešení projektu *Zvýšení odolnosti a bezpečnosti železniční infrastruktury a minimalizace dopadů na ostatní sektory dopravní infrastruktury*, reg. č. CK0100015. Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Doprava 2020+.

T A  
Č R

Program **Doprava 2020+**

## OBSAH

1	Úvod.....	5
2	Návrh a ověření globálních parametrů stavby ve fázi záměru projektu.....	7
2.1.	Stanovení statických okrajových podmínek modelu – dispozice stavby.....	7
2.1.1.	Počet a rozmístění východů, včetně evakuačních východů, jejich parametry a technologie.....	7
2.1.2.	Dispozice vnitřního prostoru, šířky koridorů, velikosti ploch, známá fixní omezení v těchto plochách.....	8
2.1.3.	Rozptylové plochy a okolí objektu.....	9
2.2.	Stanovení dynamických okrajových podmínek modelu.....	11
2.2.1.	Návrhový počet osob v objektu.....	11
2.2.2.	Rozmístění osob v objektu.....	14
2.3.	Návrhová populace.....	15
2.3.1.	Rychlost pohybu.....	15
2.3.2.	Doba před pohybem.....	16
2.4.	Návrh evakuačního scénáře.....	17
2.4.1.	Příčina vzniku mimořádné události.....	17
2.4.2.	Definice směrů evakuace.....	18
2.4.3.	Časová osa.....	18
2.4.4.	Evakuační scénář.....	20
2.5.	Model evakuace - stanovení doby potřebné pro evakuaci (Required Safe Egress Time - RSET).....	20
2.5.1.	Dostupné nástroje pro mikroskopické modely pohybu osob a evakuace.....	20
2.5.2.	Modelování náhodných procesů.....	21
2.6.	Stanovení doby dostupné pro evakuaci (Available Safe Egress Time - ASET).....	21
2.7.	Vyhodnocení evakuačních scénářů ve fázi Záměru projektu.....	22
3	Návrh a ověření lokálních parametrů stavby ve fázi Dokumentace pro stavební povolení ..	22
3.1.	Analýza změny statických okrajových podmínek modelu.....	22
3.1.1.	Změna dispozice stavby.....	22
3.1.2.	Návrh vnitřního uspořádání.....	23
3.1.3.	Definice minimálního průchozího prostoru nebo plochy.....	25
3.1.4.	Dostupnost rozptylových ploch.....	25
3.2.	Analýza změny dynamických okrajových podmínek modelu.....	25
3.3.	Návrhová populace.....	25
3.4.	Evakuační scénáře.....	25
3.5.	Model evakuace - stanovení doby potřebné pro evakuaci (Required Safe Egress Time - RSET).....	26

3.6.	Stanovení doby dostupné pro evakuaci (Available Safe Egress Time - ASET).....	26
3.7.	Vyhodnocení evakuačních scénářů ve fázi Dokumentace pro stavební povolení .....	26
4	Závěr a zajištění parametrů evakuace při provozu stavby .....	26
5	Zdroje .....	27

## 1 ÚVOD

---

Metodika je zaměřena na problematiku mikroskopických modelů evakuace dopravních staveb, zejména výpravních budov nádraží a stanic, ale lze ji uplatnit i na obdobné dopravní stavby jako jsou autobusová nádraží nebo volně přístupné prostory letišť. Tyto stavby se v mnoha faktorech odlišují od ostatních občanských staveb a to zejména z pohledu svého uspořádání, fungování a možných hrozeb, což vyžaduje odlišné postupy přípravy modelů evakuace, zejména z důvodu výrazně vyššího počtu možných variant evakuačních scénářů. Rovněž je nutné brát v úvahu délku přípravy těchto staveb, která je vzhledem ke své komplexnosti a návaznosti na ostatní prvky infrastruktury zpravidla výrazně delší, než v jiných případech a parametry evakuace je tak nutné ověřovat v různých stupních projektové dokumentace.

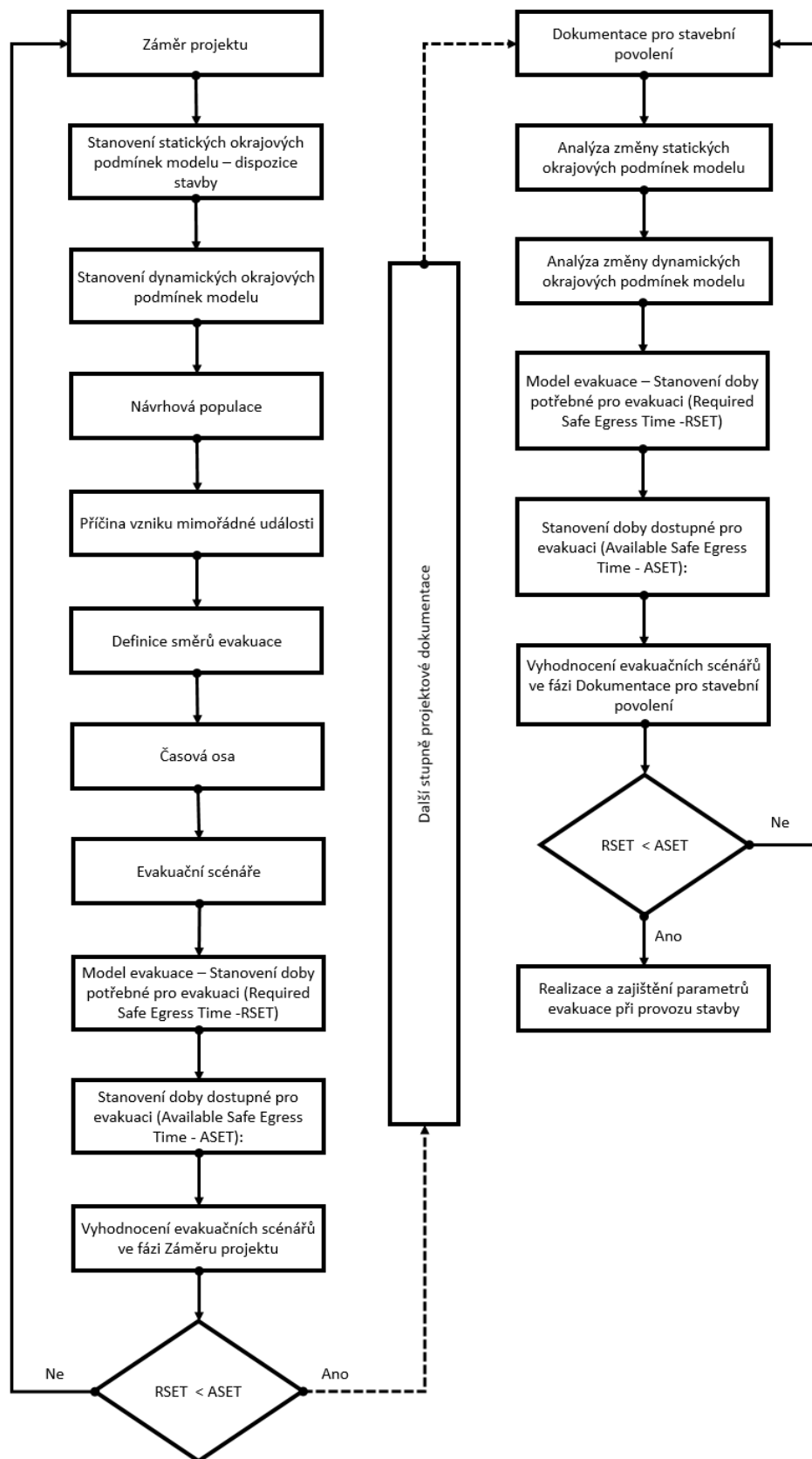
Metodika je rozdělena do dvou hlavních částí (Obr. 1), které odpovídají dvěma hlavním fázím projektové přípravy dopravních staveb, a sice Záměr projektu, ve kterém jsou identifikované klíčové parametry navrhované stavby a Dokumentace pro stavební povolení, ve kterém jsou řešeny všechny technické a provozní detaily. První část se tak věnuje základní parametrizaci modelu z pohledu jeho prostorového uspořádání v návaznosti na venkovní prostor a obsazenost. Druhá část se pak zaměřuje na identifikaci změn a detailů, ke kterým došlo v předchozích stupních projektové dokumentace a jejich zapracování do modelu z předchozí fáze. V závěrečném ustanovení je pak zdůrazněna nutnost sledování a udržování všech předpokládaných parametrů evakuace, respektive stavby, po celou dobu její životnosti.

Novost metodiky spočívá především v identifikaci specifických vlastností dopravních staveb a definování postupů pro jejich integraci do modelů evakuace. Jedná se například o rozdílný přístup k managementu východů, respektive evakuačních východů a výrazně širší spektrum hrozeb. Další výraznou inovací v metodice je rozdělení přípravy evakuačního modelu do více fází, které odpovídají procesu přípravy těchto staveb a jednotlivým stupňům projektové dokumentace. V neposlední řadě metodika kvantifikuje několik klíčových parametrických veličin specifických pro dopravní stavby a české prostředí, které byly získány empiricky na základě měření ve stanici Pardubice hlavní nádraží a Havlíčkův Brod hlavní nádraží v období 01/2022-12/2022.

Metodiku je možné uplatnit jak interně v rámci projekčních týmů investora/provozovatele staveb dopravní infrastruktury, tak externě při zadávání veřejných zakázek, kdy v obou případech metodika slouží jako základní seznam a kostra postupu návrhu evakuace a tvorby evakuačního modelu.

Využití metodiky pro uživatele nevytváří předběžné ani dodatečně zvýšené náklady. Aplikace metodiky naopak umožňuje jasně definovat proces tvorby evakuačního modelu nebo návrhu evakuace a zvýšit tak efektivitu využití finančních prostředků.

