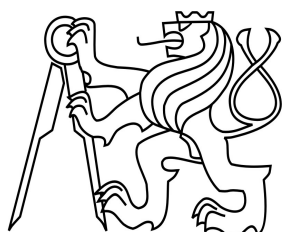


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

Diplomová práce

HODNOCENÍ EVAKUACE OSOB Z VLAKOVÉHO VOZU CityElefant

EVACUATION ANALYSIS OF CityElefant TRAIN CAR

Bc. Veronika Pešková

Vedoucí práce Ing. Hana Najmanová

2019





ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Pešková</u>	Jméno: <u>Veronika</u>	Osobní číslo: <u>423748</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Integrální bezpečnost staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Hodnocení evakuace osob z vlakového vozu CityElefant</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Evacuation analysis of CityElefant train car</u>	
Pokyny pro vypracování: Seznamte se s aktuálním stavem poznání a terminologií problematiky evakuace osob v prostředí osobních železničních vozidel. Proved'te literární rešerši o uskutečněných evakuačních experimentech, legislativních požadavcích a dalších specifikách evakuace osob z železničních vozidel. Navrhněte, realizujte a vyhod'te řízený evakuační experiment mimořádného výstupu osob z vlakové jednotky CityElefant. Na základě zvolených proměnných vstupních parametrů proved'te citlivostní analýzu experimentálních dat. Získané poznatky vyhodnot'te, mimo jiné formou komparativní studie s daty získanými matematickým modelováním.	
Seznam doporučené literatury: MARKOS, Stephanie H. a John K. POLLARD. Passenger Train Emergency Systems: Single-Level Commuter Rail Car Egress Experiments. 2015 OSWALD, M., C. LEBEDA, U. SCHNEIDER a H. KIRCHBERGER. Full-Scale Evacuation Experiments in a smoke filled Rail Carriage - a detailed study of passenger behaviour under reduced visibility. 2005 FRIDOLF, Karl, Daniel NILSSON a Håkan FRANTZICH. The flow rate of people during train evacuation in rail tunnels: Effects of different train exit configurations. Safety Science [online]. 2014, 62, 515–529. ISSN 0925-7535. Dostupné z: doi:10.1016/j.ssci.2013.10.008 LOC & PAS TSI 1302/2014. Locomotives and passenger rolling stock. 2014 ATOC Vehicles Standards AV/ST9002, Vehicle Interiors Design for Evacuation and Fire Safety. 2002	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Hana Najmanová</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>1.10.2018</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>6.1.2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>2.10.2018</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	--

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Veronika Pešková

Název diplomové práce: Hodnocení evakuace osob z vlakového vozu CityElefant

Základní část: Požární bezpečnost podíl: 100 %

Formulace úkolů: Seznámit se s problematikou evakuace osob z železničních vozidel.

Provést literární rešerši o uskutečněných evakuačních experimentech, legislativních požadavcích a dalších specifikách evakuace osob z železničních vozidel.

Navrhnout, realizovat a vyhodnotit řízený evakuační experiment z jednotky CityElefant.

Provést citlivostní analýzu experimentálních dat.

Získané poznatky vyhodnotit, mj. komparací s daty z matematického modelování.

Podpis vedoucího DP:

Datum: 01.10.2018

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem na této diplomové práci pracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů. Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících a právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 6.1.2019

.....

Bc. Veronika Pešková

Poděkování

Velice bych chtěla poděkovat vedoucí této diplomové práce Ing. Haně Najmanové, a to především za odborné vedení a věcné připomínky k práci, za vstřícný přístup a za pomoc a rady při realizaci a organizaci evakuačního experimentu. Dále děkuji Ing. Marku Bukáčkovi za odborné konzultace týkajících se analýzy experimentálních dat a Bc. Lukáši Kuklíkovi za spolupráci při organizaci a realizaci evakuačního experimentu a za komentáře k analyzovaným výsledkům.

Jelikož se praktická část této práce opírá především o reálný experiment evakuačních výstupů z vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 CityElefant, ráda bych poděkovala Výzkumnému ústavu kolejových vozidel a.s., díky jejichž spolupráci a poskytnutým prostředkům se mohl tento experiment realizovat. Děkuji za podpoření této diplomové práce grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS18/107/OHK1/2T/11 Využití pokročilých modelů požáru a pohybu osob v požárním inženýrství zapůjčením videokamer, díky kterým bylo možné během experimentu měřit a následně vyhodnocovat potřebná data.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat všem dobrovolníkům, kteří se evakuačního experimentu zúčastnili, a to jak figurantům, tak členům organizačního týmu, za pomoc s hladkým průběhem evakuačních výstupů. Speciální díky patří mé rodině, zejména rodičům, za podporu a vytvoření báječných podmínek po celou dobu studia.

Úvodní slovo vedoucího diplomové práce

V moderní době požárního inženýrství je pozornost stále vyšší měrou zaměřována na nástroje matematického modelování a v této návaznosti i na relevantní vstupní data. Výjimkou není ani problematika evakuace osob z železničních vozidel, představující při hodnocení i modelování pohybu osob značné výzvy.

Vzhledem k tomu, že tato oblast výzkumu, která mimo jiné zahrnuje evakuační experiment z vlakového vozu, je svým rozsahem značně náročná, bylo její zpracování rozděleno do dvou vzájemně propojených diplomových prací:

- **Hodnocení evakuace osob z vlakového vozu CityElefant**, zpracované Bc. Veronikou Peškovou, a
- **Citlivostní analýza modelů evakuace osob z vlakového vozu**, zpracované Bc. Lukášem Kuklíkem.

Společným základem obou diplomových prací je návrh a realizace výše zmíněného evakuačního experimentu, na kterém se oba autoři podíleli společně. Analýza a vyhodnocení získaných experimentálních dat je dále předmětem praktické části diplomové práce *Hodnocení evakuace osob z vlakového vozu CityElefant*. Využití a validace matematického modelu za pomoci experimentálních dat, modelování rozšířených evakuačních scénářů a citlivostní analýza matematických modelů je náplní praktické části diplomové práce *Citlivostní analýza modelů evakuace osob z vlakového vozu*.

Za účelem ucelení získaných poznatků v obou diplomových pracích jsou jejich dílčí výsledky navzájem využívány, a z tohoto důvodu je možné, že se v diplomových pracích objevují tematicky podobné kapitoly. V částech diplomových prací, kde dochází k vzájemnému využití dat, jsou tato místa označena v souladu se základními pravidly citační etiky.

Obsah

Abstrakt.....	IX
Abstract.....	X
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	XI
Úvod.....	12
1.1 Motivace.....	12
1.2 Cíle práce	12
1.3 Struktura práce	13
2 Současný stav poznání	14
2.1 Evakuace osob.....	14
2.1.1 Celková doba evakuace.....	14
2.1.2 Závislost rychlosti, hustoty a toku proudu osob	16
2.1.3 Behaviorální vlivy.....	18
2.2 Specifika evakuace osob z vlaků	19
2.2.1 Provedené experimenty.....	19
2.2.2 Legislativní požadavky na evakuaci osob z kolejových vozidel	28
2.2.3 Cvičná evakuace kolejových vozidel.....	31
2.2.4 Parametry ovlivňující rychlost evakuace	34
2.3 Vybavení vloženého vozu řady 071 požárně bezpečnostními prvky a zabezpečení pro evakuaci osob.....	38
2.3.1 Popis vlakového vozu	38
2.3.2 Popis prvků požární bezpečnosti vozu.....	41
2.3.3 Umožnění výstupu z vlakového vozu	43
3 Experiment evakuace osob z vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 (CityElefant)	45
3.1 Cíle experimentu	45
3.2 Základní informace	46
3.3 Experimentální plán	46
3.4 Evakuační scénáře.....	47
3.4.1 Specifikace figurantů	49
3.4.2 Specifikace druhů výstupu.....	51
3.4.3 Specifikace variability vnitřního koridoru	52
3.5 Metody měření	52
3.6 Průběh experimentu	54
3.7 Vyhodnocení experimentu	55
3.7.1 Nežádoucí vlivy ovlivňující výsledky evakuace.....	56
3.7.2 Celková doba evakuace.....	57
3.7.3 Průměrný tok osob na úrovni výstupu	62
3.7.4 Průběh evakuace na úrovni výstupu.....	64
3.7.5 Rychlost osob.....	67
3.7.6 Doba do zahájení pohybu.....	69

3.7.7	Způsob překonávání výškového rozdílu u výstupu.....	70
4	Příklad aplikace experimentálních dat pro účely matematického modelování	73
4.1	Stručný popis použitého evakuačního modelu.....	73
4.2	Porovnání experimentálních a modelových výsledků	74
5	Závěr.....	77
	Seznam obrázků.....	80
	Seznam tabulek.....	82
	Použitá literatura.....	83
	Seznam příloh.....	85
	Příloha 1 - Průzkum složení cestujících v EPJ071.....	86
	Příloha 2 - Průběhy evakuačních scénářů na úrovni výstupu.....	88

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou evakuace osob z železničních kolejových vozidel při mimořádné události. Teoretická část práce je zaměřena na současný stav poznání a rešerši dostupné literatury. V teorii je nastíněna problematika evakuace jako takové, specifika evakuace osob z kolejových vozidel, parametry ovlivňující celkový čas evakuace osob z vozu a přehled již provedených experimentů evakuace osob z vlaku společně s poznatky, které tyto zkoušky přinesly. Na základě teoretických znalostí byly sestaveny evakuační scénáře pro praktickou část této práce, kterou je realizace a vyhodnocení experimentu evakuace osob z vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 (dvoupodlažní jednotka CityElefant). Tato práce se zabývá zkoumáním vlivu složení evakuované skupiny, šířky vnitřního koridoru na úrovni výstupu a typu výstupu z vozu na celkovou dobu evakuace. Dále jsou vyhodnocena data týkající se pohybu osob ve voze, jako jsou tok osob či jejich rychlost pohybu, kooperace mezi cestujícími při evakuaci či způsob překonávání výstupu z vozu. V závěru práce je uveden příklad aplikace experimentálních dat pro účely matematického modelování pohyb osob ve formě porovnání vybraných experimentálních výsledků s matematickými modely stejných evakuačních scénářů, které jsou výsledkem související diplomové práce Citlivostní analýza modelů evakuace osob z vlakového vozu (Kuklík, 2019).

Klíčová slova

Evakuace; vlak; experiment; požární bezpečnost; behaviorální vlivy; celková doba evakuace; tok proudu osob; nouzová situace; detekce požáru; nouzový výstup;

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of evacuation of passengers from railway rolling stock in emergency. The theoretical part of the thesis is focused on the current state of art and on the research of available literature. The theoretical part of the thesis is focused on the current state of art and on the research of available literature, which outlines evacuation issues, specifics of evacuation of passengers from a rolling stock, including parameters influencing the total evacuation time, and knowledge which these experiments have brought. This theoretical background was used to create evacuation scenarios for the practical part of this work, which is the realization and evaluation of the evacuation experiment of passengers from the CityElefant. This thesis deals with the study of the influence of composition of the evacuated group, the width of the corridor and the type of output from the car for the total evacuation time. In addition, are evaluated data on the movement of people in a car, such as the flow rate of people or their speed of movement, cooperation between passengers during evacuation or how to overcome the exit from the car. The conclusion of the thesis is an example of the application of experimental data for the purposes of mathematical modeling of the movement of persons in the form of comparison of selected experimental results with mathematical models of the same evacuation scenarios resulting from the related diploma thesis Sensitivity analysis of evacuation models from a train vehicle (Kuklík, 2019).

Keywords

Evacuation; train; experiment; fire safety; human behaviour; total evacuation time; flow rate; emergency; fire detection; emergency exit;

Seznam použitých symbolů a zkratek

Latinské symboly

v	Rychlost osob	m/s
D	Hustota osob	osob/m ²
Q	Tok proudu osob	osob/s/m
q	Intenzita pohybu	m/s
lux	Jednotka intenzity osvětlení	lux
T	Celková doba evakuace	s
t	Čas evakuace	s
w	Světlá šířka	mm

Řecké symboly

σ	Směrodatná odchylka	-
μ	Průměrná hodnota	-

Zkratky

ASET	Available safe egress time (doba dostupná pro evakuaci)
ČD	České dráhy a.s.
DKV	Depo kolejových vozidel Praha
FRA	Federal Railroad Administration (Federální správa železnic)
ÖBB	Austrian National Railways
PHP	Přenosný hasicí přístroj
PIP	Požárně inženýrský přístup
RSET	Required safe egress time (doba potřebná pro evakuaci)
RSSB	Railway Safety and Standards Board
ZTP	Zdravotně tělesně postižený

1 Úvod

1.1 Motivace

Při navrhování požární bezpečnosti se můžeme setkat se dvěma odlišnými přístupy, které nám v České republice umožňuje Zákon o požární ochraně (zákon č. 133/1985) [1]. Prvním z nich je tzv. klasický přístup, tedy postup návrhu stanovený českou technickou normou. V případě požární bezpečnosti se jedná o normy řady ČSN 73 08xx. Další možností návrhu je tzv. „požárně inženýrský přístup“ (PIP). Tento odlišný přístup návrhu požární bezpečnosti využívá výpočetních metod, které podrobněji analyzují podmínky posuzovaného objektu s ohledem na jeho provoz a užívání.

Pomocí požárně inženýrského přístupu lze posuzovat také bezpečnou evakuaci osob. V rámci této kapitoly se řeší otázka, jak zajistit, aby se osoby z budovy zasažené požárem dostaly na bezpečné místo do doby, než přestanou být podmínky uvnitř budovy bezpečné a slučitelné se životem. Požární bezpečnost však neřeší pouze bezpečnost osob uvnitř budov, ale zabývá se také bezpečností v dopravních prostředcích či v tunelech.

Nástrojem pro ověřování bezpečných návrhů konstrukcí budov či vlaků jsou v dnešní době především nejúčinnější počítačové modely. U matematických modelů, které jsou nástrojem pro ověření celkové doby evakuace, je nezbytné znát hodnoty týkající se evakuovaných osob. Těmito hodnotami jsou například rychlost osob při evakuaci s ohledem na jejich věk a fyzickou zdatnost, hustota či tok proudu osob v kritických místech, kterým mohou být zúžené prostory, doba před zahájením pohybu jednotlivců atd. Znalost těchto parametrů však vychází z již provedených cvičení či experimentů, a právě to je motivací pro tuto práci. Ověřených vstupních parametrů týkajících se pohybu osob v kolejových vozidlech není mnoho, a proto bude přínosem získat díky experimentu evakuace další klíčové hodnoty, jak parametry pohybu osob, tak další poznatky získané při cvičné evakuaci týkající se lidského chování.