Metodika předpokládá základní znalost uživatele v oblasti mikroskopického modelování evakuace. Modely evakuace by měly být připravovány v úzké spolupráci s autorizovanou osobou PBR a pravidelně konzultovány s příslušným orgánem HZS, aby byla zajištěna návaznost na ostatní profese a zohledněny veškeré bezpečnostní požadavky. Za model evakuace a použitý softwarový nástroj (jeho validaci a verifikaci) zodpovídá v plné výši zhotovitel tohoto modelu. Zhotovitel modelu musí rovněž definovat potřebné podklady, jejich nezbytný rozsah a ve spolupráci s objednatelem zajistit akvizici těchto podkladů. V případně omezených podkladech musí zhotovitel na základě své odbornosti navrhnout alternativní zdroje, jako jsou například mezinárodní odborné publikace a technické normy. S metodikou je nutno pracovat jako s celkem a ve všech fázích počítat s fázemi navazujícími. Je tedy vhodné si metodiku před její implementací nastudovat jako celek a poté je případně možné implementovat její části.



Obr. 1: Postup návrhu evakuace v různých stupních projektové dokumentace a struktura této metodiky.



## 2 NÁVRH A OVĚŘENÍ GLOBÁLNÍCH PARAMETRŮ STAVBY VE FÁZI ZÁMĚRU PROJEKTU

---

Záměr projektu je fáze přípravy dopravních staveb, která je definována příslušnými směrnici Ministerstva dopravy a dále rozšířena směrnicemi Správy železnic [1]. V záměru projektu jsou z pohledu evakuace osob řešeny klíčové globální charakteristiky stavby:

- návaznosti na okolní plochy a komunikace – budoucí rozptylové plochy
- změny nebo návrh vnitřní dispozice – velikost ploch a koridorů
- počet a rozmístění východů a únikových východů

Protože jsou tyto globální vazby velmi komplexní a vychází z dlouhodobých koncepcí a plánů velkého množství subjektů (Obcí, Distributorů, Státní správy...), případně jsou vázány na klíčové charakteristiky stavby (např. její statický návrh), je jejich změna v pokročilých fázích projektové přípravy velmi složitá, nebo dokonce nemožná. Plánování evakuace je tak nutné zahájit již v těchto počátečních fázích projektové přípravy s důrazem na globální parametry stavby jako je kapacita východů, koridorů, rozptylových ploch atd.

Nedílnou součástí vzniknuvšího evakuačního modelu, respektive evakuačního plánu, potom musí být podrobná informace o verzi použitých dokumentů a projekčních podkladů, aby bylo možné v dalších fázích projektové přípravy adresovat případné změny. Pokud existuje ve fázi Záměru projektu více variant řešení, je nutné ověřit návrh evakuace pro všechny tyto varianty.

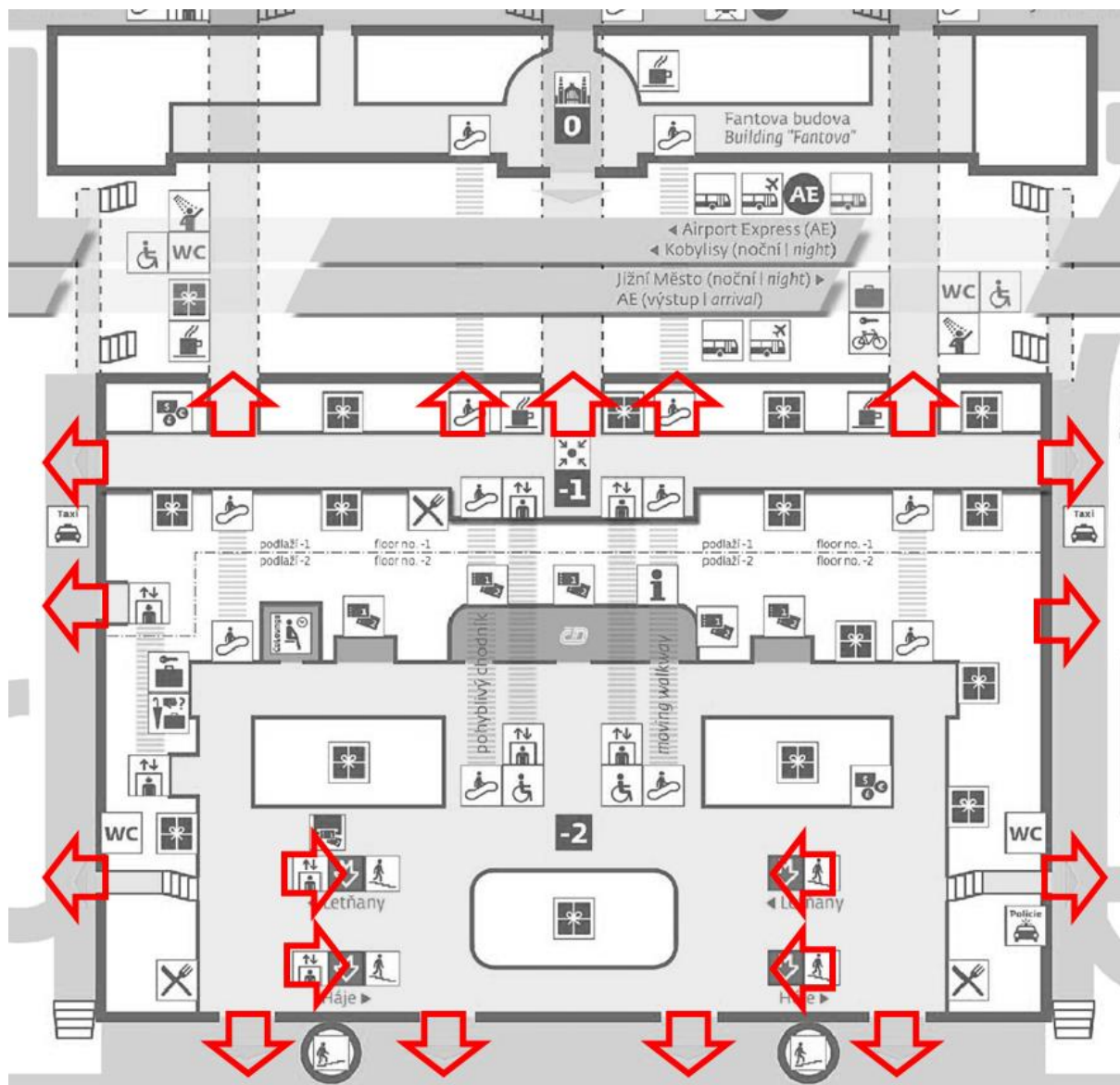
### 2.1. Stanovení statických okrajových podmínek modelu – dispozice stavby

Pod pojmem statické okrajové podmínky je v rámci této metodiky myšlena vnitřní dispozice objektu a jeho okolí. Ve fázi ověření globálních parametrů stavby se pak jedná níže uvedené parametry.

#### 2.1.1. Počet a rozmístění východů, včetně evakuačních východů, jejich parametry a technologie

Fungování východů u dopravních staveb je nutné vnímat v kontrastu klasického pojetí požární bezpečnosti, kdy jsou východy rozděleny na evakuační, u kterých je zajištěna jejich funkce i během požáru (tzv. chráněná úniková cesta) a běžné, u kterých tato funkce zajištěna není a může dojít např. k jejich zakouření nebo vzniku požáru v jejich blízkosti. U běžných staveb a v případě požáru je toto rozdělení funkční, protože lze dobře predikovat scénář evakuace a únikových východů je zpravidla více než běžných vstupů do budovy.

V případě dopravních staveb je však situace jiná a běžně používané východy jsou zpravidla i východy evakuačními, případně je jich více nebo mají větší kapacitu než dedikované evakuační východy. Rovněž z podstaty volně přístupného prostoru s velkou koncentrací osob hrozí výrazně širší škála mimořádných situací, které si mohou vyžádat evakuaci. Do analýzy je tak nutné zahrnout všechny východy, které jsou pro osoby dostupné (např. nejsou uzamčené atd.). Na Obr. 2 je na schématickém plánu stanice Praha hlavní nádraží ukázka všech východů z prostoru nádraží, které jsou volně dostupné nebo které slouží jako evakuační a jsou zpřístupněny v případě vyhlášení evakuace. Všechny tyto východy je nutné zahrnout do statických okrajových podmínek a teprve až v rámci návrhu evakuačních scénářů (2.4) provést rozvalu jejich využití.



Obr. 2: Umístění všech východů na schématickém plánu stanice Praha hlavní nádraží. Východy nejsou záměrně rozděleny na evakuační a normální, protože u dopravních staveb nemusí být toto dělení vždy funkční a využití východů je závislé na mnoha faktorech, zejména na příčině vzniku mimořádné události a evakuačním scénáři. Do statických podmínek je tak nutné zahrnout všechny východy, které jsou v případě evakuace dostupné [10].

### 2.1.2. Dispozice vnitřního prostoru, šířky koridorů, velikosti ploch, známá fixní omezení v těchto plochách

Základní dispozice vychází z koncepčního řešení stavby a je zpravidla definována již v rámci architektonické studie, která řeší fungování stavby ve velké podrobnosti (Obr. 3) a předchází záměru projektu jak v případě novostaveb, tak v případě rekonstrukcí, kdy může docházet k demolicím, dostavbám atd. V rámci koncepčního řešení je rovněž definováno umístění základních funkčních prvků dopravních staveb, jako jsou čekárny, tabule odjezdů a příjezdů (včetně plochy pro sledování těchto tabulí), přístupy na nástupiště, komerční plochy atd. Ve fázi záměru projektu je tak možné definovat kompletní dispozici vnitřního prostoru v podrobnosti dostatečné pro ověření základních parametrů evakuace.





Obr. 3: Ukázka architektonického návrhu výpravní budovy stanice Brno hlavní nádraží publikované na stránkách kanceláře architekta města Brna [9]. Je zřejmé, že návrh jde do velkého detailu a komplexně navrhuje fungování nádraží.