1.2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je zhodnocení evakuace osob při mimořádné události, které přinese nové, zajímavé a v budoucnu využitelné poznatky především pro počítačové modelování evakuace osob z kolejových vozidel a její bezpečný návrh. Prvotním nástrojem, jak takových poznatků docílit, je provedení literární rešerše dostupné literatury. Pozornost je věnována především v minulosti provedeným experimentům a výzkumům v oblasti požární bezpečnosti se zaměřením na evakuaci osob z kolejových vozidel. Na základě znalosti těchto poznatků je možné efektivně naplánovat, zorganizovat a realizovat samotný experiment evakuace osob z vlakového vozu při simulované mimořádné události. Již při sestavování evakuačních scénářů při plánování experimentu je stanoveno několik dílčích cílů:

- určit 3 vstupní parametry, které jsou podrobeny zkoumání jejich vlivu na celkovou dobu evakuace (složení skupiny, typ výstupu a šířka koridoru v nástupním prostoru vlaku)
- zajistit pro experiment heterogenní skupinu figurantů, jejíž věkové složení odpovídá běžně cestující populaci ve voze CityElefant (na základě vlastního průzkumu)
- stanovit parametry pohybu, které jsou při experimentu sledovány a následně vyhodnoceny

Při realizaci experimentu je cíleno na několik parametrů pohybu, které jsou následně předmětem vyhodnocení experimentálních dat. Těmito parametry jsou:

- vliv vstupních parametrů na celkovou dobu evakuace - složení evakuované skupiny, typ výstupu a šířka koridoru v nástupním prostoru vozu
- tok osob na úrovni výstupu z vozu při měnících se okrajových podmínkách
- průběh evakuace na úrovni výstupu v závislosti na časových odstupech mezi figuranty
- rychlost osob v interiéru vozu v uličce mezi sedadly a na vnitřním schodišti
- doba do zahájení pohybu evakuace
- překonávání výškového rozdílu na úrovni výstupu

Posledním cílem je zhodnocení porovnání vybraných vyhodnocených dat experimentu s výsledky počítačových modelů stejných evakuačních scénářů, které jsou výsledkem související diplomové práce [2].

1.3 Struktura práce

Úvodní kapitola teoretické části diplomové práce se zabývá přiblížením pojmů týkajících se evakuace obecně. Další kapitoly této části jsou zaměřeny na specifika evakuace osob z kolejových vozidel. Jako první jsou uvedeny v minulosti realizované evakuační experimenty výstupů osob z vlaků především ze zahraničí, jejich zaměření, průběh a výsledky. Dále jsou zmíněny české a evropské legislativní požadavky na konstrukce těchto vozidel s ohledem na požární bezpečnost a tím i na nouzovou evakuaci, pokyny pro cvičnou evakuaci před uvedením nového typu kolejového vozidla do provozu ve velké Británii a také parametry, které ovlivňují celkovou dobu evakuace. Závěrem teoretické části je uveden popis vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471, který bude předmětem evakuačního experimentu, jeho vybavenosti prvky zajišťujícími požární bezpečnost vozu a jeho zabezpečení pro evakuaci osob.

Úvod praktické části je zaměřen na popis realizovaného experimentu evakuace osob z jednotky CityElefant, navržené evakuační scénáře, popis okrajových podmínek a průběhu experimentu. Dále navazuje část vyhodnocení posbíraných experimentálních dat, jako je celková doba evakuace, tok osob, rychlost osob, průběh experimentu na úrovni výstupu či způsob překonávání výstupu z vozu. Závěrem práce je zhodnoceno porovnání vybraných experimentálních dat s vyhodnocením matematických modelů stejných evakuačních scénářů, které byly předmětem zkoumání související diplomové práce [2].

2 Současný stav poznání

Pro přiblížení tématu a pojmu evakuace jakožto jednoho z pilířů požární bezpečnosti je žádoucí se nejprve zaměřit na jeho stručné nastínění a popsání základních charakteristik, které bude dále využito v praktické části.

Pro získání nových a užitečných dat při provádění experimentu je na místě vycházet z experimentů již provedených. Jelikož je práce zaměřena na evakuaci osob z kolejových vozidel, je dále vhodné zmínit rozdíly, specifika a vybavení kolejových vozidel pro případ mimořádné události, kterou může být například požár.

2.1 Evakuace osob

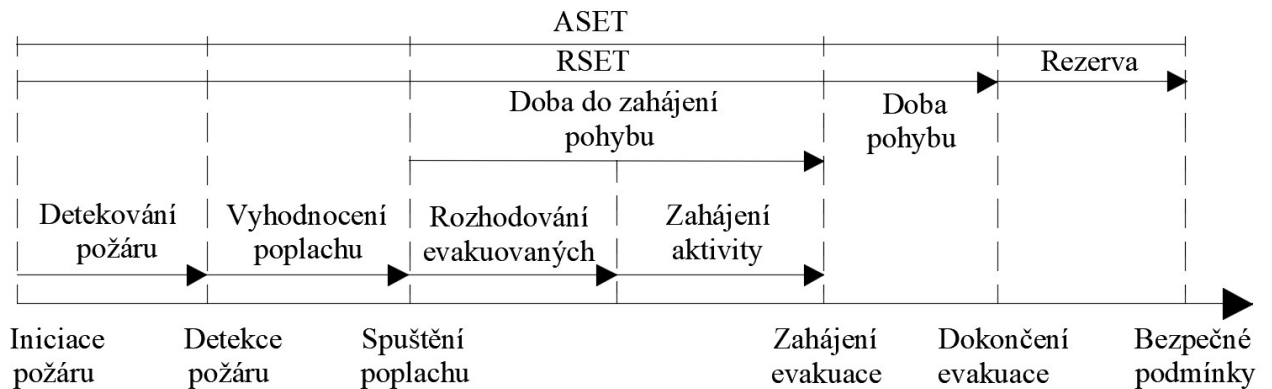
Evakuací osob se v rámci požární bezpečnosti rozumí včasné přemístění osob, zvířat či věcí z místa zasaženého požárem na místo bezpečné. Cílem úspěšné evakuace je zabránit ztrátám na životech či ztrátám materiálním, a to v co nejkratším možném čase.

2.1.1 Celková doba evakuace

Celková doba evakuace je čas evakuace od chvíle detekování požáru až po ukončení evakuace, tj. do chvíle, kdy jsou všechny osoby na bezpečném místě a nejsou již ohroženy požárem. V oblasti požární bezpečnosti se tento čas stanoví pomocí dvou intervalů, kterými jsou [3]:

- Doba dostupná pro evakuaci (ASET - available safe egress time)
- Doba potřebná pro evakuaci (RSET - required safe egress time)

Oba tyto intervaly se skládají z dalších kratších časových úseků, které charakterizují dobu detekce požáru, dobu spuštění alarmu, který vyhlásí poplach, dobu před zahájením pohybu evakuovaných a samotnou dobu pohybu osob směrem na bezpečné místo. Rozdílem ASET a RSET je časová rezerva návrhu. Jelikož předem nemůžeme s přesností určit, jak dlouho bude trvat, než se požár vyvine tak, aby mohl být detekován, po jaké době bude požár detekován daným čidlem požární bezpečnosti, či jak budou reagovat a pohybovat se lidé bezprostředně ohrožení požárem, přidáváme do návrhu celkové doby evakuace již zmíněnou rezervu [4]. Rezerva se zpravidla určuje inženýrským odhadem, kdy projektant přihlíží k různým faktorům, které by mohly průběh evakuace ovlivnit. Konkrétní složky RSET jsou patrné z obr. 1.



obr. 1 Složky ASET a RSET; převzato a upraveno z [4]

Pohybem osob je myšlen pohyb, který jednotlivec vykonává z místa, ve kterém se nachází při vyhlášení poplachu až na místo, které je pro něj bezpečné. Samotný pohyb ovlivňuje několik faktorů, které se s místem mimořádné události (požáru a následné evakuace) mohou měnit. Studium pohybu osob se zabývalo již několik autorů, jako například Predtečenskij a Milinskij [5] a Pauls [6]. Takovými faktory například mohou být [5]:

- Pohyb jednotlivců nebo masy lidí. Pohyb jednotlivce je pohyb malého počtu osob ve větším prostoru, kde se osoby navzájem příliš neovlivňují. U větší masy lidí může dojít k jejich větší koncentraci například u východu z budovy a může tak docházet ke zpomalení evakuace.
- Provoz, ve kterém k evakuaci dochází. Tímto je míněn pohyb usměrněný a neusměrněný, u kterého dochází k cirkulaci osob v daném prostoru a mohou tak vznikat protiproudy, které průběh evakuace zpomalují.
- Prostor, ve kterém k evakuaci dochází. Pak rozlišujeme pohyb volný a omezený. Omezený pohyb je dán hustotou osob a jednotlivec se nemůže pohybovat, jak by v daný okamžik sám chtěl.
- Vazby mezi jednotlivými evakuovanými. Nachází-li se na nebezpečném místě například rodina s malými dětmi, budou si navzájem pomáhat a čekat na sebe, tím pádem se budou jako skupina pohybovat pomaleji.
- Proškolený personál či autoritativní účastník. Na místě se nachází osoba, která má tendenci či má za úkol usměrňovat pohyb ostatních a evakuaci tak řídit, což může mít za následek hladší a rychlejší průběh evakuace. V ideálním případě jsou autoritami členové hasičského záchranného sboru při řízené evakuaci, o té můžeme však mluvit též v případě řízení evakuace proškoleným personálem vlaku. Opakem je pak evakuace samovolná, kdy se evakuovaní dostávají na bezpečné místo bez podaných instrukcí.
- Evakuovaní jsou vystaveni reálnému nebezpečí. Při reálné mimořádné situaci jsou účastníci pod větším psychickým tlakem, než jaký je vyvíjen na účastníky během cvičné evakuace.

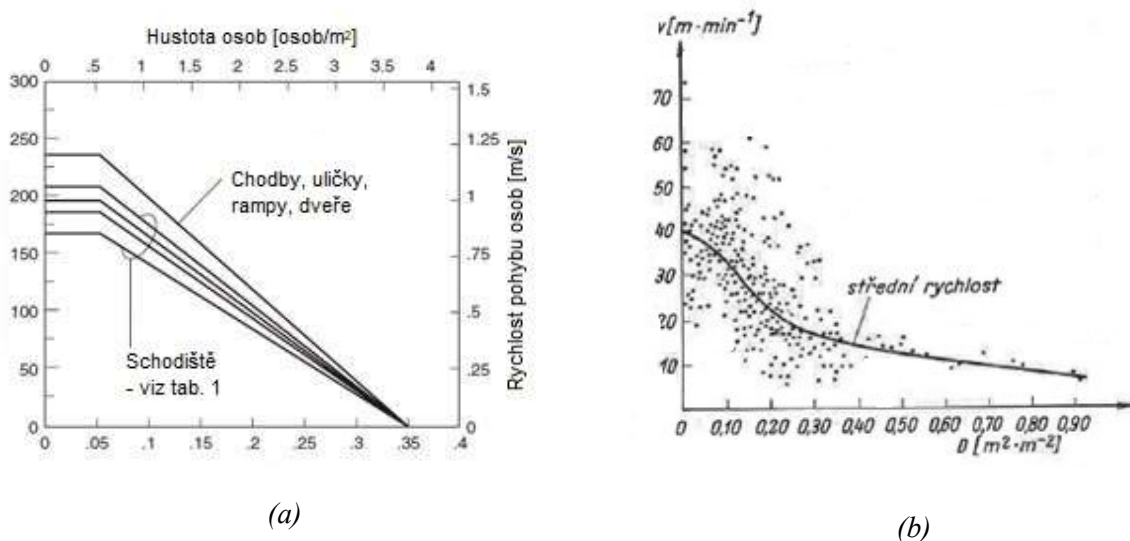
2.1.2 Závislost rychlosti, hustoty a toku proudu osob

Pro vyhodnocování pohybu můžeme uvést tři základní parametry:

- a) **Rychlost osob** (v ; m/s) je ovlivněna jejich fyzickou zdatností, stářím a proporcemi, geometrií prostoru, místem, ve kterém se rychlost hodnotí (po rovině, užším otvorem nebo po schodech). Rychlost osob nepovažujeme za konstantní veličinu. Je úměrná množství osob na dané ploše a je tak funkcí hustoty osob.

Jak zmiňuje již Predtečenskij a Milinskij [5], rychlosti jednotlivých osob se mohou měnit i při stejné hustotě proudu, jak je patrné z obr. 2b. Čím menší volnost pohybu jednatelce má, tím je vyšší hustota. Lidé mohou svou rychlost v určitém intervalu měnit, a to podle dalších (např. psychologických) vlivů, které na ně působí a díky kterým byl pohyb zahájen. Rychlost tedy není jen funkcí hustoty, ale je také ovlivněna druhem cesty a intenzitou pohybu. Závislost rychlosti pohybu osob a jejich hustotě je znázorněna na obr. 2a.

- b) **Hustota osob** (D ; $osob/m^2$) je veličina vyjadřující stupeň naplnění prostoru lidmi a je vyjádřena počtem osob na jednotku plochy. Obecně můžeme předpokládat, že v hojně obsazeném prostoru, kde osoby nejsou rovnoměrně rozptýleny, bude hustota osob k nejvyšší hodnotě inklinovat v zúžených bodech únikových cest.



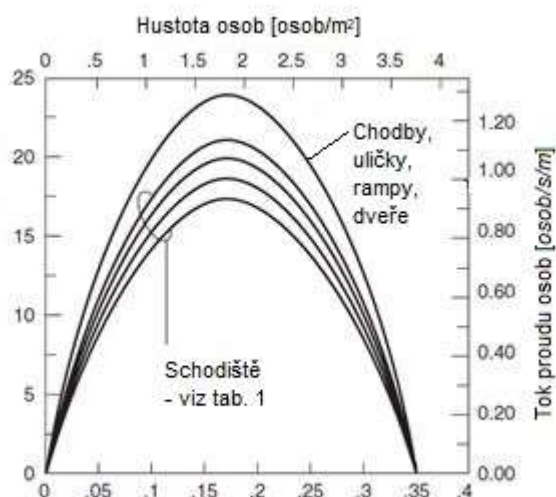
obr. 2 Závislost veličin charakterizujících pohyb osob: (a) Závislost rychlosti pohybu na hustotě, převzato a upraveno z [4]; (b) Výsledky praktických měření rychlosti pohybu proudů osob po schodech nahoru, převzato a upraveno z [5]

Z obr. 2a je vidět, že maximální rychlosti osoby dosahují při hustotě menší než $0,54\text{ osob}/m^2$. Maximální rychlosti dle druhu cesty jsou uvedeny v tab. 1.

tab. 1 Maximální rychlost pohybu osob při evakuaci dle typu cesty úniku; převzato a upraveno z [6]

Typ cesty úniku		Rychlost osob [m/s]
Chodby, uličky, rampy, průchod dveřmi		1,19
Schodiště		
Výška stupně [cm]	Délka stupně [cm]	
19	25,5	0,85
17,7	28	0,95
16,5	30,5	1,00
16,5	33	1,05

- c) **Tok proudu osob**, propustnost (Q ; *osob/s/m*) nebo také „intenzita pohybu“ (q ; *m/s*) je parametr vyjadřující počet osob, které projdou určitým bodem za jednotku času. Je závislý na jejich hustotě - při menší hustotě probíhá evakuace plynule, jakmile začne v kritickém bodě osob přibývat, zvyšuje se hustota osob a propustnost se snižuje. Pro každou hodnotu hustoty osob je dána hodnota propustnosti q_{max} . Pokud je hodnota q_{max} překročena, dochází k hromadění osob, začíná se tvořit fronta a plynulost probíhající evakuace je tak narušena. Závislost propustnosti a hustoty je vyjádřena v následujícím grafu (obr. 3):



obr. 3 Závislost propustnosti a hustoty osob; převzato a upraveno z [4]

2.1.3 Behaviorální vlivy

Lidské chování během požáru patří mezi klíčové faktory ovlivňující bezpečnost. Hlubší chápání chování jedinců či skupin a jejich reakcí na nouzovou situaci může pomoci kvalitnějším návrhům budov či dopravních prostředků s ohledem na požární bezpečnost. Při studiu behaviorálních vlivů musí být brána v potaz např. lidská reakce na mimořádnou událost, postoj k takové situaci, jak se kdo rozhoduje, motivace či vypořádání se s náročnou situací.

Prvotním zájmem studia lidského chování je účel minimalizovat nebezpečí při požáru. Toho lze dosáhnout shromažďováním údajů o reakcích člověka na požár a pozdějším vytvořením teorie z těchto poznatků. Komplexní teorie behaviorálních vlivů je tedy klíčem k vylepšení požárně inženýrského přístupu a k celkovému návrhu požární bezpečnosti.

Reakce lidského chování jsou často rozdělovány do dvou skupin, které vycházejí z fáze procesu evakuace [4]:

- doba do zahájení pohybu (pre-movement period)
- doba pohybu evakuovaných (movement period)

Období do zahájení pohybu je uvažováno jako doba od iniciace požáru do okamžiku, než jedinec nebo skupina zahájí pohyb na bezpečné místo. Pod tím si můžeme představit lidské aktivity, kterými jsou například vyhodnocování neobvyklé situace, shromažďování informací o dalším postupu a rozhodování, jak si během požáru dále počínat, sbírání osobních věcí či vyhledávání blízkých osob. Ve chvíli, kdy se jedinec či dav rozhodne opustit nebezpečný prostor a zahájí pohyb, začíná doba pohybu osob [4].

Galea a Gwynne [7] ve své publikaci zmiňují kooperaci cestujících během nouzové situace do určité hranice hrozícího nebezpečí. V situacích při požáru na palubě či nehodě vlaku cestující nejsou lhostejní k ostatním a vzájemně si pomáhají, vyhodnocují nebezpečí či společně hledají cestu úniku až do chvíle, kdy vytuší přílišné ohrožení a sami se rozhodnou pro okamžité jednání.

Dále tito autoři [7] zmiňují pozitivní vliv přítomnosti členů posádky při evakuaci, jak na rychlost evakuace, tak na cestující, kteří jsou pod pokyny autorit klidnější. Zajímavý je poznatek, že při absenci posádky při evakuaci většinou přejímá autoritativní funkci některý z cestujících, který rozdává úkoly. Takový jev můžeme nazvat „dělbou práce“, kdy lidé v ohrožení dle svých charakterů přebírají autoritativní role - rozdávání instrukcí, ošetřování atd.

Dle Kuligowski [4] lze závěrem říci, že pro vyloučení paniky při mimořádných událostech by měly být lidem podávány informace o dalším postupu co nejdříve a co nejdetailněji.

2.2 Specifika evakuace osob z vlaků

Při určování doby potřebné pro evakuaci (RSET) se v minulosti používali hodnoty o pohybu osob charakteristické pro evakuaci osob z budov. Rozdíly mezi provozním prostředím budov a vlaků se však odrážejí jak na možnosti pohybu osob v daném prostoru, tak na jejich chování či výběru trasy a způsobu výstupu. To může značně ovlivnit dobu RSET. Proto se začali provádět cvičné evakuace z vlaků, při kterých byly zmíněné hodnoty měřeny [8].

Tato kapitola je v první řadě zaměřena na rešerši již provedených experimentů cvičné evakuace osob z vlaků, dále pak na českou a evropskou legislativu z pohledu požadavků v této problematice, na průběh cvičné evakuace kolejových vozidel a na závěr jsou zhodnoceny parametry ovlivňující celkovou dobu evakuace.

2.2.1 Provedené experimenty

Nejefektivnějším nástrojem, jak zjistit celkovou dobu evakuace, je provést cvičné evakuace (experimenty), při kterých cestující vystupují z reálného vozidla a měří se čas, než se všichni dostanou na bezpečné místo. Během cvičení jsou sledovány různé parametry pohybu osob (viz kapitolu 2.1.2) či jejich chování v průběhu evakuace (viz kapitolu 2.1.3), které mohou být dále využívány při použití matematických modelů pro simulaci evakuace osob.

V roce 2013 vydala Federální správa železnic (FRA) v USA zprávu o výzkumném programu zabývající se posuzováním použitelnosti kritérií, která specifikují minimální potřebnou hodnotu doby evakuace [8]. Jako základ pro počítačové modelování autoři zmiňují několik evakuačních experimentů, které byly do té doby provedeny:

1. USA - Volpe Center, 2005 a 2006

V roce 2005 a 2006 byly zaměstnanci Volpe Center provedeny dva experimenty výstupu cestujících z jednopodlažního vlakového vozu [9].

Experimentu v roce 2005, který se uskutečnil na stanici s výstupem na nástupiště, se zúčastnilo 84 osob. Figuranti opouštěli vlak v podmínkách nouzového osvětlení buď do vedlejšího vozu, nebo přímo na nástupiště na volné prostranství. Experiment se tak stal první řízenou evakuací v USA, při které se měřil čas evakuace a výstupu cestujících z reálného vnitrostátního vlakového vozu. Experiment byl proveden za příznivých podmínek a jeho výstupy sloužily především ke stanovení výchozích hodnot pro verifikaci počítačových modelů.

Následně byly v roce 2006 uskutečněny další dva experimenty, jichž se zúčastnilo 15 a 17 zaměstnanců Volpe Center. Experimenty se skládaly ze série menších zkoušek, kdy zaměstnanci opouštěli vůz po schodišťových stupních buď na úroveň terénu, nebo na dlážděný povrch (viz obr. 4), který simuloval stanici s nízkým nástupištěm. Díky odlišnému typu výstupu tak mohly být výsledky těchto experimentů porovnány s výsledky z roku 2005.



obr. 4 Výstup z vozu po schodišťových stupních: (a) na dlážděný povrch; (b) na úroveň terénu [9]

Výstupy těchto experimentů (viz tab. 2) byly shromážděny k dalšímu využití při vytváření nových normových požadavků. Požadavky byly zaměřeny na různé aspekty geometrie vlakového vozu a na dobu evakuace cestujících z vozu.

tab. 2 Výsledky experimentů Volpe Center 2005 a 2006; převzato a upraveno z [8].

Typ výstupu	Průměrný čas výstupu první osoby [s]	Průměrný tok osob v úrovni výstupních dveří [osob/s; osob/min]
Na nástupiště v úrovni vozu/ do vedlejšího vozu	5	0,88; 52
Bočními dveřmi a po schodech na nižší nástupiště	6	0,70; 41
Bočními dveřmi a po schodech na úroveň terénu	9	0,34; 20

Britské studie osobních vlaků

Ve Velké Británii byla v roce 2003 zřízena Komise pro bezpečnost a standardy železnic (RSSB), která provádí výzkum a vývoj standardů pro národní železniční síť [8]. Tato společnost sponzorovala řadu studií, které reagovaly zejména na tragickou nehodu dvou osobních vlaků, které se v roce 1999 srazily poblíž nádraží v londýnském Paddingtonu. Nehoda si tehdy vyžádala 29 lidských obětí. Tyto studie zahrnovaly cvičné evakuace z osobních vlaků a vývoj evakuačního nouzového modelu „Stay or Go“, aby odhalily pravděpodobnost smrtelných úrazů a zranění cestujících při evakuaci z vlaku nebo naopak při vyčkávání cestujících ve vlaku v rámci různých nouzových scénářů. Zpráva ze studie z roku 2002, která se odkazuje na výsledky nouzového modelu ukázala, že ve většině případů je pro cestující bezpečnější zůstat uvnitř vlaku, než z něj být okamžitě evakuován.

Vybrané požadavky týkající se doby evakuace, které byly zjištěny při experimentech provedených pro společnost Virgin Railways v letech 2001 a 2003, byly následně zařazeny mezi požadavky Railway Group Standards (RSSB). Požadavkem například bylo, že celkový čas evakuace s výstupem na nástupiště nesmí přesáhnout 90 vteřin a minimální tok osob u výstupu neklesne pod hodnotu 40 osob/min (0,67 osob/s). Pro evakuaci osob na úroveň terénu je minimální požadovaný tok osob 30 osob/min (0,5 osob/s). Například pro plně obsazený vlak se 100 sedícími pasažéry by byl požadovaný čas evakuace 149 s (2,5 min) na nástupiště v úrovni vlaku a 200 s (3 min) na úroveň terénu.

V roce 2000 provedla společnost First Great Western Rail evakuační experiment s použitím čtyř osobních vlaků, kde byl simulován požár na palubě stojícího vysokorychlostního vlaku. Do experimentu se zapojilo více než 100 figurantů včetně dětí či osob se sníženou schopností pohybu. Cvičení bylo naplánováno tak, aby ověřilo účinnost stávajících bezpečnostních zařízení, jako jsou informační upozornění, nouzové osvětlení a další postupy při mimořádné události. Ověřovala se zde i opatření, která byla uvažována do budoucna. V průběhu experimentu byl nasimulován kouř a bylo vypnuto běžné osvětlení vlaku. Podrobné informace o výsledných časech evakuace či toku osob však bohužel nejsou veřejně dostupné.

V roce 1999 provedla Greenwichská univerzita (University of Greenwich) dva netradiční experimenty, při nichž bylo 32 osob evakuováno z převráceného vlaku. Vůz s kapacitou pro 62 sedících cestujících měl otevřené únikové dveře a figuranti uvnitř leželi na spodní boční straně vozu a simulovali situaci, kdy při převrácení vozu vypadli ze sedadel. Účastníci experimentu byli s jeho průběhem předem seznámeni. Bylo jim řečeno, že se budou evakuovat dveřmi, které se nacházejí na obou koncích vagonu, ale nevěděli, které přesně budou otevřené. Během prvního experimentu, kdy byly otevřeny dveře na obou koncích vlaku, byl při prvním cvičení naměřen tok proudu osob 8,7 osob/min (0,15 osob/s) s celkovým časem evakuace 3 minuty 34 vteřin. Při druhém cvičení, kdy byly otevřeny dveře jen na jednom konci, se celkový čas evakuace navýšil až na 7 minut 8 sekund. Během druhého experimentu, kdy ve vlaku proudil netoxický kouř pro simulaci požáru, byl průměrný tok proudu osob 5 osob/min (0,08 osob/s) s celkovým časem evakuace všech 62 figurantů 13 minut 19 vteřin. Z výsledných časů evakuace se došlo k závěru, že simulovaný kouř značně čas prodloužil z důvodu optického zatmění interiéru vlaku. Postupně se podařilo čas evakuace v zakouřeném prostoru snížit pomocí přítomnosti členů posádky vlaku, kteří na evakuaci dohlíželi a pomohli ji koordinovat. Stejně tak ke snížení přispělo i odstranění vnitřních dělicích příček vlaku. Mezi konečné doporučení této studie patří:

- opatření vozu vnitřními dveřmi, které je možné otevřít z obou stran
- opatření vozu únikovými dvířky na střeše vozidla
- opatření prostoru pro cestující úložným prostorem pro zavazadla v horní části vozu
- vyklápěcí okna pro snadnější přístup záchranářů a možnost úniku pro cestující

V roce 1991 byly na univerzitě v Cranfieldu (University of Cranfield) provedeny evakuační experimenty pro osobní vlak British Mark III s kapacitou 76 míst k sezení. Tyto experimenty měly sloužit pro porovnání časů výstupu s různou obsazeností vlaku během „soutěžní“ a „nesoutěžní“ (competitive/non-competitive) evakuace pro meziměstský vlak. Pojem nesoutěžní evakuace je definován jako evakuace s normálním pohybem, kdy figuranti nemají velkou motivaci pohyb urychlovat či se tlačit z vlaku ven. Naproti tomu při soutěžní evakuaci je brán v potaz pohyb, kdy může být jednotlivec nebo člen rodiny čímkoli ohrožen či jinak motivován k urychlenému pohybu z místa nebezpečí v případě nouze. V případě experimentů se jako prostředek pro dosažení soutěžního pohybu účastníků využívá například finanční odměna. Účastníky experimentů v Cranfieldu byli převážně studenti, kterým byla vyplacena odměna £10 za účast na experimentu a dalších £5 pokud vlak opustí mezi první polovinou všech zúčastněných. Během experimentu bylo možné unikat všemi dveřmi na jedné straně vlaku přímo na nástupiště. Při prvním cvičení, při kterém byl vlak plně obsazen (76 sedících účastníků), byla celková evakuace při nesoutěžních podmínkách provedena za 53 sekund s tokem osob na úrovni výstupních dveří 43 osob/min (0,72 osob/s). V podmínkách soutěžních se čas evakuace snížil na 39 sekund při toku osob na úrovni dveří 58 osob/min (0,97 osob/s).