V rámci vnitřní dispozice jsou klíčové zejména tyto prvky:

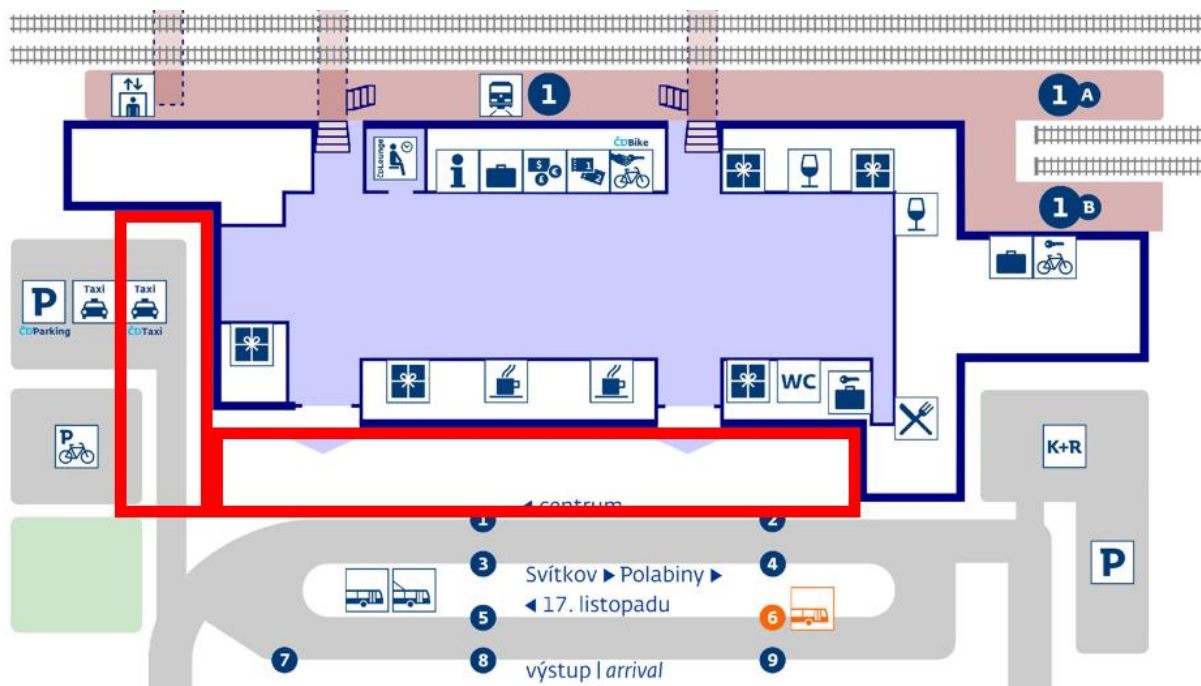
- Koridory spojující funkční prvky a plochy řešené budovy, kde lze očekávat hlavní pohyb osob (např. od vchodu do nádraží k podchodu vedoucímu k nástupištím)
- Předpokládané umístění funkčních prvků jako tabule příjezdů a odjezdů, prodejny jízdních dokladů
- Plochy, kde se mohou tvořit shluky osob, např. u tabulí odjezdů a příjezdů
- Plochy, kde se mohou tvořit fronty, např. u prodejny jízdních dokladů, trafik nebo jiných komerčních provozů
- Plochy pro čekání, které tvoří bariéru pohybu, jako jsou např. lavičky atd.

### 2.1.3. Rozptylové plochy a okolí objektu

Rozptylové plochy jsou často opomíjený prvek v procesu přípravy evakuace a to často z důvodů rozdílných vlastníků řešeného objektu a přilehlých ploch, nebo z důvodu historického uspořádání. Pro hladký průběh evakuace jsou však parametry rozptylových ploch stejně důležité jako parametry východů a vnitřní uspořádání budovy. Rozptylové plochy by měli splňovat následující kritéria:

- Bezpečnost (např. absence příkrých srázů, vodotečí, nebezpečných komunikací, dráhy atd.)
- Dostatečnou kapacitu pro všechny evakuované osoby v bezpečné hustotě
- Bezpečnou vzdálenost od evakuované budovy
- Schůdnost za všech klimatických podmínek a denní dobu (tedy osvětlená zpevněná nebo travnatá plocha)
- Návaznost na komunikace pro zajištění přístupu IZS a další postup evakuace z blízkosti evakuované stavby
- Přehlednost

Nedostatečně kapacitní nebo nevhodná rozptylová plocha může být příčinou výrazného zpomalení evakuace a vzniku sekundárních zranění nebo úmrtí. Na Obr. 4 jsou naznačeny rozptylové plochy pro stanici Pardubice hlavní nádraží, které splňují část z výše jmenovaných parametrů, a které je nutné do návrhu evakuace zahrnout. Problematické může být zajištění projekčních podkladů těchto ploch z důvodu jiného vlastníka než u řešené stavby. V takovém případě je nutné postupovat v koordinaci s vlastníkem a potřebné podklady si od něj vyžádat.



Obr. 4: Dostupné rozptylové plochy stanice Pardubice hlavní nádraží [10].

## 2.2. Stanovení dynamických okrajových podmínek modelu

Pod pojmem dynamické okrajové podmínky je v rámci této metodiky myšlen počet a rozmístění osob v objektu, jakožto klíčový parametr průběhu evakuace. Maximální počet osob, který se bude v objektu vyskytovat, je součástí návrhu objektu, rozmístění osob v objektu vychází z rozmístění funkčních prvků, jako jsou tabule odjezdů nebo čekárny (kap. 2.1).

### 2.2.1. Návrhový počet osob v objektu

Maximální počet osob v objektu je daný v jeho návrhu jako frekvence cestujících (SM122, počet cestujících využívajících vlak v železniční stanici nebo zastávce za den, [7]), kterou v rámci této metodiky označíme jako denní obrátku cestujících. Je však nutné zohlednit několik aspektů:

- Vzhledem k tomu že se návrh evakuace provádí ve fázi záměru projektu, je nutné předpokládat, že v pozdějších fázích návrhu může dojít jak ke změnám v návrhové obsazenosti, tak k dílčím změnám v dispozici nebo počtu východů. Je tak nutné celkový počet osob navýšit o bezpečnou rezervu, min. však o 10 %.
- Je pravděpodobné, že maximální evakuační čas objektu bude dosažen při maximální obsazenosti objektu, avšak vzhledem k tomu, že se jedná o náhodnou veličinu, může být maxima evakuačního času dosaženo i za jiných specifických podmínek. Počet osob v objektu je tak nutné stanovit v několika stupních, např. v rozmezí 30 až 110 % s krokem 10 %.
- Vzhledem k povaze stanice je nutné zvážit případné mimořádné stavy, které by vedly k výraznému překročení návrhového množství osob. Pro tyto stavy však není zpravidla nutné ověřovat všechny návrhové scénáře a možná rizika.
- V některých případech může nastat situace, že do stanice dorazí vlak ve stejný okamžik jako je vyhlášena evakuace. V takovém případě je nutné zohlednit proud cestujících, který se bude mísit s evakuačními proudy a dodatečně navýší počet evakuovaných osob.

Pro potřeby modelu evakuace osob však potřebujeme znát obsazenost objektu v jeden okamžik, ve který bude zahájena evakuace. Jak je vidět v Tab. 1, za běžného provozu je maximální počet osob vyskytujících se v prostorách nádraží v jeden okamžik poměrně malý a pohybuje se spíše v desítkách osob (v poměru k denní obrátce cestujících je empirický průměrně zjištěný při měření ve stanici Pardubice hlavní nádraží 0,8 %). To je způsobeno především tím, že osoby se dostávají na nádraží v poměrně krátkém předstihu před odjezdem vlaku a zpravidla pokračují dále na nástupiště, takže se ve výpravní budově zdrží jen velice krátce. Pokud však nastanou výrazné komplikace v provozu vedoucí ke zpoždění výrazné většiny vlaků, může začít počet osob čekajících ve výpravní budově (zejména za nepříznivého počasí) rychle narůstat, protože lidé do stanice stále přicházejí, avšak žádní lidé ji neopouštějí. Tato situace je v Tab. 1 reprezentována hodnotou maximálního počtu osob za 1 h. V těchto případech se už může množství osob k evakuaci pohybovat v řádech tisíců (v poměru k denní obrátce cestujících je empirický průměrně zjištěný při měření ve stanici Pardubice hlavní nádraží 5,9 %). Výsledky měření, které je možné použít jako návrhové hodnoty pro obdobné stanice, jsou shrnuty v Tab. 3 a Tab. 4, vizualizovány na Obr. 5 a Obr. 6, přičemž 5% a 95% kvantil lze chápat jako maximum a minimum hodnot.

Tab. 1: Příklad maximální obsazenosti stanice Pardubice hlavní nádraží v několika dnech ve vztahu k denní obrátce cestujících (jeden řádek tabulky je jeden den měření).

Denní obrátka cestujících	Max. osob v jeden okamžik	Max. osob za 1 hod
22954	163	1417
20501	168	1398
21447	208	1390
23149	151	1317
23694	189	1316
20604	152	1293
21666	148	1262
20869	145	1229

Tab. 2: Příklad maximální obsazenosti stanice Havlíčkův Brod hlavní nádraží v několika dnech ve vztahu k denní obrátce cestujících (jeden řádek tabulky je jeden den měření).