Z těchto časů vyplývá, že při soutěžních podmínkách, kdy jsou cestující motivováni, respektive v případě ohrožení nucení, dostat se z vlaku co nejrychleji, je celková doba evakuace kratší než při podmínkách nesoutěžních. Při druhém cvičení, kdy byl vůz naplněn 103 figuranty (tj. 135 % kapacity vlaku) došlo k úrazu, a proto bylo cvičení ukončeno. Z vlaku se do té toho okamžiku evakovalo 89 osob. Navýšení možnosti zranění s narůstající hustotou osob v uzavřeném prostoru vlakového vozu se při soutěžních podmínkách velmi podobá výsledkům studií týkající se evakuací letadel. Závěrem tato studie přichází s návrhy na změnu geometrie osobního vlakového vozu a jeho provozního prostředí, které může mít vliv na průběh evakuace. Změny zahrnuje i změna vybavení vozu (příčky, rozkládací stoly či opěrky pod ruce) a dále poskytuje doporučení týkající se zlepšení průběhu evakuace.

2. Další provedené experimenty

Dále stojí za zmínku experimenty uskutečněné v Rakousku či Švédsku, které již FRA ve své zprávě nezmiňuje (kromě rakouských experimentů z roku 2005):

Rakousko. 2005 - Zakouřené prostředí

V roce 2005 uskutečnili odborníci z Technické univerzity ve Vídni (Vienna University of Technology) experiment evakuace osob z vlaku jako součást licenční procedury pro vnitrostátní vlak se třemi vagóny před jeho uvedením do provozu [10]. Vlak byl naplněn netoxickým kouřem, aby se odborníci mohli zaměřit na chování cestujících během evakuace při snížené viditelnosti. Hlavním cílem experimentu byla analýza vlivu zvýšené úrovně podlahy ve vlaku (rozdíl 3 schodů poblíž výstupních dveří) a zvýšení jednoho schodu v průchodu mezi vagóny (viz obr. 5). Dalším cílem bylo pozorování, jak cestující zacházejí s dvoukřídlými dveřmi mezi jednotlivými vagóny, které jsou za normálních podmínek otevřeny, při požáru se však automaticky zavírají. Tento typ dveří byl instalován do vozu vnitrostátního vlaku poprvé v Rakousku. Výhodou pozorování lidského chování byl fakt, že byl vlakový vůz ve stavu před uvedením do provozu, a tak se figuranti nacházeli v pro ně neznámém prostředí.



obr. 5 Úrovně podlahy ve vlakovém voze typu ETW [10]

Při experimentu byly provedeny dvě evakuační cvičení. Během prvního byli evakuováni cestující z celého vlakového vozu dveřmi na jedné straně vlaku (na straně nástupiště) a na úroveň terénu, museli tedy překonávat výškový rozdíl 65 cm. U druhého cvičení se evakovali cestující z kouřem zasaženého vozu do vedlejšího vagónu či opět na volné prostranství. Obě cvičení byla provedena při nesoutěžních podmínkách a zúčastnilo se jich 192 figurantů. Všechna sedadla ve vlaku (151) byla obsazena a uličky byly zaplněny při hustotě 1 osoba/m². Mezi účastníky bylo rozptýleno i 11 pozorovatelů, kteří dohlíželi na průběh experimentu a mohli do průběhu cvičení zasahovat jen v případě narušení jeho bezpečnosti. Figuranti byli předem obeznámeni s faktem, že při experimentu bude prostor vlaku zaplněn netoxickým kouřem. Dále jim bylo řečeno, aby při obou cvičeních věnovali zvláštní pozornost instrukcím, které jim v nouzové situaci podává provozovatel vlaku. Po každém cvičení byly figurantům rozdány dotazníky s otázkami týkajícími se průběhu evakuace. Dotazy se týkaly například geometrie vozu, postupu posádky vlaku při nouzové situaci, viditelnost nouzového značení, jak dobře srozumitelná byla nouzová oznámení či jak probíhala spolupráce mezi figuranty během evakuace. Obě cvičení byla zaznamenávána videokamerami pro pozdější rozbor chování cestujících při mimořádné události.

Hlavními výstupy z experimentu jsou:

- poznatky ohledně informačního systému během mimořádné události (cestující preferují spíše akustická hlášení než vizuální, která mohou být při snížené viditelnosti špatně čitelná; v dotaznících uvedli, že audio hlášení byla dobře srozumitelná, ale že by v průběhu evakuace ocenili více podaných instrukcí)
- umístění tabulky s postupem otevírání východových dveří (při nouzové situaci se musejí dveře úniku otevírat manuálně - při obou cvičení měli figuranti s otevřením dveří problémy)
- problémy při zdolávání výškového rozdílu při výstupu z vlaku
- úprava konstrukce vnitřních dveří (někteří účastníci zmiňovali malé úchyty pro jejich otevírání, jiní že k otevření dveří je nezbytné využití celkové tělesné hmotnosti; některým se dveře otevřít nepodařilo a mysleli si, že jsou zamčené)
- špatná čitelnost výstražných značek a informačních panelů

Rakousko. 2008 - Evakuace vlaku v tunelu

Další experiment odborníci ve Vídni zorganizovali v roce 2008 [11]. Tentokrát se zaměřili na evakuaci cestujících z vlaku metra v simulovaném prostoru tunelu se zaměřením na těsnou geometrii uličky mezi stěnami vozu a tunelu. Tento prostor můžeme označit kritickým místem, kdy jím mohou procházet lidé z jedné části vlaku a současně do stejného prostoru mohou opouštět vlak další evakuovaní, při čemž do sebe mohou vrážet a narušovat tak průběh evakuace. Dalším sledovaným parametrem byl způsob výstupu z vozu. Jelikož jsou vagóny metra konstruovány odlišně od vagónů nadzemní dopravy, výška jejich podlahy se nachází 1 - 1,2 m nad úrovní kolejí. Kvůli těmto sledovaným parametrům byly provedeny dvě cvičení, při nichž byla použita nová vlaková souprava, která se uváděla do provozu a která je dnes ve Vídni využívána.

Pro větší bezpečnost byl experiment prováděn mimo tunel na volném prostranství, avšak se skutečnými geometrickými rozměry. Cvičení byla dokumentována pomocí 10 videokamer a 2 fotoaparátů. Na základě videozáznamů bylo dále zkoumáno lidské chování během evakuace a bylo z nich možné určit tok osob z vlaku v úrovni dveří.

Figuranty při experimentu byli zaměstnanci depa, od kterých byly shromážděny informace ohledně pohlaví, věku, výšce a váze. Větší část vzorového davu proto tvořili muži. Tento vzorek není dostatečně reprezentativní pro běžné složení populace pohybující se v metru, situaci můžeme přirovnat k cestě fotbalových fanoušků na zápas.

Při prvním cvičení byl využit pouze jeden vagón, který byl obsazen 141 cestujícími (z toho 42 sedících a 99 stojících). Při druhém cvičení byla využita celá vlaková souprava a zúčastnilo se ho celkem 439 figurantů, z nichž sedělo 130 cestujících a 309 stálo (všechna sedadla byla obsazena a uličky byly zaplněny s hustotou 2 osoby/m²). U obou cvičení bylo tedy dosaženo 100% obsazenosti sedadel i uliček v posuzovaných vozidlech, což představuje

normální zatížení při běžném provozu. Kvůli bezpečnosti byli ve vlacích umístěni pozorovatelé, kteří do jeho průběhu nijak nezasahovali.

Mezi hlavní zjištění výzkumu patří, že:

- průběh a čas evakuace je silně ovlivněn lidmi, kteří při vystupování z vlaku svým pohybem zasahují do uličky, kterou se evakuují lidé podél stěny vlaku
- pro překonávání výškového rozdílu mezi úrovní podlahy vlaku a terénem mají lidé tři způsoby výstupu, kterými jsou „Jumper“ (45 %), „Sider“ (28 %) a „Sitter“ (27 %) - viz obr. 6
- cestující s nadváhou (cca 17 %) preferovali pro opuštění vozu manévry „Jumper“ a „Sitter“, cestující s normální vahou volili manévr „Sider“ (obr. 6)
- přibližně 50 % evakuovaných opouští vlak skokem na terén, asi 30 % při seskoku využije zábradlí podél stěny tunelu a 20 % si před seskokem sedne na podlahu vlaku a sesune se na terén
- není významný rozdíl mezi tokem osob při výškovém rozdílu 65 cm a 100 cm



obr. 6 Strategie pro překonávání výškového rozdílu při výstupu z vlaku:
(a) „Jumper“; (b) „Sider“; (c) „Sitter“ [11]

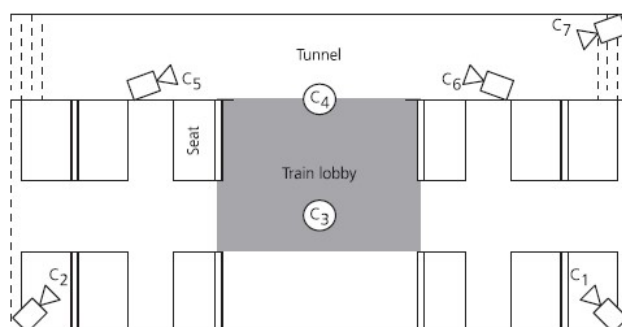
Švédsko. 2010 - Vliv typu výstupu na tok osob

Odborníci ze švédské univerzity (University of Lund) provedly v roce 2010 experiment evakuace vlaku uvnitř tunelu pomocí hned 18 evakuačních scénářů a to ve dvou dnech [12]. Cvičení byla provedena především za účelem studia vlivů různých způsobů výstupu na tok osob na úrovni výstupu, dále pak povrchu terénu v tunelu, intenzitu nouzového osvětlení, přítomnost pomocného žebříku k překonávání výškového rozdílu při výstupu či přítomnost dalších pomocných rukojetí. Experimentu se zúčastnilo celkem 84 figurantů ve věku od 18 do 40 let.

Analýza experimentu ukázala, že průměrný tok osob na úrovni výstupu se pohybuje okolo 0,3 osob/s/m. Na závěr byly definovány čtyři proměnné, které mají vliv na tok osob:

- snížení výškového rozdílu při výstupu (z 1,4 m na 0,7 m) snížilo průměrný tok osob řádově o 0,026 osob/s/m
- změna podlahového materiálu z betonu na makadam¹ zvýšila průtok cestujících v úrovni východu přibližně o 0,015 osob/s/m
- použitím nouzového žebříku při výstupu byl tok osob na jeho úrovni snížen v průměru o 0,064 osob/s/m
- úplné vypnutí osvětlení uvnitř vlaku snížilo průtok osob přibližně o hodnotu 0,029 osob/s/m

Dalším detailním průzkumem bylo zjištěno, že hustota osob, které se pohybují mimo vlak podél jeho stěn, významně ovlivňuje tok osob z vlaku právě do uličky, kudy se ostatní evakuovaní odebírají na bezpečné místo. Rozmístění videokamer při experimentu a úhly pohledu jsou patrné z obr. 7 a z obr. 8.



obr. 7 Rozmístění videokamer [12]



(a)



(b)

obr. 8 Snímky z kamer (a) Kamera č. 4; (b) Kamera č. 7 [12]

¹ vrstva pozemních komunikací, obvykle z hrubého drceného kameniva a výplně, kterou může tvořit jemné kamenivo či cementová směs

Souhrn

Výsledky experimentů prováděné společností Volpe Center u osobních železničních vozů v USA, stejně jako obdobné experimenty nouzové evakuace ve Spojeném království, Rakousku či Švédsku jsou přibližně podobné s ohledem na typ a výšku výstupu či sousední vozidlo. Hodnota toku osob na úrovni výstupu se pohybuje lehce pod 60 osob/min (1 osob/s), jak lze vyčíst z tab. 3.

tab. 3: Porovnání toků osob z osobních vlaků - nedávné experimenty; převzato a upraveno z [8]

Způsob výstupu	Bočními dveřmi na nástupiště/dveřmi do vedlejšího vagónu	Bočními dveřmi po schodech na nižší nástupiště	Bočními dveřmi po schodech na úroveň terénu
USA (Volpe Center) [osob/min; osob/s]	52; 0,9	41; 0,7	20; 0,3
Spojené království [osob/min; osob/s]	43-55; 0,7-0,9	-	-
Rakousko 2005 [osob/min; osob/s]	60; 1	60; 1	-
Švédsko [osob/min; osob/s]	-	-	18; 0,30 ¹ 17,4; 0,29 ²
¹ výstup po žebříku dolů, výškový rozdíl 0,7 m ² výstup po žebříku dolů, výškový rozdíl 1,4 m			

Jestliže cestující musejí překonávat při výstupu z vlaku větší výškový rozdíl, který je podstatně větší než běžné schodišťové stupně (obvykle se jedná o evakuaci vlaku mimo stanici na volný terén), je hodnota výstupního průtoku osob mnohem variabilnější. Aby se zabránilo možným zraněním figurantů během cvičení při překonávání tohoto výškového rozdílu, tak se při některých experimentech tento typ výstupu zcela vynechal nebo byli vybráni pouze mladí, fyzicky schopní účastníci. Výsledné hodnoty toku osob při výstupu s překonáváním většího výškového rozdílu se pohybují mezi hodnotami 6 až 60 osob/min (0,1 až 1 osob/s). Problémem zůstává, že účastníci u tohoto typu výstupu často nejsou reprezentativním vzorkem cestující populace.

2.2.2 Legislativní požadavky na evakuaci osob z kolejových vozidel

Evropské legislativní požadavky

Mezinárodní železniční doprava na evropském poli působnosti se řídí především dle norem TSI (Technické specifikace pro interoperabilitu). Jednou z hlavních je norma TSI LOC&Pas 1302/2014 Nařízení komise (EU) ze dne 18. Listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla - lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii [13].

Ve čl. 4.2.10 této normy jsou definovány požadavky na požární bezpečnost a evakuaci. Jsou zde popsány požadavky na materiál, zvláštní opatření pro hořlavé tekutiny či detekce hořlavosti nápravových ložisek.