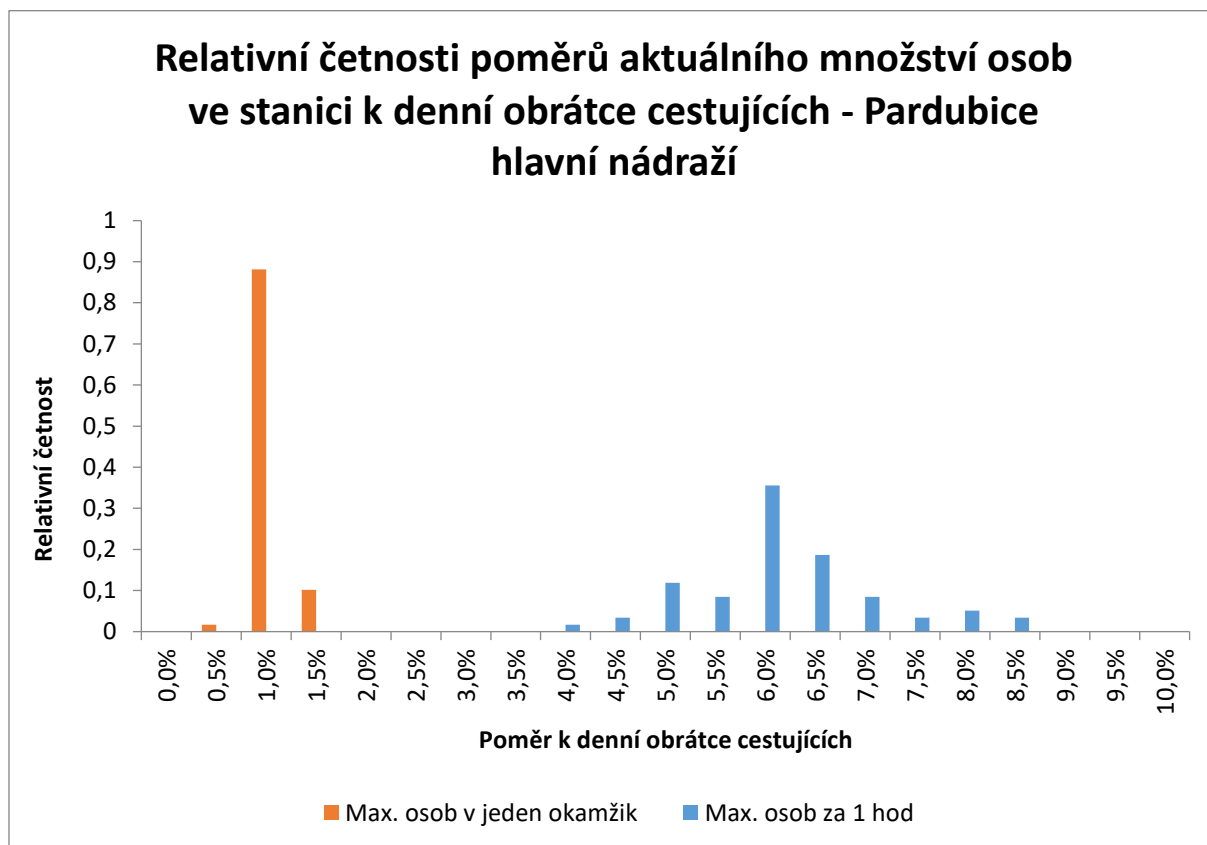
Denní obrátka cestujících	Max. osob v jeden okamžik	Max. osob za 1 hod
10108	84	562
9728	80	557
10121	107	535
9614	90	450
9629	93	446
9420	86	431
8296	95	428
8492	76	427

Tab. 3 Empirický poměr aktuálního množství osob ve stanici Pardubice hlavní nádraží k denní obrátce cestujících.

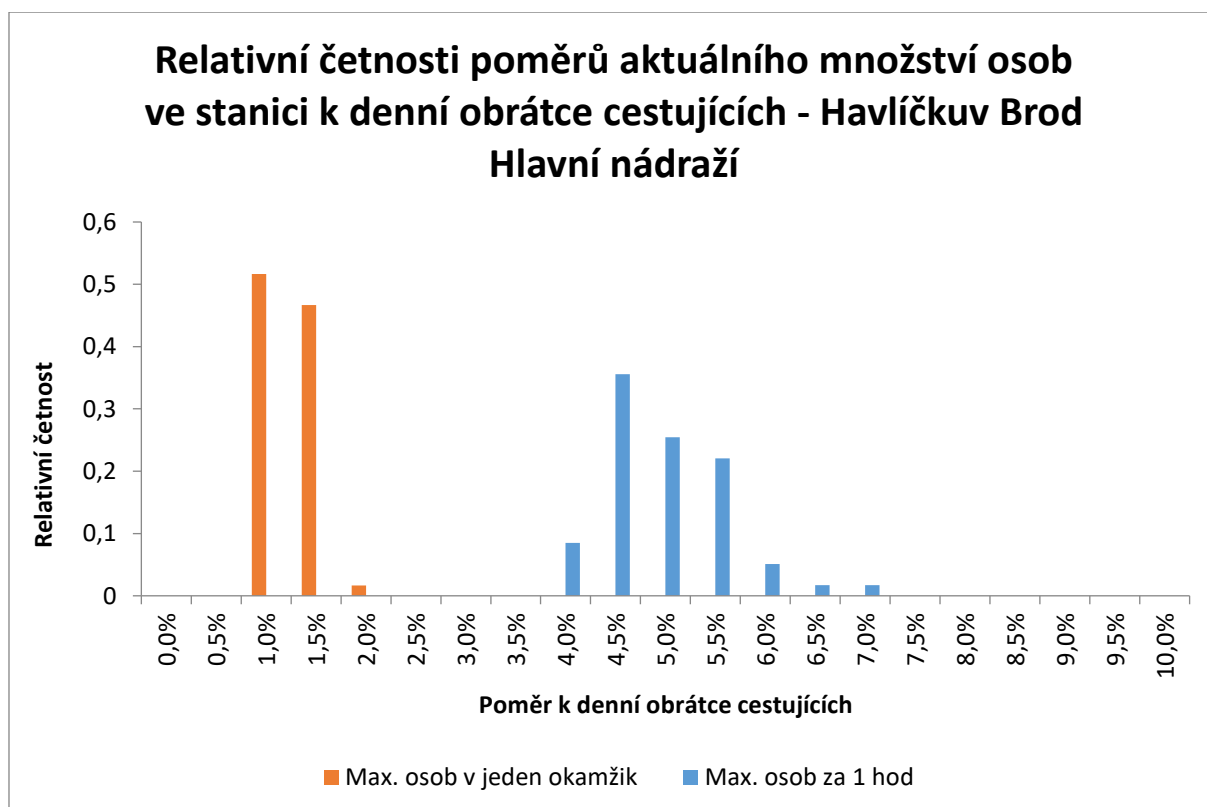
	Poměr k denní obrátce cestujících		
	Průměr	5% kvantil	95% kvantil
Max. osob v jeden okamžik	0,8 %	0,6 %	1,1 %
Max. osob za 1 hod	5,9 %	4,6 %	7,7 %

Tab. 4: Empirický poměr aktuálního množství osob ve stanici Havlíčkův Brod hlavní nádraží k denní obrátce cestujících.

	Poměr k denní obrátce cestujících		
	Průměr	5% kvantil	95% kvantil
Max. osob v jeden okamžik	1,0 %	0,8 %	1,4 %
Max. osob za 1 hod	4,8 %	3,9 %	5,9 %



Obr. 5: Počet osob ve stanici v jeden okamžik při normálním provozu a maximální hodinové obrátky osob ve vztahu k denní obrátce cestujících. Empirické hodnoty pro stanici Pardubice hlavní nádraží.



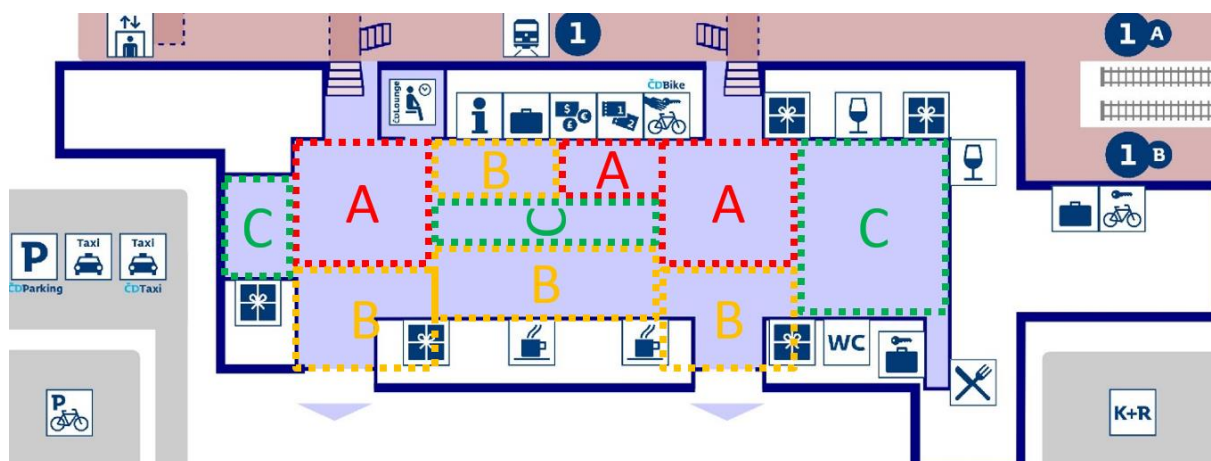
Obr. 6: Počet osob ve stanici v jeden okamžik při normálním provozu a maximální hodinové obrátky osob ve vztahu k denní obrátce cestujících. Empirické hodnoty pro stanici Havlíčkův Brod Hlavní nádraží.



## 2.2.2. Rozmístění osob v objektu

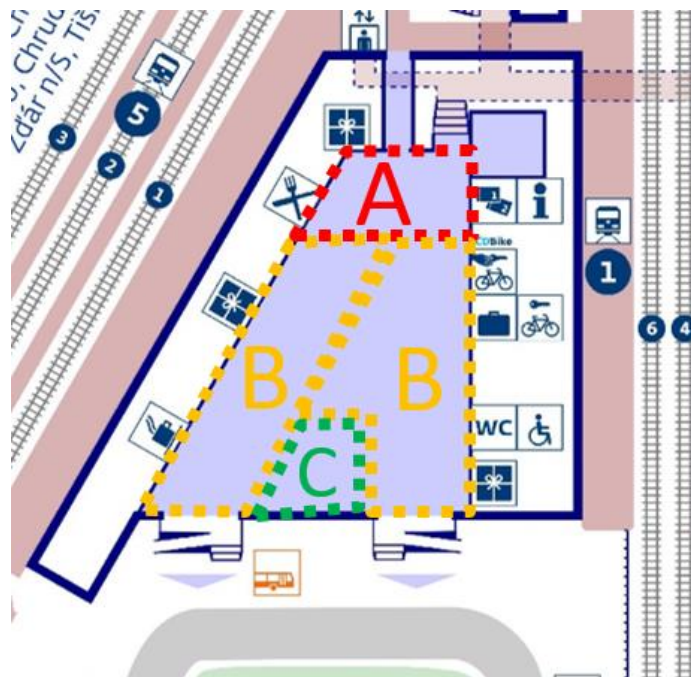
Rozmístění osob v objektu vychází z rozmístění jeho funkčních prvků, jako jsou tabule odjezdů, prodejny jízdních dokladů nebo trasy od vchodu do nádraží k přístupu na nástupiště a je unikátní pro každou řešenou stanici. Vzhledem k velké nejistotě tohoto parametru je tak vhodné řešenou stavbu rozdělit na větší oblasti, pro které bude stanovena průměrná hustota osob, přičemž celkový počet osob bude odpovídat návrhové hodnotě (viz 2.2.1). Příklady dělení na různé oblasti pro stanice Pardubice hlavní nádraží a Havlíčkův Brod hlavní nádraží jsou uvedeny na Obr. 7 a Obr. 8. Orientační hodnoty hustot zjištěné empiricky z měření v těchto stanicích lze rozdělit do tří skupin, přičemž uvedené hodnoty jsou průměr z maximálních hustot, které během špičkové hodiny nastaly:

- A: Oblasti s vysokou hustotou, nebo oblasti kde se tvoří shluky osob. Mezi tyto oblasti patří zejména prostor před prodejnou jízdních dokladů nebo před tabulemi odjezdů atd. V těchto oblastech lze očekávat maximální hustoty průměrně 2 osoby/m<sup>2</sup>.
- B: Oblasti se střední hustotou jako, jsou např. koridory, čekárny atd. V těchto oblastech lze očekávat maximální hustoty průměrně 1,5 osob/m<sup>2</sup>.
- C: Oblasti s nízkou hustotou, jako např. odlehlé části nádraží nebo místa, která neleží na hlavních koridorech. V těchto oblastech lze očekávat maximální hustoty průměrně 1,0 osoba/m<sup>2</sup>.



Obr. 7: Příklad rozdělení stanice Pardubice Hlavní nádraží na oblasti s různou hustotou [10].





Obr. 8: Příklad rozdělení stanice Havlíčkův Brod Hlavní nádraží na oblasti s různou hustotou [10].

## 2.3. Návrhová populace

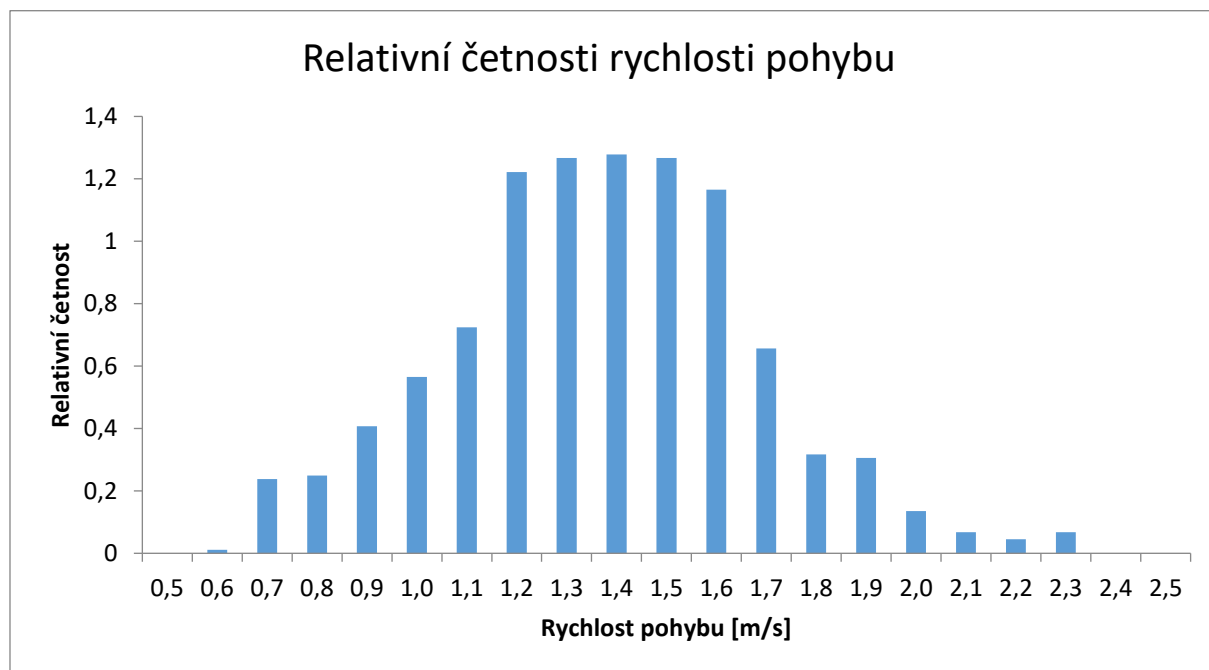
Z pohledu mikroskopických modelů osob je volba populace zcela zásadní a to zejména z pohledu doby před pohybem a rychlosti pohybu. Bohužel jsou zároveň obě tyto veličiny poměrně obtížně měřitelné. U rychlosti pohybu lze vycházet z běžné rychlosti pohybu osob ve stanici, u doby před pohybem musíme vycházet z dostupné odborné literatury a provedených evakuačních experimentů.

### 2.3.1. Rychlost pohybu

V inženýrské praxi je možné pro rychlost pohybu přijmout určitá zjednodušení a vycházet z předpokladu, že rychlost pohybu odpovídá běžné rychlosti pohybu osob v daném prostředí a to z následujících důvodů:

- Lze předpokládat, že rychlost pohybu za mimořádné události bude stejná nebo vyšší, jedná se tedy tzv. o chybu na stranu bezpečnou (tedy případné zrychlení pohybu povede k bezpečnější evakuaci)
- Pravděpodobnostní rozdělení rychlosti pohybu za běžné situace v sobě zahrnuje vliv všech demografických a jiných skupin, včetně těch nejpomalejších, u kterých nelze při evakuaci předpokládat výrazné zrychlení (zejména senioři nebo osoby s omezenou možností pohybu). Tyto nejpomalejší skupiny zároveň určují výsledný evakuační čas v situaci, kdy rychlost pohybu hraje rozhodující roli, protože evakuace, respektive její simulace, je ukončena až v případě evakuace všech osob.

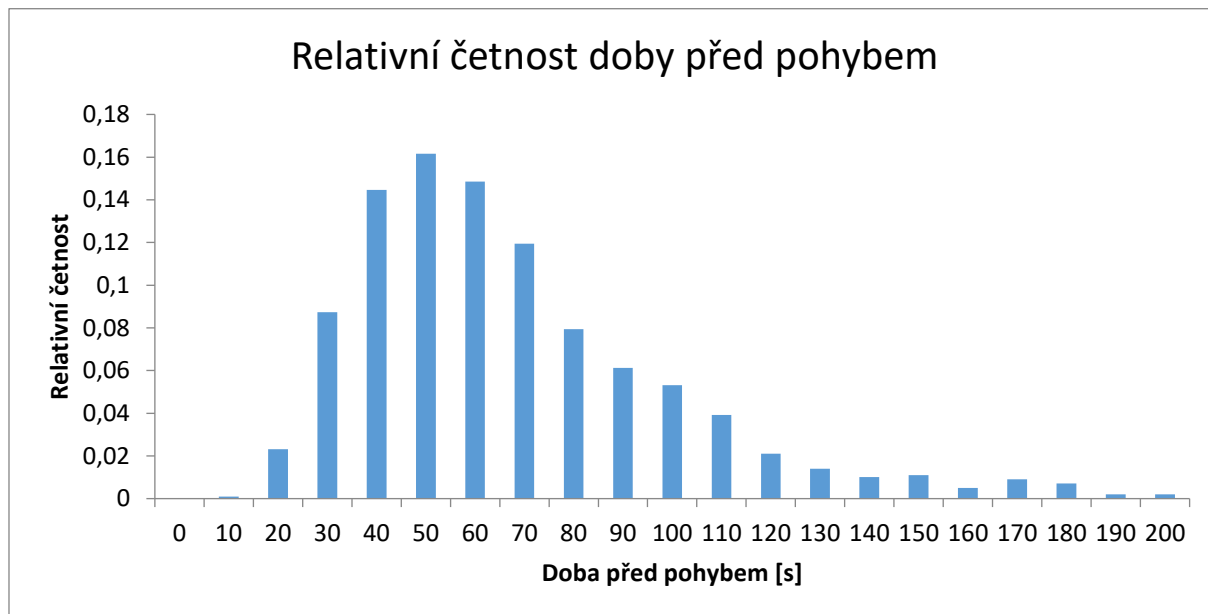
Na Obr. 9 jsou relativní četnosti rychlostí pohybu zjištěné z měření v Pardubicích, pro potřeby modelu pohybu osob je lze přibližně aproximovat normálním rozdělením se střední hodnotou 1,33 m/s a směrodatnou odchylkou 0,31 m/s. Jako maximální a minimální hodnoty lze použít 1% a 99% kvantil, tedy 0,61 m/s a 2,05 m/s. Tuto aproximaci lze použít u obdobných nádraží s obdobným demografickým složením.



Obr. 9: Empirické relativní četnosti rychlosti pohybu získané při měření ve stanici Pardubice hlavní nádraží. Pro potřeby modelu pohybu osob lze použít jako přibližnou aproximaci normální rozdělení se střední hodnotou 1,33 m/s a směrodatnou odchylkou 0,31 m/s. Jako maximální a minimální hodnoty lze použít 1% a 99% kvantil, tedy 0,61 m/s a 2,05 m/s.

### 2.3.2. Doba před pohybem

Doba před pohybem je doba, po kterou evakuované osoby reagují na výzvu k evakuaci, sbírají si osobní věci atd. Z pohledu modelu evakuace osob je to doba, po kterou evakuovaná osoba setrvává na svém výchozím místě a po jejím uplynutí zahájí evakuaci, např. pohyb k nejbližšímu východu. Tuto veličinu lze zjistit pouze experimentálně a je tak nutné vycházet z dostupných odborných publikací. Na Obr. 10 je příklad relativních četností doby před pohybem, které byly stanoveny na základě studií [2],[3] a [4] a které integruje dílčí poznatky v nich uvedených. Klíčové je zachování log-normálního rozdělení, které odpovídá dostupným empirickým poznatkům. Rozdělení má parametry  $\mu = 4$  a  $\sigma = 0,5$ . Střední hodnota doby před pohybem je pak přibližně 60 s se směrodatnou odchylkou přibližně 30 s. Jako limitní hodnoty maxima a minima lze použít přibližné hodnoty 5% a 95% kvantilu, tedy 20 s a 120 s.