Jeden z článků se věnuje opatření týkající se detekce a hašení požáru. Z hlediska evakuace osob můžeme za podstatné uvažovat požadavky na systémy detekce požáru (čl. 4.2.10.3.2), které mohou ovlivnit prvotní časový interval z celkové doby evakuace (viz kapitola 2.1.1). Těmito požadavky jsou:

- Zařízení a prostory kolejových vozidel, které ze své podstaty znamenají riziko vzniku požáru, musí být vybaveny systémem schopným detekovat požár v rané fázi.
- Při detekci požáru musí být informován strojvedoucí a musí být zahájena příslušná automatická opatření s cílem minimalizovat následné riziko pro cestující a personál vlaku.
- U lůžkových vozů je při detekci požáru aktivován akustický a optický místní varovný signál v zasažené oblasti. Akustický signál musí být dostatečný, aby vzbudil cestující. Optický signál musí být jasně viditelný a nesmí ho zakrývat překážky.

Další kapitolou jsou požadavky týkající se nouzových situací, které jsou kladeny např. na:

- Nouzové osvětlení:

V případě požáru musí nouzový osvětlovací systém zachovat alespoň 50% intenzitu nouzového osvětlení ve vozidlech, která nejsou zasažena požárem, po dobu nejméně 20 minut. Tento požadavek je považován za splněný provedením dostačující analýzy režimu poruchy.

- Schopnost jízdy:

Vozidlo musí být navrženo tak, aby v případě požáru na palubě schopnost jízdy vlaku umožnila dojet na místo vhodné pro hašení.

V článku 4.2.10.5 jsou uvedeny požadavky týkající se evakuace, a to především požadavky na nouzové východy pro cestující:

- Nouzové východy musí být poskytnuty v dostatečném počtu podél průchozí trasy (průchozích tras) po obou stranách vozidla; musí být označeny. Musí být přístupné a musí mít dostatečnou velikost umožňující vyproštění osob.
- Cestující musí mít možnost otevřít nouzový východ zevnitř vlaku.
- Všechny vnější dveře pro cestující musí být vybaveny nouzovým otevíráním umožňujícím jejich použití jako nouzový východ.
- Každé vozidlo určené pro maximálně 40 cestujících musí mít minimálně dva nouzové východy.
- Každé vozidlo určené pro více než 40 cestujících musí mít minimálně tři nouzové východy.
- Každé vozidlo určené k přepravě cestujících musí mít minimálně jeden nouzový východ na každé straně vozidla.
- Počet dveří a jejich rozměry musí umožňovat úplnou evakuaci cestujících bez zavazadel během tří minut. Je přípustné uvažovat, že cestujícím s omezenou schopností pohybu a orientace pomohou ostatní cestující nebo doprovod vlaku a že osoby na invalidním vozíku budou evakuovány bez svého vozíku. Ověření tohoto požadavku musí být provedeno fyzickou zkouškou za normálních provozních podmínek.

České legislativní požadavky

Požadavky na konstrukce vozidel z pohledu požární bezpečnosti se v České republice řídí normou ČSN EN 45545-4 Drážní aplikace - Protipožární ochrana drážních vozidel - Část 4: Požadavky na konstrukci drážních vozidel z hlediska požární bezpečnosti [14].

Ve čl. 4.3 této normy jsou definovány požadavky na evakuaci a únik. Kapitola týkající se nouzových východů pro cestující zmiňuje stejné požadavky, jako TSI LOC&Pas 1302/2014 [13], které jsou zmíněny v předešlé kapitole. Dále česká verze přidává několik dalších požadavků:

- Oddíly pro krátkodobé používání nebo které jsou během provozu běžně neobsazené, např. toalety nebo zavazadlové oddíly a nevyžadují přímé nouzové východy vně vozidla.
- V prostorech pro cestující nebo pro personál, které jsou za provozu běžně obsazovány, ale nelze je používat jako průchozí cesty (oddíly), musí být vzdálenost pro cestující nebo personál k nejbližším vnějším dveřím nebo nejbližšímu nouzovému východu nejméně 6 m.
- V restauračních vozech musí být nouzový východ do 16 m od každého místa uvnitř restauračního vozu, měřeno na podélné ose vozidla.
- Všechny vnější dveře pro cestující se musí považovat za nouzové východy. Vnější dveře pro cestující musí být pro tyto účely vybaveny podle požadavků EN 14752 (Železniční aplikace - Boční vstupní systémy).

Další kapitola zmiňuje evakuační opatření, mezi kterými jsou kladeny požadavky například na prostředky úniku jako jsou boční dveře a jejich umístění. Dále je uvedena možnost evakuace osob do sousedních vozidel, ke které slouží mezivozidlové můstky, které umožní evakuaci cestujících během jízdy alespoň do jednoho sousedního vozidla nebo mezivozidlové spojky, přes které je možné provést evakuaci na stojícím vlaku z jednoho vozidla do jiného po celé délce vlaku. Norma dále zmiňuje požadavky na vlaky vybavené koncovými dveřmi, které je také možné využít pro evakuaci osob z vozidla.

U nouzových východů, které jsou určeny pro bezpečnou evakuaci cestujících vně vlaku, jsou vyžadována následující opatření:

- všechny nouzové východy musí být možno otevřít cestujícími zevnitř vlaku
- všechny vnější dveře pro cestující se musí považovat také za nouzové východy pro účely úniku
- po otevření musí každý nouzový východ poskytovat nezatarasený otvor alespoň 700 mm x 550 mm
- sedadla nebo jiné vybavení pro cestující (např. stolky nebo lůžka) se mohou umisťovat na cestě k nouzovému východu, pokud nebrání použití nouzového východu a nezatarasují jeho otvor
- všechny lůžkové oddíly musí mít přímý nouzový východ do vnějšího prostoru
- dveřní zámky lůžkových oddílů, toalet a umýváren musí v nouzi umožňovat odemčení vlakovým personálem

Pokud je jmenovitá výška mezi temenem kolejnice a nejnižším bodem přístupným cestujícím z vnitřku vozidla na cestě dveřmi výše než 1,2 m, musí být k dispozici cestujícím a personálu nouzový prostředek pro vystoupení na úroveň terénu. Tento prostředek musí být možno použít cestujícím bez pomoci personálu a musí to být jedno z následujících nebo ekvivalentních zařízení:

- přenosné žebříčky
- pevně uchycené sklopné žebříčky
- přenosné schůdky
- plošiny
- mechanické schůdky
- skluzavky

Nouzové východy jiné než dveře, tj. okna nebo poklopy, musí být možno otevřít alespoň jedním z následujících způsobů:

- otevřením poklopu nebo okna
- vyražením poklopu, okna nebo zasklení

- rozbitím zasklení
- vyříznutím zasklení

Vhodné nástroje pro rozbití nebo vyříznutí zasklení, pokud jsou instalovány, se musí nacházet v blízkosti každého nouzového východu. Jsou-li k dispozici nástroje pro otevření nouzového východu, musí platit:

- nástroje musí být možno snadno vyhledat při porušení osvětlení vozidla
- zřetelné pokyny pro jejich použití musí být znázorněny u každého nouzového východu
- nástroje a pokyny musí být umístěny tak, aby byly vždy viditelné a aby je záclony, závěsy nebo oděvy pověšené na oděvních háčcích nezakrývaly

2.2.3 Cvičná evakuace kolejových vozidel

Při plánování experimentů evakuace nejsou přesně daná pravidla, kterými by se organizátoři měli řídit, do jisté míry záleží i na sledovaných parametrech. V návaznosti na Standardy evropských směrnic pro interoperabilitu železničních systémů byl vydán dokument zabývající se požadavky na nová železniční vozidla, která jsou dodávána k provozu ve Velké Británii - Návrh interiéru vozidel pro evakuaci a požární bezpečnost [15]. Cílem této normy je zajistit, aby při návrhu kolejových vozidel byla věnována pozornost bezpečnosti cestujících pro případ požáru, kdyby bylo nezbytné, aby se cestující a členové posádky z vozu evakovali. V dokumentu jsou popsány podmínky cvičné evakuace a při plánování experimentu evakuace nemusí být na škodu se snažit tyto pokyny využít.

Kromě podmínek pro návrh konstrukce vozidla s přihlédnutím k požární bezpečnosti norma předepisuje testování vozidel k prokázání toho, že případná evakuace na nástupiště, mezi jednotlivými vagóny či z vlaku na úroveň terénu bude v případě mimořádné události probíhat bezpečně. Toto testování se provádí prostřednictvím cvičné evakuace z nových vozů před jejich uvedením do provozu. Cílem je napodobit reálné podmínky, díky kterým by mohla být bezpečně určena celková doba evakuace v neobvyklé a v co možná nekritičtější nouzové situaci.

Při plánovaném experimentu můžeme využít následující pokyny:

1. Nábor dobrovolníků

Počet dobrovolníků se mění v závislosti na typu vlakového vozu. Jejich počet by měl být navržen na nejkritičtější situaci, při které se předpokládá maximálně zaplněný vůz. Všechna sedadla by tedy měla být obsazena a zbylý prostor by měl být naplněn figuranty s maximální hustotou.

Věk vybraných dobrovolníků by se měl pohybovat od 16 do 65 let. Ke zkoušce je ideálně použita skupina, která reprezentuje složení běžných cestujících v kolejové dopravě.

Pro zohlednění různorodosti skupiny je polovina figurantů (muži i ženy) vyzvána, aby si na zkoušku oblékla volnočasové oblečení, druhá polovina oblečení vhodné na pracovní jednání. Kromě toho si každý dobrovolník přinese také kus zimního teplého oblečení. Obuv by měla být přizpůsobena výstupu z vlaku na tvrdý povrch - šterk.

Cvičné evakuace se nezúčastňuje více než šestičlenná skupina či rodina. Přibližně 40 % dobrovolníků reprezentuje cestující, kteří cestují osamoceně. Dále se používají dvě dětské figuríny - jedna je svěřena do péče muže a druhá do péče ženy během zkoušky. Také jsou figuranti předem instruováni, že při evakuaci musí nechat svá zavazadla ve vlaku.

2. Příprava místa před cvičnou evakuací

Všechna místa, na kterých by mohlo dojít k úrazu některého z figurantů, musí být kvalitně vybavena zábradlím či bariérou.

Místo zkoušky by mělo být zvoleno tak, aby byli cestující chráněni před případným deštěm nebo povětrnostními vlivy a aby byly v blízkosti minimálně dvě osoby, které jsou v případě úrazu způsobilé k poskytnutí první pomoci.

3. Příprava cvičného vozidla

Pro výstup na úroveň terénu má být vozidlo umístěno v obvyklé pozici u nástupiště. Před zahájením cvičné evakuace je vůz ve stavu, že:

- všechny opěrky pod ruce u sedadel jsou ve sklopené poloze
- všechny vyklápěcí stolečky jsou ve sklopené poloze
- všechna zavazadla ve voze mají typickou velikost a představují zavazadla v běžném provozu. Zahrnutí těchto položek znamená simulaci částečné překážky pro evakuaci.
- všechny vnitřní dveře jsou zavřené
- videokamery jsou umístěny u každých dveřích a v pozici, aby zachytily pohyb v celém prostoru pro cestující

4. Průběh cvičné evakuace

Komisaři (dohlížející organizátoři) zkontrolují, zda figuranti nejsou nevhodně oblečeni či nemají obuv, která by mohla ohrozit zdraví jich samotných nebo dalších figurantů. Dále musí komisaři sledovat chování figurantů během cvičení. Dobrovolník, který by svým chováním nepatřičně narušoval cvičnou evakuaci nebo ohrožoval zdraví ostatních, by měl být ze zkoušky vyloučen.

Všichni účastníci cvičné evakuace musí být předem seznámeni s pravidly zkoušky a s její bezpečností. Dokument o bezpečnostních pokynech by měl obsahovat tyto informace:

- stručné vysvětlení účelu provádění cvičné evakuace
- typ zkoušeného kolejového vozidla a místo provádění zkoušky

- seznámení dobrovolníků s organizátory, s komisaři zkoušky a s jejich funkcí během zkoušky
- typ a účel výstražných signálů pro zahájení a ukončení zkoušek a účel signálu pro ukončení zkoušky před jejím koncem
- umístění a význam všech značek, které se týkají bezpečnosti a které se mohou na místě zkoušky vyskytovat. Musí být také objasněna nutnost jejich dodržování
- přehled o průběhu zkoušky pro dobrovolníky, kde je také zdůrazněna důležitost uposlechnutí pokynů organizátorů či komisaře zkoušky, především pokud se jedná o bezpečnost figurantů

Dále musí účastníci podepsat prohlášení, že byli srozuměni s bezpečností práce (experimentu). Tento dokument obsahuje také prohlášení, že účastník zkoušky nebude vykonávat žádnou činnost, která by mohla způsobit zranění sobě samému či dalším osobám. Pokud toto prohlášení dobrovolník odmítne podepsat, nemůže se zkoušky zúčastnit.

Organizátoři určí jednoho komisaře, který stojí u každých výstupních dveří se stopkami v ruce a během zkoušky počítá cestující. Je nezbytné zajistit, aby byl každý figurant pod dohledem alespoň jednoho komisaře. Každý z organizátorů a komisařů je vybaven píšťalkou, jejíž hvizd signalizuje přerušování zkoušky. S tímto signálem musí být figuranti předem seznámeni. Požadovaný počet komisařů označuje zároveň jejich minimální počet a dle typu vozidel jich může být využito více.

Zkouška se zahájí předem dohodnutým signálem organizátorů či komisařů. V tom okamžiku spustí komisaři stojící u výstupních dveří své stopky, začnou měřit čas evakuace a počítat cestující, kteří opouští vlak, až do chvíle, kdy jsou všichni cestující venku z vozidla. Pokud dojde k situaci, která by mohla kohokoli ohrožovat, musí být zkouška přerušena hvizdem kteréhokoli z komisařů či organizátorů. Po zkoušce jsou zaznamenány výsledné doby evakuace, spočítají se všichni figuranti a zkontroluje se vozidlo, že je v dobrém stavu.

Cvičná nouzová evakuace pro výstup na obou stranách vlaku a pro evakuaci z jednoho vagónu do druhého je připravena tak, aby byla co nejvíce podobná reálnému výstupu. V běžném provozu se někteří z cestujících ve vlaku dobře orientují a znají ho i jeho vybavení bezpečnostním zařízením. Ve snaze nasimulovat povědomí cestujících o voze je výstup na obou stranách vozu proveden nejprve jako bližší seznámení se s vozem před dalším cvičením.