Obr. 10: Příklad relativní četnosti doby před pohybem. Log-normální rozdělení s parametry  $\mu = 4$  a  $\sigma = 0,5$ . Střední hodnota doby před pohybem je pak přibližně 60 s se směrodatnou odchylkou přibližně 30 s. Jako limitní hodnoty maxima a minima lze použít přibližné hodnoty 5 % a 95 % kvantilu, tedy 20 s a 120 s.

## 2.4. Návrh evakuačního scénáře

Návrh evakuačních scénářů je klíčovým krokem v přípravě evakuačního modelu. Navržené scénáře musí zohlednit jak různé příčiny vzniku mimořádné události, tak možnost omezené dostupnosti některých východů nebo rozptylových ploch.

### 2.4.1. Příčina vzniku mimořádné události

Definice pravděpodobných příčin vzniku mimořádné události, a tedy příčin evakuace, je klíčovým výchozím parametrem, který bezprostředně ovlivňuje evakuační scénář a tedy předpokládaný průběh evakuace. Příčiny vzniku mimořádné události je nutné identifikovat kompletně ve fázi Záměru projektu (například na základě [8]), protože jsou zcela zásadní pro návrh evakuačního scénáře a průběh evakuace. Obecně můžeme příčiny rozdělit do dvou kategorií:

- Neúmyslné mimořádné události neboli „nehody“
- Mimořádné události, jejichž příčinou je úmyslné jednání

Typickým představitelem neúmyslné mimořádné události je požár, který je nedílnou součástí návrhu každé stavby v rámci řešení požární bezpečnosti a pro větší stavby je zpravidla požadován i mikroskopický model evakuace. Dalším typem mimořádné události, která spadá do této kategorie, pak může být například únik nebezpečných látek, který však není v případě dopravních staveb pravděpodobný, nebo jiná specifická rizika, daná konkrétním stavebním nebo technologickým řešením. Vznik těchto mimořádných událostí se předpokládá a jsou nedílnou součástí návrhu stavby. Snaha o eliminaci jejich vzniku a minimalizaci dopadů je promítnuta do řady stavebních předpisů a norem, jež do značné míry definují stavební a technologické řešení.

Při návrhu evakuačních scénářů pro tento typ mimořádné události tak lze přijmout tyto výchozí předpoklady:

- Všechny východy označené jako evakuační jsou dostupné
- Ostatní východy mohou být dostupné po omezenou dobu
- Všechny rozptylové plochy jsou dostupné
- Mimořádná událost bude včas detekována a evakuace bude neprodleně vyhlášena

Pod úmyslné mimořádné události spadají zejména různé formy útoků, jako například nástražné výbušné zařízení nebo střelec a cílem tohoto úmyslného jednání je maximalizace škod na majetku a zdraví. Oproti nehodám je tak zásadní rozdíl ve snaze obejít použítá bezpečnostní opatření, což se do návrhu evakuačního scénáře promítne následujícím způsobem:

- Některé východy, jak evakuační tak běžné, nejsou pro evakuaci dostupné
- Některé rozptylové plochy nejsou pro evakuaci dostupné
- Evakuace bude vyhlášena se zpožděním
- Atd.

#### 2.4.2. Definice směrů evakuace

Definice směrů evakuace je dána třemi faktory:

- Umístěním zdroje nebezpečí
- Umístěním dostupných východů
- Příčinou vzniku mimořádné události

V případě nehod je zdroj nebezpečí zpravidla jeden, např. ohnisko požáru nebo zdroj úniku nebezpečných látek. Východy označené jako evakuační jsou dostupné všechny, ostatní východy jsou dostupné po omezenou dobu v závislosti na rychlosti šíření kouře nebo nebezpečných látek. Rozptylové plochy jsou dostupné všechny po celou dobu evakuace. V tomto případě lze předpokládat, že u otevřených prostor (např. haly výpravních budov) osoby využijí nejbližší možný východ na rozptylovou plochu bez ohledu na to, jestli je evakuační. V případě nepřehledných prostranství nebo uzavřených koridorů se část osob bude řídit evakuačním značením, část osob potom opustí budovu východem, kterým do budovy vstoupila. Vzhledem k tomu, že tento poměr není možné obecně definovat, je vhodné ověřit více variant s různým poměrem.

V případě útoku je nutné zvážit možnost několika směrů napadení a je nutné ověřit průběh evakuace v případě, že dojde k zablokování některých východů a rozptylových ploch. Osoby s největší pravděpodobností využijí nejbližší dostupný východ (v případě otevřených a přehledných prostor), případně se vydají cestou, kterou do budovy přišly. Rovněž je nutné zohlednit skupinu osob, která se pokusí využít značenou evakuační cestu a evakuační východ, který ovšem bude zablokovaný a bude se tak muset vrátit k východu jinému. Vzhledem k vysoké neurčitosti poměru osob, které využijí výše zmíněné varianty, je nutné pracovat s větším množstvím různých variant a poměrů.

#### 2.4.3. Časová osa

Časová osa mimořádné události definuje časovou posloupnost dílčích událostí, případně místo jejich vzniku atd. Správné nastavení jednotlivých časových kroků evakuačního scénáře je klíčové zejména v prvních vteřinách vzniku mimořádné události. Je nutné věrohodně identifikovat

technologické a personální možnosti řešeného objektu z pohledu schopnosti detekovat příčinu vzniku mimořádné události, příčinu vyhodnotit a na událost adekvátně reagovat – vyhlásit evakuaci (případně uvést v chod další opatření jako např. odtah kouře atd.). Schopnost detekovat mimořádnou událost může být dána např.:

- Reakční dobou EPS
- Frekvencí obchůzek ostrahy
- Hustotou kamerového systému
- Obsazeností budovy v provozní době (např. kanceláře)
- Atd.

V momentě, kdy je vyhlášena evakuace, pak může započít její samotná simulace, která je zahájena odpočtem doby před pohybem (2.3.2). Následuje pohyb agentů k východu dle definovaných směrů evakuace a opuštění budovy. Časová osa evakuace může tedy vypadat například takto (uvedené časové hodnoty jsou pouze ilustrativní):

1.  $t = 0$  s – Vypuknutí požáru v zázemí stanice (zkrat v elektrickém rozvaděči)
2.  $t = 0$  s – Všechny evakuační východy jsou dostupné
3.  $t = 120$  s – detekce požáru prostřednictvím EPS (doba zakouření místnosti požáru)
4.  $t = 240$  s – selhání pokusu o uhašení požáru ostrahou a vyhlášení evakuace (doba na základě velikosti objektu a rychlosti pohybu ostrahy)
5.  $t = 240$  s – 360 s doba před pohybem a zahájení evakuace do evakuačních východů
6. Ukončení evakuace – poslední evakuovaná osoba dorazila na rozptylovou plochu.

Časová osa se může dále větvit, případně zohlednit různé technologické vybavení budovy, další body by tak mohly například být:

- Zablokování některých východů v daném čase (včetně  $t = 0$  s)
- Otevření východů na pokyn EPS
- Aktivace různých technologických opatření jako požární stěny, odstavení eskalátorů, odtah kouře atd.
- Omezení rychlosti pohybu vlivem zakouření
- Příjezd vlaku, který nebylo možné z důvodu krátké časové prodlevy odklonit
- Atd.

Časová osa je důležitá zejména pro vyhodnocení evakuačních scénářů, kdy je nutné porovnat časový průběh evakuace s časovým průběhem mimořádné události, např. šířením kouře nebo nebezpečných látek (čili jestli se osoby stihnou dostat z budovy nebo její části dříve, než bude jejich schopnost k evakuaci omezena, například omámením toxickými látkami). Obecně nelze předpokládat, že evakuace bude vyhlášena ve stejný okamžik, jako došlo ke vzniku mimořádné události. Pokud tuto časovou prodlevu nelze stanovit přesně, je nutné ji odhadnout s dostatečnou rezervou.

#### 2.4.4. Evakuační scénář

Pod pojmem evakuační scénář se pak v rámci této metodiky a problematiky modelování pohybu osob myslí konkrétní kombinace statických a dynamických okrajových podmínek, směrů evakuace a časové osy, která odpovídá jedné mimořádné události. Evakuační scénář se tedy obecně skládá z těchto bodů:

- Konkrétní specifikace mimořádné události, pro kterou je daný evakuační scénář vytvořen
- Podmnožina statických okrajových podmínek se specifikací dostupných a nedostupných východů nebo evakuačních ploch, případně s úpravou geometrie jako např. nedostupné plochy nebo koridory zasažené požárem, útokem atd.
- Podmnožina dynamických okrajových podmínek, např. úprava rozmístění osob v objektu v závislosti na nedostupných plochách (viz. předchozí bod) nebo navýšení/snížení celkového počtu osob, případně více variant těchto parametrů.
- Definice konkrétních směrů evakuace od zdroje nebezpečí (příčiny mimořádné události) k dostupným východům a rozptylovým plochám.
- Definice konkrétní časové osy pro danou mimořádnou událost. Zásadní je především prodleva mezi vznikem mimořádné události a vyhlášením evakuace, případně doba, kdy jsou otevřeny evakuační nebo jiné východy, případně je přístup k některým východům znemožněn.

Pro komplexní návrh evakuace je tak zpravidla potřeba vytvořit několik evakuačních scénářů pro různé mimořádné události, různou obsazenost budovy atd.

### 2.5. Model evakuace - stanovení doby potřebné pro evakuaci (Required Safe Egress Time - RSET)

Pokud jsou stanoveny veškeré okrajové podmínky a vstupní veličiny, je možné přistoupit k samotné tvorbě evakuačního modelu osob, kdy doba potřebná pro evakuaci, je doba od vzniku mimořádné události po okamžik, kdy poslední osoba opustí nebezpečnou oblast (např. dorazí na rozptylovou plochu). Přesný postup tvorby takového modelu je zcela závislý na použitém nástroji, který může být jak na komerční, tak navolně šiřitelné bázi a je nutné dodržet všechny postupy a doporučení dané výrobcem daného produktu nebo příslušnou komunitou zodpovědnou za volně šiřitelné nástroje.

#### 2.5.1. Dostupné nástroje pro mikroskopické modely pohybu osob a evakuace

Modelovacích nástrojů je v současnosti dostupná celá řada, mezi komerčními produkty lze jmenovat např:

- Pathfinder
- FDS+EVAC
- Simulex
- LEGION Simulator
- Exodus
- a řada dalších,



kteří se liší různým technologickým přístupem k dané problematice, komfortem uživatelského rozhraní atd. Existuje i řada volně dostupných nástrojů, které jsou však vhodné spíše pro výzkumné nebo výukové účely, zejména kvůli malému uživatelskému komfortu. Klíčovým předpokladem však je, že zvolený nástroj musí být validován a verifikován v souladu s ISO 16730-1 [5] a IEEE Standard 1012 [6].

### 2.5.2. Modelování náhodných procesů

Doba potřebná pro evakuaci je náhodná veličina (respektive kvazi-náhodná, ale pro zjednodušení se budeme v této metodice držet výrazu náhodná) a nelze tedy stanovit její přesnou hodnotu na základě jednoho exaktního výpočtu, můžeme ji však velmi přesně odhadnout s využitím teorie náhodných procesů a matematické statistiky. Podrobný popis těchto metod není předmětem metodiky a předpokládá se jejich základní znalost, níže je uvedeno několik základních bodů, které je nutné zohlednit:

- Vstupní veličiny a okrajové podmínky, které mají charakter náhodné veličiny (např. rychlost pohybu, doba před pohybem, atd.) je nutné do modelu vložit rovněž jako náhodnou veličinu.
- Výchozí rozmístění osob v modelu a jejich charakteristiky jsou náhodné.
- Pro každou variantu modelu je nutné provést více než jednu simulaci, přičemž v každé simulaci dojde k novému vygenerování všech náhodných veličin dle bodu 1 a 2. Pokud není možné tento proces automatizovat, je nutné vytvořit více modelů.
- Minimální počet simulací, které splní podmínku uvedenou v bodě 3 je dán požadavkem na konvergenci. Zjednodušeně lze předpokládat, že minimální počet je 10 simulací pro každou variantu modelu.
- Výsledky simulací je nutné statisticky vyhodnotit a výsledek rovněž uvádět jako statistickou náhodnou veličinu (např. průměr a 95% kvantil doby potřebné pro evakuaci) včetně příslušné nejistoty (např. směrodatné odchylky), nebo jako statistické rozdělení.

### 2.6. Stanovení doby dostupné pro evakuaci (Available Safe Egress Time - ASET)

Dostupnou dobu pro evakuaci je možné stanovit několika způsoby podle typu mimořádné události, např.:

- Výpočtem dle platných norem požární bezpečnosti staveb
- Modelem zakouření
- Modelem šíření nebezpečných látek
- Požární odolností stavby
- Rychlostí nástupu povodně
- Atd.

Pokud je bráno v úvahu více evakuačních scénářů pro různé mimořádné události, musí být doba dostupná pro evakuaci stanovena pro každý z nich, přičemž může být ovlivněna celou řadou jak externích, tak interních faktorů.

## 2.7. Vyhodnocení evakuačních scénářů ve fázi Záměru projektu

Evakuační scénář je vyhovující v případě, že doba dostupná pro evakuaci (ASET) je větší, než doba potřebná pro evakuaci (RSET). Je však nutné zohlednit, že doba potřebná pro evakuaci je náhodná veličina odhadnutá s danou nejistotou a že model je v podrobnosti Záměru projektu, což může do značné míry ovlivnit i stanovenou dobu dostupnou pro evakuaci. Posouzení je tak nutné doplnit o bezpečnostní koeficient stupně dokumentace ( $K_{sd}$ ), který by měl odpovídat charakteru stavby a podrobnosti dostupné dokumentace. Obecnou velikost tohoto koeficientu je obtížné definovat, avšak je možné sledovat následující úvahu: Obvyklá nejistota mikroskopických modelů pěších je zpravidla menší než 10 %,  $K_{sd}$  je tak možné předpokládat v rozmezí 1,1 až 1,2. Pokud to však okolnosti stavby umožňují, je vhodné volit  $K_{sd}$  větší a zajistit tak vyšší rezervu, jak pro posouzení stavby v rámci Dokumentace pro stavební povolení, tak pro budoucí rekonstrukce nebo navýšení obrátky cestujících. Posouzení evakuačních scénářů je pak provedeno dle následující nerovnice:

$$RSET * K_{sd} \leq ASET$$

V případě, že není možné ASET stanovit, musí být evakuace navržena tak, aby byl výsledný RSET minimální možný.

## 3 NÁVRH A OVĚŘENÍ LOKÁLNÍCH PARAMETRŮ STAVBY VE FÁZI DOKUMENTACE PRO STAVEBNÍ POVOLENÍ

Ve fázi dokumentace pro stavební povolení jsou již známy veškeré podrobnosti stavby, včetně vnitřního uspořádání, funkce jednotlivých částí, umístění reklam a itineráře nebo případných úprav dispozice stavby oproti Záměru projektu. Je tak nutné ověřit návrh evakuace, respektive aktualizovat evakuační model, zejména z těchto aspektů:

- Změny dispozice stavby oproti záměru projektu
- Umístění mobiliáře
- Definice minimálního průchozího prostoru nebo plochy pro zachování bezpečné evakuace
- Případná změna rozmístění osob v objektu

Obecně by měl být v maximální míře použitelný model vytvořený v rámci Záměru projektu, který by měl být pouze doplněn a upraven. V případě, že ve fázi Záměru projektu žádný model vytvořený nebyl, nebo jej není možné z různých důvodů použít, je potřeba vytvořit model nový dle postupu uvedeného pro Záměr projektu.

### 3.1. Analýza změny statických okrajových podmínek modelu

Předpokládá se, že v této fázi projektové dokumentace bude použit model vytvořený ve fázi Záměru projektu a v tomto modelu budou provedeny pouze dílčí změny, které budou adresovat aktuální stav projektové dokumentace.

#### 3.1.1. Změna dispozice stavby

V projektové dokumentaci je nutné identifikovat změny dispozice stavby (oproti verzi projektové dokumentace použité ve fázi Záměru projektu), které by mohli mít dopad na průběh evakuace.

Může se jednat například o:

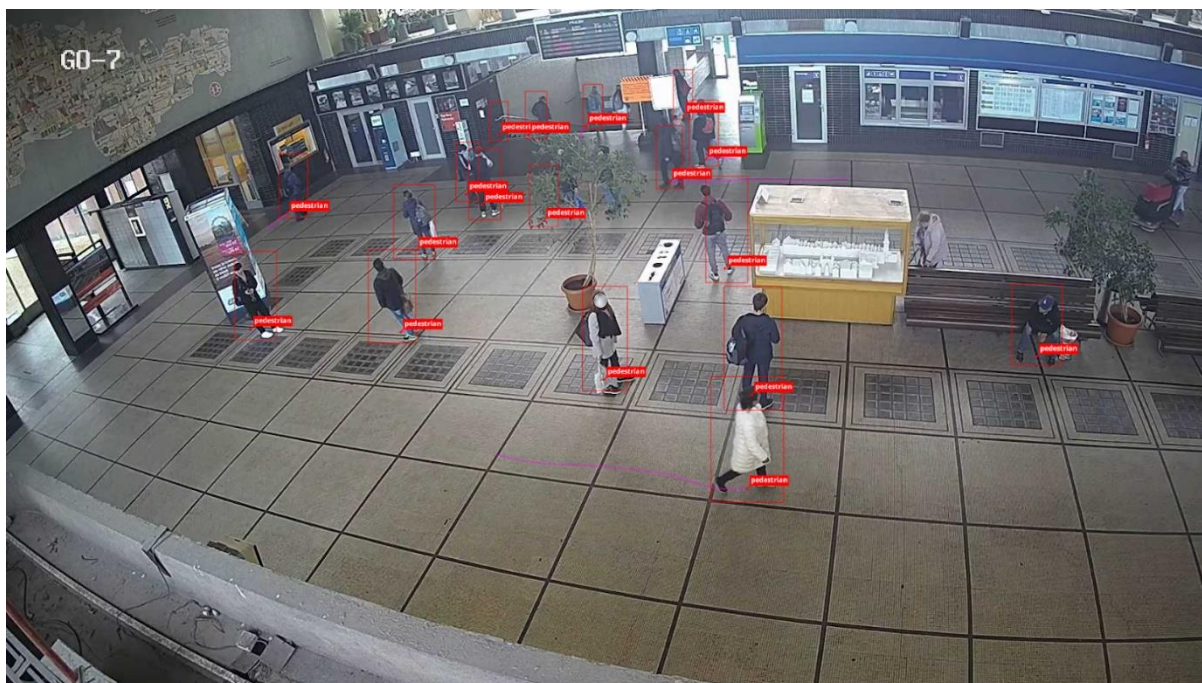
- Změnu počtu, umístění a rozměrů východů
- Změna velikosti a přístupnosti rozptylových ploch
- Změna uspořádání rozptylových ploch (např. umístění různých kiosků, přístřešků, stojanů na kola atd.)
- Změna šířky koridorů nebo vnitřních rozměrů
- Změna umístění nosných prvků stavby, jako např. sloupů
- atd.

### 3.1.2. Návrh vnitřního uspořádání

Změna, respektive návrh, vnitřního uspořádání se může od prvotního architektonického návrhu nebo studie významně lišit a je nutné jej v modelu evakuace zohlednit v dostatečné podrobnosti, jako například:

- Umístění laviček nebo vytvoření celých odpočinkových nebo čekacích zón
- Umístění drobných prvků jako jsou odpadkové koše nebo dekorace
- Umístění výdejních automatů
- Umístění zeleně
- Umístění dekorací
- atd.

Důležitost zohlednění těchto prvků v modelu evakuace je možné demonstrovat následujícím příkladem. Na Obr. 11 je záběr z měřicího zařízení ve stanici Pardubice hlavní nádraží, na kterém se nemusí na první pohled jevit nic špatného.