2.2.4 Parametry ovlivňující rychlost evakuace

Pro zajištění bezpečné a včasné evakuace osob z kolejových vozidel jsou evropskými standardy [15] stanoveny požadavky například na maximální dobu evakuace cestujících (90 s), minimální tok osob na úroveň terénu (30 osob/min) či minimální tok osob do vedlejšího vagónu (40 osob/min). Tyto hodnoty se dle Capote a kol. [16] dají uvažovat za dosažitelné, ne však za realistické. Při ideálních podmínkách evakuace, se kterými počítají normové hodnoty, nepočítáme s narušením průběhu evakuace v kritických místech, kterým může být šířka průchodu uliček, vnitřní dveře či překonávání výstupu z vlaku na volné prostranství. Projektanti by proto kromě předepsaného času evakuace měli kalkulovat také s jistou časovou rezervou zahrnující narušení evakuace, která je popsána v kapitole 2.1.1.

Homogenita/heterogenita davu

Jedním z kritických parametrů, kvůli kterému se pravděpodobně bude doba evakuace měnit, je složení evakuovaného davu. Všechny zkoušky zmíněné v kapitole 2.2.1 pracovaly především kvůli bezpečnosti průběhu zkoušek s homogenním davem. Homogenním davem můžeme chápat složení skupiny lidmi s podobnými vlastnostmi či pohybovými schopnostmi, např. skupinu ve věku od 16 do 58 let, ve které jsou všichni účastníci pohybově zdatní a schopní. Jak uvádí Oswald [10], s cestující homogenní skupinou se můžeme setkat například v ranním vlaku, kdy lidé cestují za prací nebo do školy či ve vlaku přepravující fanoušky fotbalu. Při návrhu celkové doby evakuace bychom však měli brát v úvahu skupinu heterogenní a počítat tak s výskytem osob s omezenou schopností pohybu, tj. starších lidí, malých dětí, zdravotně tělesně postižených či zraněných osob, jejichž rychlosti se pak budou měnit. Rozdíly v plynulosti pohybu při výstupu nastiňuje i fotodokumentace figurantů ze cvičné evakuace provedené v USA (obr. 9).



obr. 9 Pohybová zdatnost účastníků: (a) Figuranti bez snížené schopnosti pohybu; (b) Figurant se sníženou schopností pohybu [9]

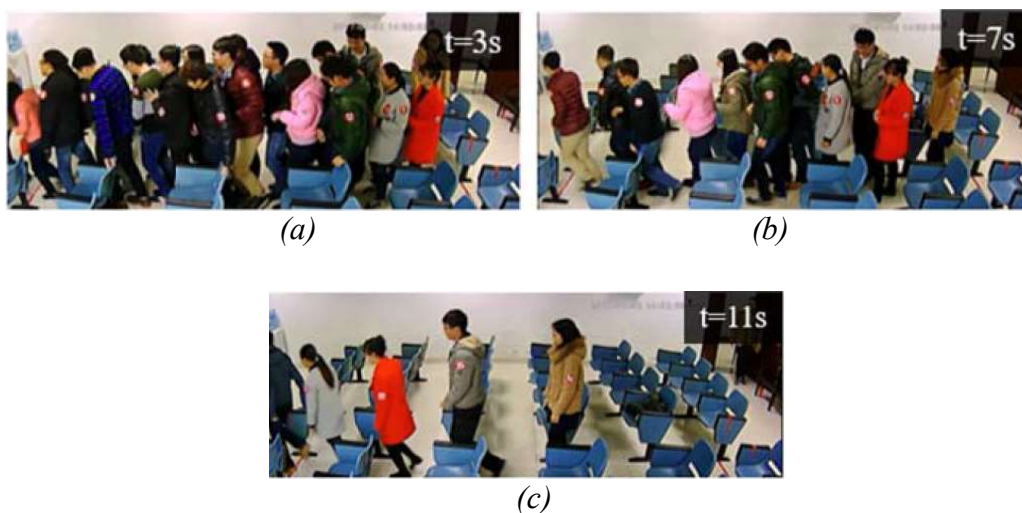
Šířka uličky a narušení plynulé evakuace lidmi stojícími v uličce

Dalším důležitým faktorem, který může mít vliv na rychlost evakuace z vlaku, je vliv osob, které vstupují z řad sedadel do průběžné uličky. V závislosti na šířce uličky mohou tito lidé narušit průběh evakuace ve chvíli, kdy si budou například sbírat osobní věci ze zavazadlového prostoru nad hlavami a v úzké uličce nebude pro ostatní cestující možné je obejít z důvodu nedostatku místa či pohybovým omezením. Právě proto může být úzká ulička překážkou k plynulé a bezpečné evakuaci.

Čínští odborníci Huang a spol. [17] se zabývali výzkumem průběhu evakuace úzkou uličkou (0,4 – 0,6 m) mezi sedadly cestujících ve vlaku a kromě studie uskutečnili také reálný experiment. Celý experiment byl natáčen pomocí videokamer a na závěr byly sledovány/vyhodnoceny tyto parametry:

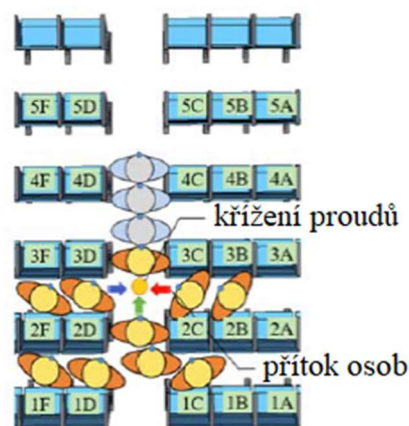
- doba evakuace
- hromadění osob v uličce
- narušování plynulé evakuace v uličce

Z videozáznamů z experimentu je patrné (viz obr. 10), že při vyhlášení evakuace, kdy se většina cestujících zvedne ze sedadel a zahájí svůj pohyb evakuace směrem k východu, je ulička místem s velkou hustotou osob, a tedy místem kritickým. V ten moment se směrem k východu mohou pohybovat pouze osoby na okraji skupiny, jelikož pohyb cestujících uprostřed davu je ostatními limitován.



obr. 10 Fotografie osob hromadících se v uličce během experimentu evakuace v čase: (a) $t=3$ s; (b) $t=7$ s; (c) $t=11$ s; převzato a upraveno z [17]

Kromě kritické situace, kdy si cestující sbírá v uličce své věci, zde nastává problém také s lidmi, kteří do uličky vstupují v tentýž moment a dochází zde ke křížení proudů osob, jak je znázorněno na obr. 11.



obr. 11 Znázornění možné kritické situace při vstupu cestujících ze svých řad do uličky; převzato a upraveno z [17]

Výsledky experimentu prokázaly, že s rostoucí šířkou uličky klesá hodnota celkové doby evakuace a průměrná hodnota toku osob a že při šířce uličky větší než 0,5 m je tato schopna pojmout více osob najednou vedle sebe.

Aktivita při pre-movement času

„Pre-movement time“, česky doba do zahájení pohybu (kapitola 2.1.1), se počítá od chvíle vyhlášení evakuace do momentu, než se cestující zvedne a zahájí svůj pohyb směrem k východu. Tomuto zahájení pohybu však může předcházet kratší či delší časový interval, během kterého cestující vyhodnocuje informace o nastalé situaci, sbírá své osobní věci, či čeká na rozhodnutí ostatních.

Capote a kol. [16] ve své zprávě z provedených experimentů uvádí naměřený čas, který průměrně strávili cestující na svých sedadlech, než se začali evakuovat (tab. 4). Uvádí, že po vyhlášení evakuace, kdy byl vlak stále v pohybu, se lidé začali pohybovat směrem k východu. Než však pohyb zahájili, někteří z nich se ještě na svých místech začali na evakuaci připravovat (oblékat se, sbírat své osobní věci či pozorovat ostatní).

tab. 4 Čas pro přípravu cestujících k evakuaci (pre-movement time); převzato a upraveno z [16].

	Průměrná hodnota μ	Odchylka σ	Maximální doba	Minimální doba
Čas přípravy [s]	12	8,0	26	1,5

Tento interval se tedy u cestujících může výrazně lišit. Může dojít ke zdržení všech cestujících, naopak ale ani nemusí, a to v případě, kdy je ve vlaku omezený prostor pro pohyb evakuace a místo oblékání se na sedadle by cestující i tak čekali ve frontě v uličce, než se otevřou výstupní dveře z vlaku.

Vliv řídicího personálu

Jak zmiňuje Capote a kol. [16], přítomnost členů posádky vlaku má při nouzové situaci na evakuaci značný vliv. Prvotním úkolem posádky je zajistit bezpečnost cestujících a při zjištění požáru na palubě vlaku je nasměrovat na bezpečné místo. Dále by posádka měla určit další postup evakuace osob ven z vlaku, jakmile zastaví. Personál by měl být natolik proškolen, aby zvládal řešit mimořádné události a uměl koordinovat pohyb cestujících. Posádka by měla znát přesný počet cestujících, případně kde sedí zdravotně tělesně postižený cestující, nebezpečná místa uvnitř vlaku a určit dveře, které budou vhodné k evakuaci.

Typ výstupu a způsob jeho překonávání

Dalším faktorem je výškový rozdíl úrovně podlahy vlaku a úrovně povrchu, na který cestující vystupují. Při mimořádné události bývá nejvhodnějším místem pro zastavení vlaku a následné evakuaci stanice, kdy se cestující jako na bezpečné místo evakuují přímo na nástupiště. Nemusejí tak překonávat žádnou výškovou úroveň a průběh evakuace tak není narušen.

To však nemusí být vždy možné. V momentě zastavení vlaku mimo stanici tak při evakuaci cestující musí překonávat výšku mezi úrovní podlahy vlaku a terénu, a to buď skokem přímo na terén, nebo použitím pomocných schůdků či rampy, které jsou u východu instalovány. Bez ohledu na věk či schopnosti cestujících bude překonávání výškového rozdílu vždy problematictější a ponese s sebou určité časové zdržení. Tento fakt ostatně dokládá i porovnání dvou experimentů provedených v USA [9] v roce 2005 a 2006 (kapitola 2.2.1), kdy výstup na úroveň terénu trval téměř dvakrát déle než výstup na nástupiště.

2.3 Vybavení vloženého vozu řady 071 požárně bezpečnostními prvky a zabezpečení pro evakuaci osob

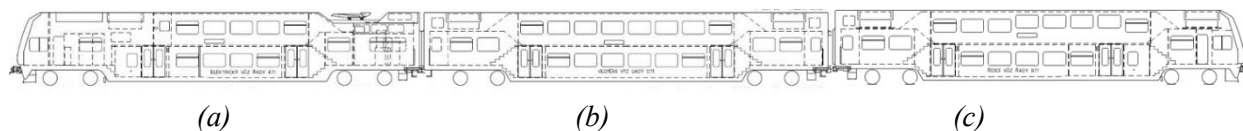


obr. 12 Foto elektrické jednotky třívozové řady 471 (CityElefant)

Po seznámení se s poznatky a zkušenostmi již provedených experimentů je pro plánování evakuačních scénářů experimentu evakuace osob z vlakového vozu přínosné také seznámení se se samotným prostorem, ze kterého se budou cestující evakuovat, tedy s konstrukcí vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 (obr. 12). Dále je užitečné být obeznámen s požárně bezpečnostními prvky vozu a se zabezpečením vozu pro evakuaci osob, kterými je vůz vybaven pro případ mimořádné události, tedy například při požáru.

2.3.1 Popis vlakového vozu

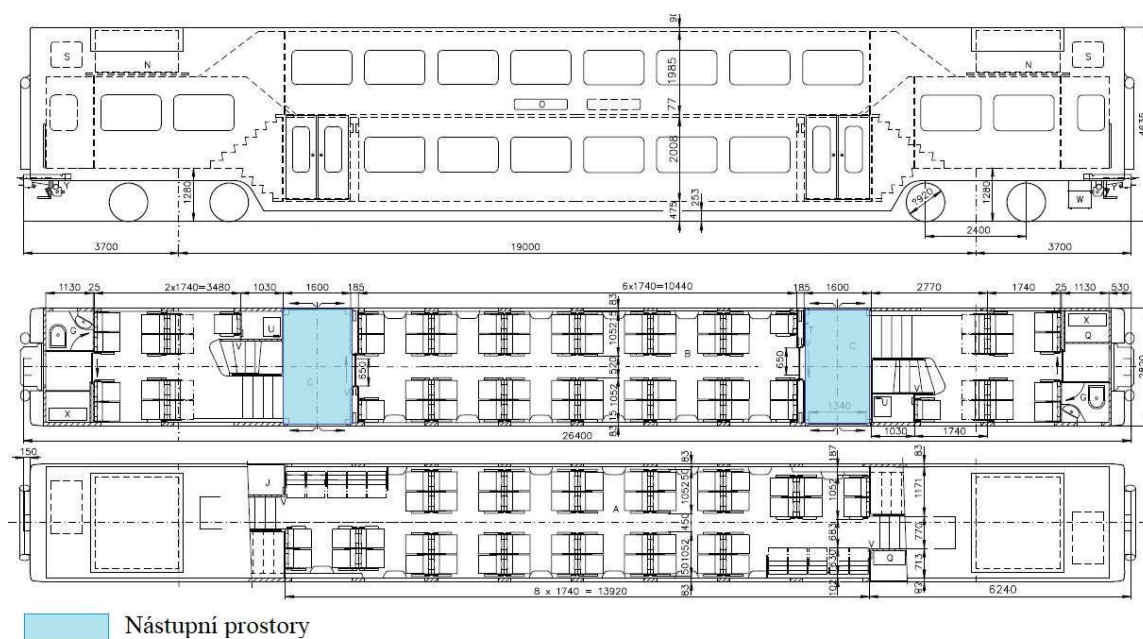
Vložený vůz² řady 071 je vozidlo určené k osobní přepravě 2. třídy ve dvoupodlažním provedení. Vůz je využíván k přepravě cestujících na tratích Českých drah (dále ČD) především pro příměstskou dopravu, a to jako součást soupravy složené maximálně ze 4 dvouvozových nebo třívozových elektrických jednotek řady 471, složených z elektrických vozů řady 471, z vložených vozů 071 a z řídicích vozů řady 971. Tento vložený vůz nesmí být umístěn na konci soupravy [18] – viz obr. 13.



obr. 13 Elektrická jednotka třívozová řady 471: (a) Elektrický vůz řady 471; (b) Vložený vůz řady 071; (c) Řídicí vůz řady 971; převzato a upraveno z [18]

² osobní vůz elektrické jednotky bez stanoviště strojvedoucího a bez trakční výzbroje. Vůz nemá vlastní zdroj elektrické energie.

Pro zvýšení přepravní kapacity je konstrukce vozu řešena jako dvoupodlažní, se zvýšenými vstupy z nástupišť 550 mm nad temenem kolejnice³. Půdorysně je vůz rozdělen na tři části určené pro cestující - střední oddíl, který se nachází v obou podlažích, a prostor na dvou mezipodestách. Tyto části jsou od sebe odděleny nástupními prostory.



obr. 14 Půdorysy a řez vloženého vozu řady 07; převzato a upraveno z [18] - Příloha 10.1.2.1

Vertikální komunikace

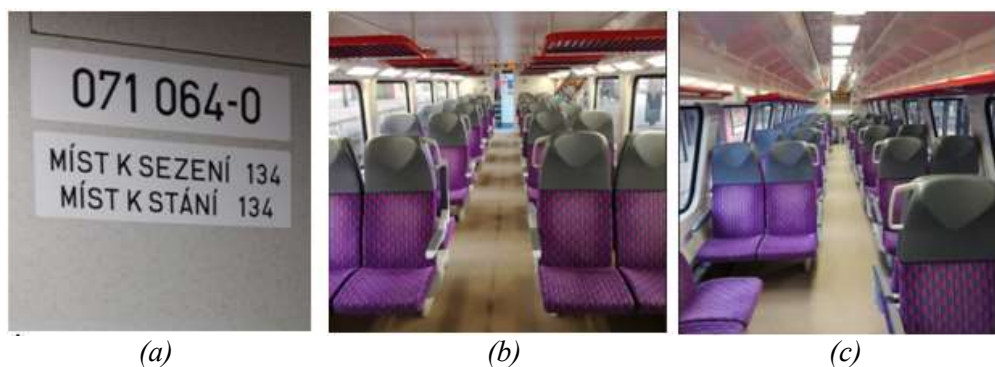
Nástupní prostory (zvýrazněny na obr. 14) jsou rozšířeny o zvýšené části, které jsou přístupné čtyřstupňovými schodišti a dále jsou sedmistupňovým užším schodištěm propojeny s horním oddílem vozu. V každém nástupním prostoru je umístěn hasicí přístroj (kapitola 2.3.2) a zařízení nouzového ovládní dveří (kapitola 2.3.3). Na obou koncích vozu se nachází toalety a v čelech jsou umístěny dveře s přechodovým můstkem, které lze využít jako komunikaci do sousedních jednotek [18].

Sedadla a zavazadlový prostor

Ve spodním oddíle se nachází 46 sedadel, v horním oddíle 62 sedadel a ve zvýšených nástupních prostorech je 2x13 sedadel. Vůz je tedy vybaven 134 místy určených k sezení a kapacita pro stojící cestující je též 134 (obr. 15). Sedadla mají převážně uspořádání 2+2 a jsou orientována proti sobě. Pro zlepšení vstupu do horního oddílu jsou po levé straně umístěna sedadla sklápěcí.

Zavazadlové police jsou ve spodním oddílu příčné a v horním oddílu podélné a jsou opatřeny háčky na šaty.

³ Temenem kolejnice se rozumí její horní hrana.



obr. 15 (a) Kapacita vozu; (b) uspořádání spodního podlaží; (c) uspořádání horního podlaží

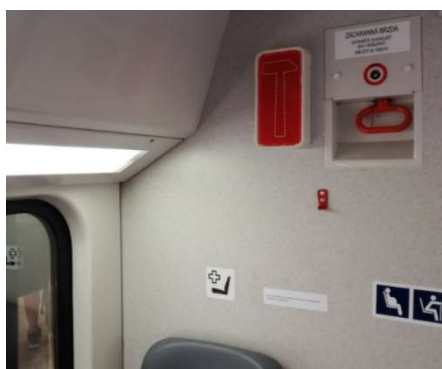
Prostor pro cestující s omezenou schopností pohybu a orientace

V celkem 75⁴ vložených vozech je u příček spodního oddílu 6 sedadel vyhrazeno pro zdravotně tělesně postižené a tato jsou označena piktogramem. Ostatní vozy jsou vybaveny celkem 14 sedadly pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace, tj. pro starší či zraněné osoby. Pro nevidomé a slabozraké jsou důležité nápisy uvnitř vozu (otevření dveří, opakování hlášení atd.) doplněny štítky v Braillově písmu [18].

Dveře a okna

Vstupní dveře do nástupního prostoru jsou dvoukřídlové, předsvuné do vnějšího prostoru vozu. Dveře do oddílu pro cestující jsou posuvné, prosklené, ovládané elektropneumaticky. K pohybu mezi vozy lze využít průchod přes mezivozový přechod.

Kromě 16 vozů jsou všechna okna v oddílech pro cestující pevná. V ostatních vozech jsou všechna krajní okna oddílů pro cestující výklopná dovnitř v jejich horní části. Při zapnutém nuceném větrání, kterým jsou vozy vybaveny, jsou okna zajištěna v zavřené poloze a při poruše nuceného větrání je jimi možno větrat. Okna jsou zasklena bezpečnostními dvojskly. Okna v blízkosti rukojeti záchranné brzdy jsou doplněna kladívkem pro nouzové rozbití okna pro nouzové opuštění vozu v případě havárie (okna určená k nouzovému úniku z vozu (viz obr. 16).



obr. 16 Kladívko pro nouzové rozbití okna, záchranná brzda, vymezení sedadel pro osoby se sníženou schopností pohybu

⁴ Celkový počet vyrobených jednotek EPJ471 je 83.

2.3.2 Popis prvků požární bezpečnosti vozu

Nouzové osvětlení

Nouzové osvětlení prostoru pro cestující je žárovkové či zářivkové s plným počtem svítidel se sníženým výkonem. Nouzové osvětlení se zapíná otočením přepínače do polohy „NOUZOVÉ“ (bez manipulace s ovladači a slouží jen k mimořádným účelům). Osvětlení ovládá strojvedoucí v kabině nebo obsluha vlaku v zadním nástupním prostoru ovladači umístěnými v hlavním rozvaděči, který je uzamčen zámkem na čtyřhran.

Vybavenost sdělovacím zařízením

Vůz je vybaven vnitřním a vnějším vizuálním a akustickým informačním systémem, který cestujícím po dobu přepravy sděluje nezbytné informace týkající se hlášení stanic, zastávek a přípojů. Akustická větev umožňuje služební spojení průvodčího se strojvedoucím přes mikrofon z nástupního prostoru. Některé z vozů jsou vybaveny také pro nouzovou komunikaci cestující - strojvedoucí, a to z obou nástupních prostorů prostřednictvím hovorového zařízení.

V případě použití záchranné brzdy strojvedoucím akustický systém automaticky zahlásí informaci o tom, že záchranná brzda byla aktivována a že dojde k zastavení soupravy. V oddílech pro cestující jsou umístěny jednořádkové tabule, v nástupních prostorech jsou tabule dvouřádkové, které v takovém případě zobrazují tuto informaci, která je zobrazována až do nejbližšího zastavení místa vlaku [18].

Detekce požáru

Vůz je vybaven elektrickou požární signalizací (EPS). Pro včasné zjištění požáru jsou v oddílech pro cestující instalována požární čidla. Dále je vůz vybaven zařízením pro diagnostiku poruch a závad na voze (včetně určení místa vzniku), mezi které patří i informace o vzniku požáru, s možností vyobrazení údajů na zobrazovací jednotce pultu strojvedoucího [18].

Přenosné hasicí přístroje

Podniková norma PN 28 0399 [19] ČD stanovuje počty přenosných hasicích přístrojů (PHP), jejich minimální hasicí schopnost, druh hasiva a umístění v železničních kolejových vozidlech. Hasicí přístroje se na vozidla umísťují i v případě instalovaného stabilního hasicího zařízení. Tato norma platí pro železniční kolejová vozidla Českých drah a.s. a tím i pro vložený vůz CityElefant řady 071.

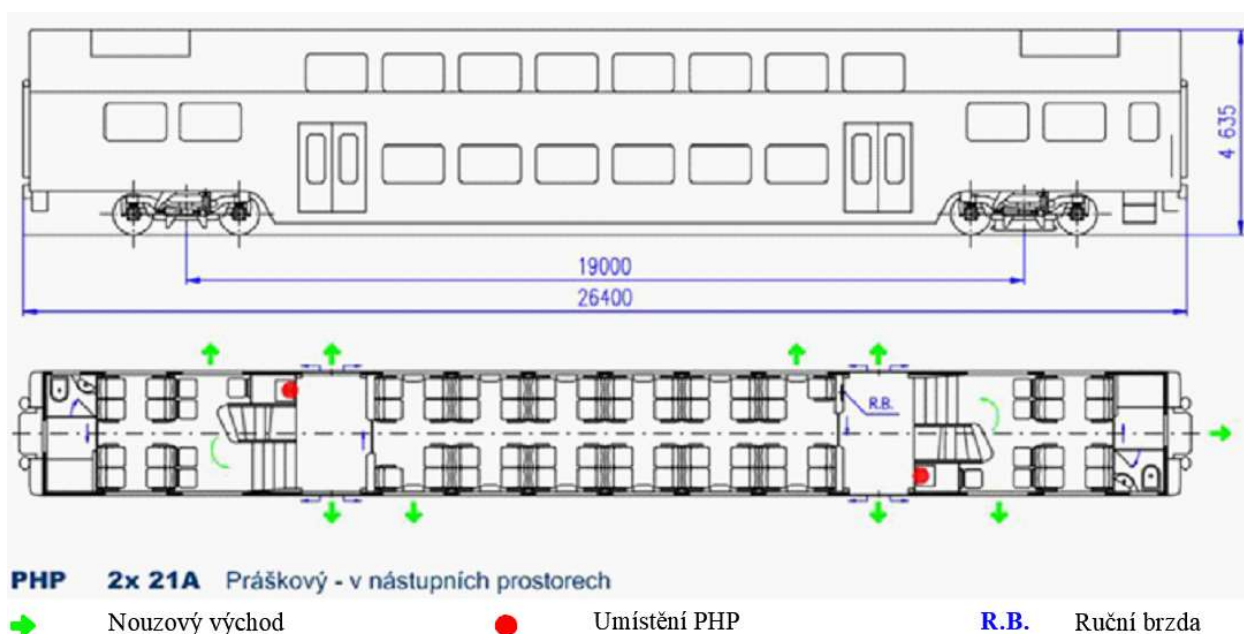
Hasicí přístroje musí být ve vozidle umístěny tak, aby byly chráněny před poškozením a aby nemohly ohrozit bezpečnost osob. Doporučuje se, aby v prostorách přístupných cestujícím byly hasicí přístroje kryté. K označení takto umístěných PHP se použije příslušná značka požární bezpečnosti umístěná na viditelném místě. Umístění PHP musí umožňovat jejich snadné a rychlé použití.

V osobních vozech musí být v jednom nástupním prostoru vozu umístěn nejméně jeden PHP s hasicí schopností min. 21A. PHP musí být umístěn nejdále 15 m od kteréhokoli místa v prostoru pro cestující nebo personál a také musí být umístěn nejdále 6 m od konce vlakové soupravy nebo neprůchozí uličky. Pokud je oddíl pro cestující nebo personál delší než 6 m, musí být vybaven přídatným PHP.

Skříňka pro PHP se umístí na čelní straně nástupního prostoru nebo v protilehlé stěně vozidla. Musí být zapuštěná, snadno otevíratelná, nesmí mít na uzávěru a lištách ostré hrany a nesmí narušovat vzhled nástupního prostoru vozidla a ohrožovat bezpečnost osob. Vyjmutí skrytého PHP musí být snadné a způsob vyjímání musí být zřejmý.



obr. 17 Umístění PHP v nástupním prostoru



obr. 18 Rozmístění PHP ve vloženém voze CityElefant řady 071, vyznačeny nouzové východy z vozidla a umístění ruční brzdy., Převzato a upraveno z [19] - Příloha 1

2.3.3 Umožnění výstupu z vlakového vozu

Pro účel seznámení složek integrovaného záchraného systému s parametry vloženého vozu CityElefant řady 071 byl vydán dokument „Pokyny pro složky Integrovaného záchraného systému pro jednotky 471.076-083 [20], ve kterém jsou popsány nouzové východy a jejich otevírací mechanismus pro případ mimořádné události.

Nouzové východy pro cestující jsou u vozů předmětných jednotek tvořeny bočními vstupními dveřmi o rozměrech 1340 mm x 1920 mm (2 dveře na každou stranu vozu) a bočními okny oddílů pro cestující o rozměru 1440 mm x 850 mm (viz obr. 19).



obr. 19 Výkres únikových cest předmětných jednotek; převzato a upraveno z [20] - Příloha 1

Vstupní dveře lze využít jako nouzový východ po deaktivaci blokování dveří. K ovládání blokování dveří slouží páky vně a uvnitř vozu vedle dveří. K nouzovému úniku však není možné použít dveře, které jsou odstavené z provozu vlivem poruchy provozovatelem jednotek.

Úroveň podlahy v nástupních prostorech se nachází 580 mm nad temenem kolejnice. Vzhledem k této výšce není nezbytné tyto vozidla vybavovat prostředky pro evakuaci (žebříky, schody apod.) - výška výstupu je nižší než 1,2 m.