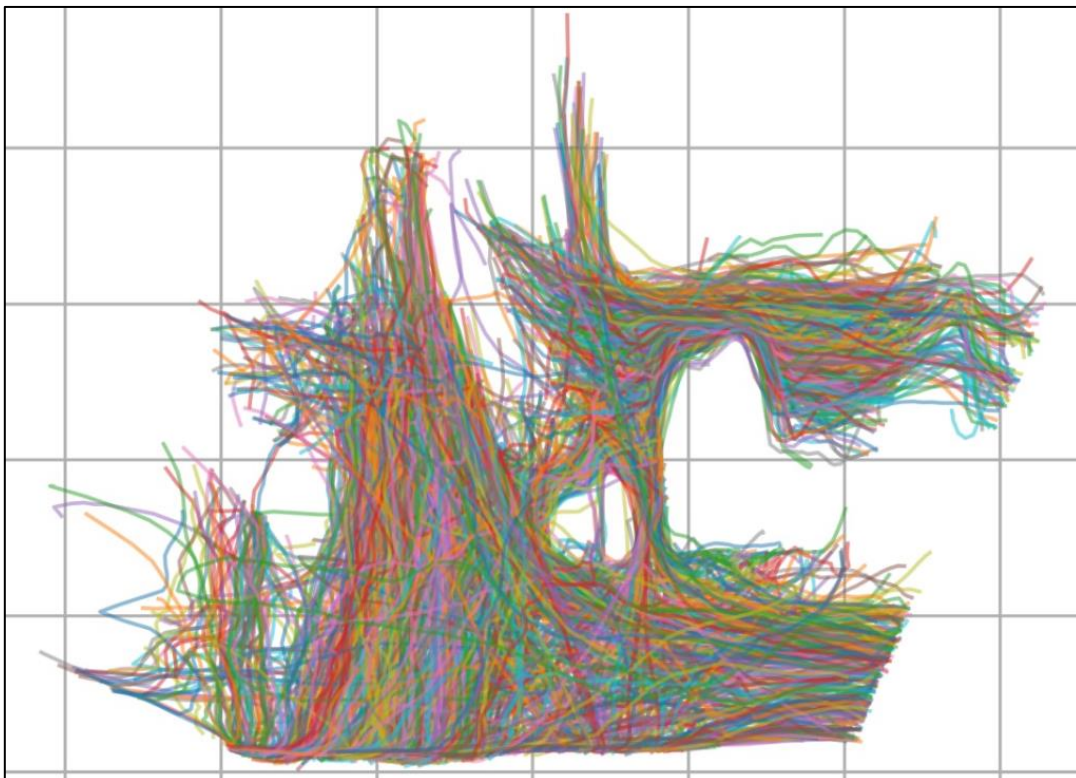


Obr. 11: Příklad omezení plochy určené k pohybu osob nevhodně umístěnými prvky itineráře.



Na Obr. 12 je však jasně patrné, že trajektorie osob jsou ovlivněny hned čtyřmi nevhodně umístěnými prvky a sice:

- Reklamním bannerem
- Zelení
- Odpadkovým košem, který je navíc nízký a v davu tak není viditelný
- Dekorací v podobě vitríny



Obr. 12: Dopad nevhodně umístěných prvků itineráře na trajektorie osob. (reklamní banner, zeleň, odpadkový koš, vitrína). Mřížka na spodním obrázku má velikost 5 x 5 m.

V normálním provozu toto nevhodné umístění vede k jistému nepohodlí osob a drobnému zdržení, v případě vzniku mimořádné události a evakuace však tyto prvky mohou zapříčinit výrazné prodloužení evakuace, případně i vznik vážných zranění, protože výrazným způsobem omezují možnost pohybu. Zvláště nebezpečné jsou z tohoto pohledu nízké prvky, jako např. odpadkové koše, které nejsou v davu nebo v tlačenci vidět a mohou tak být příčinou pádu, který je v případě vysoké hustoty osob i život ohrožující, protože může dojít k ušlapání.

### **3.1.3. Definice minimálního průchozího prostoru nebo plochy**

V rámci definice statických podmínek je tak nutné definovat minimální průchozí prostor a prostor pro pohyb osob, který bude závazným parametrem návrhu a modelu evakuace. Jeho nerespektování při následném provozu objektu je pak z pohledu porušení bezpečnosti srovnatelné se zablokováním únikového východu. Zároveň je nutné jasně vymezit plochy, do kterých je možné umístit dekorace, zeleň, reklamní prvky atd.

### **3.1.4. Dostupnost rozptylových ploch**

Obdobně jako u dispozice stavby nebo vnitřního uspořádání může dojít ke změnám i v případě rozptylových ploch. Může jít například o:

- Dodatečné umístění různých kiosků, květináčů atd.
- Instalaci většího počtu laviček nebo jiného mobiliáře
- Změna využití komunikací, např. vytvořením cyklostezek
- Záměnou travnaté plochy za porost
- Atd.

## **3.2. Analýza změny dynamických okrajových podmínek modelu**

V případě dynamických okrajových podmínek lze předpokládat změnu pouze v případě rozmístění osob v objektu, pokud došlo k výrazné změně v rozmístění funkčních prvků. Pokud došlo k navýšení návrhového počtu osob o více než předpokládanou rezervu, je rovněž nutné tento aspekt zohlednit, avšak lze očekávat podstatné navýšení evakuačního času, což spolu s dalšími změnami může vést k nevyhovujícímu stavu evakuace.

## **3.3. Návrhová populace**

Změny v návrhové populaci se nepředpokládají, protože by nemělo dojít ke změně chování osob v průběhu projektové přípravy stavby.

## **3.4. Evakuační scénáře**

Evakuační scénáře jsou závislé zejména na příčině vzniku mimořádné události, která není závislá na projektovém stupni dokumentace a možné hrozby je nutné identifikovat již ve fázi záměru projektu. Evakuační scénáře tak mohou být ovlivněny dílčím způsobem v případě:

- Výrazné změny dispozice stavby, rozmístění východů nebo rozptylových ploch
- Výrazné změny typů hrozeb
- Z toho vyplývající výrazné změny směrů evakuace

V takovém případě je nutné postupovat dle kapitoly 2.4 a vytvořit zcela nové evakuační scénáře.

### 3.5. Model evakuace - stanovení doby potřebné pro evakuaci (Required Safe Egress Time - RSET)

Postup stanovení doby potřebné evakuace je stejný jako ve fázi Záměru projektu. Obecně se nepředpokládají výrazné změny této doby, pokud nedošlo k zásadním změnám v dispozici stavby. Drobné změny by měly být pokryty v rámci koeficientu stupně dokumentace  $K_{sd}$  (2.7).

### 3.6. Stanovení doby dostupné pro evakuaci (Available Safe Egress Time - ASET)

Pokud došlo ke změnám, které tuto dobu ovlivňují, je nutné ji znovu stanovit stejným způsobem jako v případě Záměru projektu. Pokud došlo ke změně pouze v rámci některého scénáře nebo příčiny vzniku mimořádné události, je přepočtena pouze tato doba.

### 3.7. Vyhodnocení evakuačních scénářů ve fázi Dokumentace pro stavební povolení

Vyhodnocení evakuačních scénářů se provádí stejným způsobem jako ve fázi Záměru projektu, ale již není nutné zavádět bezpečnostní koeficient  $K_{sd}$ , protože podoba všech parametrů evakuace je konečná. Posouzení konečných evakuačních scénářů je pak provedeno dle následující nerovnice:

$$RSET \leq ASET$$

Která musí platit ve všech návrhových případech (pro všechny evakuační scénáře) a při zohlednění všech nejistot popsaných v kapitole 2.5.2. V případě, že není možné ASET stanovit, musí být evakuace navržena tak, aby byl výsledný RSET minimální možný.

## 4 ZÁVĚR A ZAJIŠTĚNÍ PARAMETRŮ EVAKUACE PŘI PROVOZU STAVBY

---

Pokud všechny návrhové evakuační scénáře vyhoví, lze stavbu považovat za bezpečnou (pro dané mimořádné události) a pokračovat v projektových přípravách a realizaci. Problém však zpravidla nastává v momentě kolaudace dané stavby a uvedení do provozu, kdy zeslábné dohled nad provozovatelem a může dojít k zásadnímu porušení předpokladů, ze kterých evakuační model vycházel. Zejména se pak jedná o:

- Živelné umístění dekorací, které výrazně ovlivňují průchozí prostor nebo plochu pro shromáždění osob (zejména v předvánočním období pak tyto dekorace představují i přímé požární riziko)
- Rozmístění velkoplošných reklam, bannerů a poutačů
- Navýšení obrátky cestujících oproti původnímu návrhu bez změny výpravní budovy
- Vypravení mimořádných spojů s velkým počtem cestujících
- Atd.

Z těchto důvodů je tak nutné v projektové dokumentaci jasně definovat využití jednotlivých ploch v prostoru řešené stavby (zpravidla výpravní budovy) a tento způsob využití následně kontrolovat a vynucovat, stejně jako dostupnost všech uvažovaných východů a rozptylových ploch. Jinak není možné zajistit dlouhodobou spolehlivost navržených postupů evakuace.



## 5 ZDROJE

---

- [1] SŽ SM011, čj. 23385/2022-SŽ-GŘ-O6, 5. dubna 2022 nebo pozdější
- [2] Schröder, B.: Multivariate Methods for Life Safety Analysis in Case of Fire, 2017.
- [3] Galea, E. R., Deere, S. J., Hopkin, C. G.: A study of response behaviour in a Theatre during a live performance, 2015.
- [4] Ruggiero, L., Erica D. K.: Corrigendum to “A Pre-Evacuation Database for Use in Egress Simulations”, Jedná se o opravu článku: A Pre-Evacuation Database for Use in Egress Simulations, 2019.
- [5] ISO 16730-1:2015(E) - Fire Safety Engineering — Procedures and Requirements for Verification and Validation of Calculation Methods. 2015. International Organization for Standardization.
- [6] IEEE 1012-2016 - IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [7] SM122, čj. S44741/2019-SŽDC-GŘ-O23, 8. 8. 2019 nebo pozdější
- [8] ZÁKLADY OCHRANY MĚKKÝCH CÍLŮ, Soft Targets Protection Institute, z.ú. (STPI), Praha, 2016
- [9] <https://kambrno.cz/aktuality/setkejte-se-s-finalisty-nejvetsi-architektonicke-souteze-u-nas-brno-nove-hlavni-nadrazi/>
- [10] [www.cd.cz](http://www.cd.cz)