Otevření vnějších dveří je možné dvěma způsoby v závislosti na provozním stavu vozů:

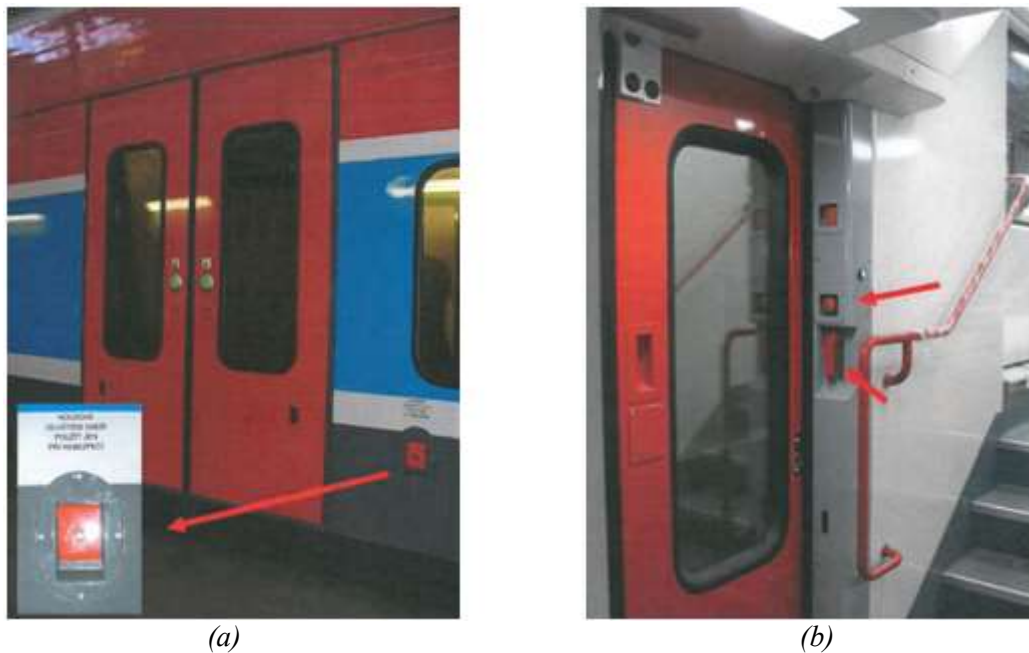
1. Pokud jsou vozy aktivní a příslušné dveře jsou odblokované, je možné k jejich otevření využít kulatá zeleně prosvětlená tlačítka, která jsou umístěná z vnější strany na křídlech dveří a ze strany vnitřní na krytu dveří.
2. Vozy nejsou aktivní nebo příslušné dveře nejsou odblokované.

a) Nouzové otevření vstupních dveří vně vozů

V boční konstrukce vozu se vedle dveří nachází rukojeť, jejímž zatažením dojde k uvolnění přilehlých dveří (viz obr. 20a). Dále je nutné dveře pro vstup dovnitř otevřít manuálně. Na rukojeti je umístěný zámek, který slouží k aktivaci nouzového otevření dveří obsluhou, aby nedošlo k poškození plomby, kterou je rukojeť zajištěna.

b) Nouzové otevření vstupních dveří uvnitř vozů

V interiéru se vedle dveří nachází dva ovládací prvky (viz obr. 20b). Rozbitím krycího skla horního prvku a zmáčknutím tlačítka dojde k uvolnění páky umístěné pod tlačítkem. Otočením páky dojde k uvolnění přilehlých dveří a k výstupu z vozu je třeba otevřít křídla dveří manuálně. Na páce je umístěný zámek, který slouží k aktivaci nouzového otevření dveří obsluhou, aby nedošlo k poškození plomby, kterou je rukojeť zajištěna.



obr. 20 Umístění ovládacích prvků pro nouzové otevření vstupních dveří do vozu řady 071 (a) vně vozu, (b) uvnitř vozu; převzato a upraveno z [20]

Vnitřní posuvné pneumatické dveře je možné otevřít stiskem tlačítka v případě aktivního provozu dveří. Pokud však dveře nejsou v aktivním provozu kvůli přerušení elektrického napájení ovládaní dveří a není možné dveře otevřít manuálně, je nezbytné pro průchod dveřmi rozbít jejich skleněnou výplň.

3 Experiment evakuace osob z vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 (CityElefant)

Další, stěžejní, kapitolou této práce a zároveň její praktickou částí je experiment evakuace osob z vlaku, který je předmětem zhodnocení evakuace a dat týkajících se omezeného pohybu osob v uzavřeném prostoru, celkové doby evakuace, průběhu evakuace na úrovni výstupu, taktiky výstupů figurantů, interakce mezi figuranty a chování osob během evakuace.

3.1 Cíle experimentu

Prvotním cílem experimentu bylo zhodnotit parametry ovlivňující průběh evakuace osob z vlakového vozu. Hlavním předmětem pozorování jsou 3 parametry a jejich vliv na celkovou dobu evakuace. Prvním z nich je vliv **heterogenity davu**. Jelikož literární rešerše provedená v kapitole 2.2.1 ukázala, že převážná většina uskutečněných experimentů byla provedena prostřednictvím homogenní skupiny (kapitola 2.2.1), což znamená, že dobrovolníky byly osoby ve věku přibližně 18-50 let v dobré fyzické kondici, byl výběr figurantů při diskutovaném experimentu zaměřen kromě střední věkové kategorie také na děti či seniory (podrobněji popsáno v kapitole 0). Druhým parametrem je vliv **šířky koridoru** v nástupním prostoru vozu, který byl vybrán z důvodu odlišnosti dispozice různých kolejových vozů u jejich výstupu (dále v 3.4.3). Třetím hlavním parametrem je **typ výstupu** z vozu. V okamžiku, kdy nastane mimořádná událost a je nezbytné evakuovat osoby uvnitř vlakového vozu do bezpečí na volné prostranství, může vůz buď dojet do nejbližší stanice a tam cestující evakuovat, nebo zastavit vlak přímo na trati a provést evakuaci na volný terén. Zmíněné situace jsou dále rozvedeny v kapitole 3.4.2.

Dalšími pozorovanými parametry jsou celková doba evakuace, průměrný tok na úrovni výstupu, průběh evakuace na úrovni výstupu, rychlost osob v interiéru vozu, činnosti a doba do zahájení pohybu osob a způsob překonávání výškového rozdílu mezi úrovní podlahy vozu a okolním terénem.

3.2 Základní informace

Evakuační experiment z vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 (obr. 12) při simulaci mimořádné události se uskutečnil dne 13.6.2018 v areálu Depa kolejových vozidel Praha (DKV Praha) jako výsledek spolupráce Fakulty stavební ČVUT v Praze a Výzkumného ústavu kolejových vozidel a.s. (VÚKV a.s.). Zkouška probíhala v dopoledních hodinách a aktivně se jí zúčastnilo 100 osob. Experiment se uskutečnil ve vloženém voze třívozové jednotky EPJ471, který je kvůli zvýšení přepravní kapacity charakteristický dvěma oddíly pro cestující nad sebou. Kapacita vozu je 134 míst k sezení a 134 míst určených ke stání (popis vozu je uveden v kapitole 2.3.1). Pro zkoušku evakuace osob z vlaku byla uvažována pouze místa určená k sezení a díky 90 figurantům byla kapacita těchto míst z 67 % naplněna. Tato vozová jednotka byla pro experiment zvolena zejména kvůli zmíněné velké přepravní kapacitě a z důvodu výskytu mnoha kritických míst v interiéru, která jsou pro účely pozorování průběhu evakuace osob z vlaku zajímavá.

3.3 Experimentální plán

Pro zajištění hladkého průběhu evakuačního experimentu byl po stanovení evakuačních scénářů sepsán podrobný experimentální plán. Tento dokument je určen především pro organizátory zkoušky a obsahuje detailní informace o experimentu, kterými jsou:

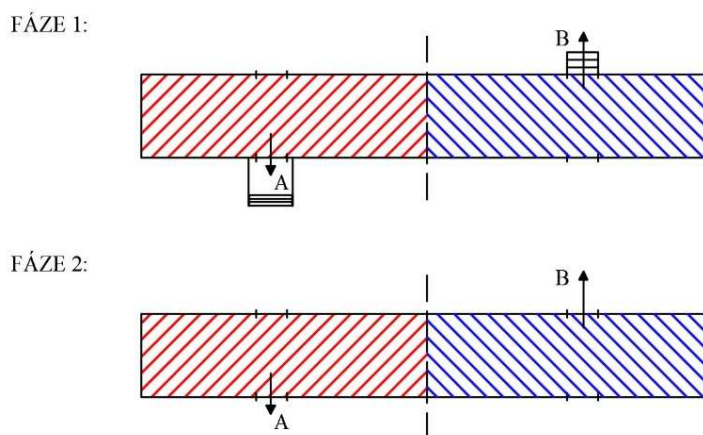
- důvod provádění experimentu
- představení evakuačních scénářů
- rozdělení figurantů do skupin a přidělování identifikačních čísel
- dispozice vozu a rozmístění nahrávacích zařízení
- umístění bariér v nástupním prostoru a popis způsobu jejich instalace
- rozdělení dispozice vozu na dvě totožné poloviny
- detailní harmonogram experimentu včetně přípravných kroků
- výčet potřebného materiálu a vybavení

Nedílnou součástí provádění experimentu evakuace osob je i etické hledisko vzhledem k dobrovolníkům, kteří se ho účastní. Týden před samotným experimentem proběhla informační schůzka pro všechny figuranty, kde byli tito seznámeni s místem konání zkoušky, s celým jejím průběhem, s bezpečnostními pokyny týkajícími se pohybu v areálu konání zkoušky a chování figurantů během evakuace. Podmínkou pro účast dobrovolníků na experimentu byl souhlas s pořizováním videozáznamů během experimentu a s jejich následným zpracováním, souhlas se zpracováním osobních údajů v souladu s GDPR a v případě osob mladších 15 let byla účast podmíněna doprovodem alespoň jednoho z rodičů.

3.4 Evakuační scénáře

Evakuační scénáře byly sestaveny tak, aby byly zkombinovány všechny tři proměnné vstupní parametry - složení skupiny, typ výstupu a šířka výstupu. Díky diagonální symetrii vozu byl prostor rozdělen na dvě stejné poloviny, a tak bylo možné realizovat vždy dvě zkoušky najednou: z jedné poloviny vozu byla evakuována skupina s homogenním složením figurantů a z druhé skupina se složením heterogenním (specifikace figurantů viz 0). Díky rozpůlení vloženého vozu a rozdělení figurantů na dvě odlišné skupiny bylo provedeno celkem 30 evakuačních scénářů, přičemž každý z figurantů opouštěl vlak v rámci evakuace pouze patnáctkrát.

Experiment byl rozdělen do dvou fází (znázorněno na obr. 21). První fáze byla provedena z jednoho výstupu z vlaku na pódium simulující nástupiště (A) a z výstupu druhého po schodech dolů (B). V druhé fázi byly konstrukce nástupiště a schodišť odinstalovány a byly provedeny zkoušky se stejnou šířkou výstupu a se stejným složením figurantů jako ve fázi první, jen s výstupem na úroveň terénu na obou stranách (A i B). V každém běhu byl figurantům k dispozici pouze jeden východ z vlaku na volné prostranství. Přehled evakuačních scénářů je uveden v tab. 5.



obr. 21 Fáze experimentu

Při tvorbě evakuačních scénářů byla zanedbána doba otevírání vnějších dveří, přestože je vložený vůz jednotky EPJ471 v nástupním prostoru vybaven prvky pro ovládání dveří při mimořádné události (viz kapitola 2.3.2). Při evakuačních výstupech by docházelo k hromadění figurantů v nástupním prostoru, což by mělo další dopad na naměřené hodnoty pohybu osob ve voze, proto zůstaly dveře po celou dobu experimentu otevřené. Tato situace může nastat v případě, kdy se po zjištění mimořádné události strojvedoucí rozhodne zastavit vlak až po určité době na bezpečném místě, personál informuje cestující o situaci a dalších krocích, po zastavení vlaku jsou vnější dveře otevřeny personálem a teprve poté jsou cestující vyzváni k zahájení evakuace.

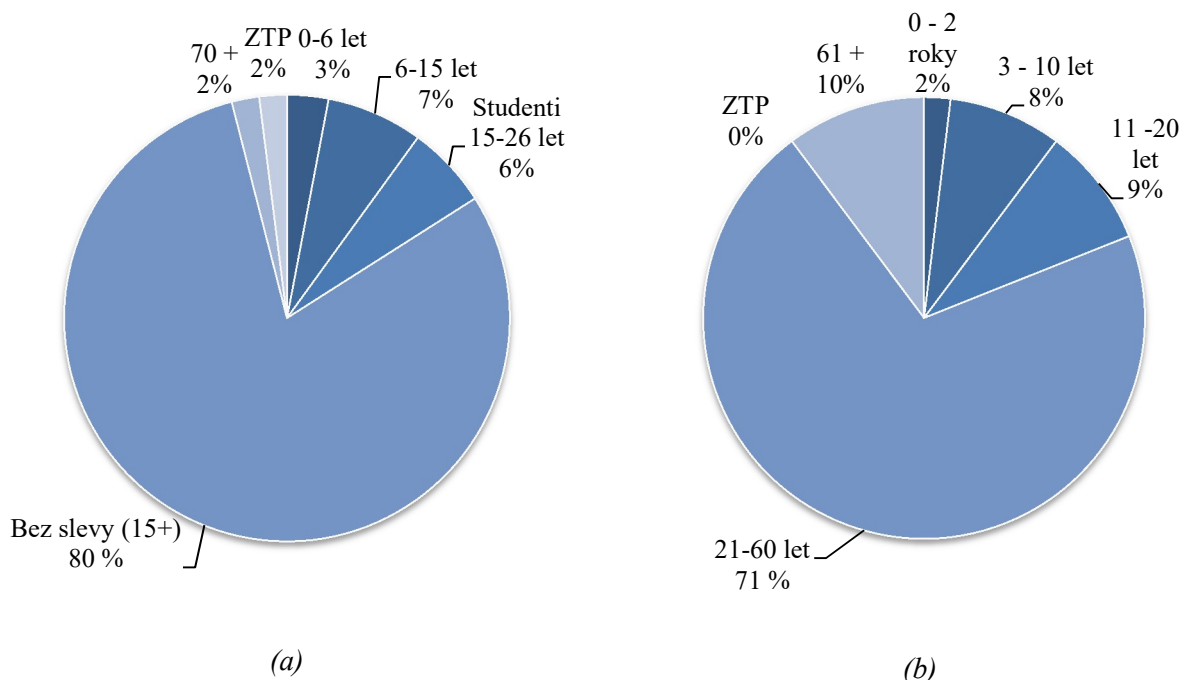
tab. 5 Evakuační scénáře

	Evakuační běh	A		Evakuační běh	B	
		Nástupiště			Schodiště	
		Skupina	Šířka koridoru [mm]		Skupina	Šířka koridoru [mm]
FÁZE I	1	Homogenní	900	1	Heterogenní	1100
	2	Heterogenní	900	2	Homogenní	1100
	3	Heterogenní	650	3	Homogenní	750
	4	Homogenní	650	4	Heterogenní	750
	5	Homogenní	1340	5	Heterogenní	1340
	6	Heterogenní	1340	6	Homogenní	1340
	7	Heterogenní	750	7	Homogenní	650
	8	Homogenní	750	8	Heterogenní	650
	9	Homogenní	1100	9	Heterogenní	900
	10	Heterogenní	1100	10	Homogenní	900
Terén						
FÁZE II	11	Heterogenní	1100	11	Homogenní	900
	12	Homogenní	1100	12	Heterogenní	900
	13	Homogenní	750	13	Heterogenní	650
	14	Heterogenní	750	14	Homogenní	650
	15	Heterogenní	1340	15	Homogenní	1340

3.4.1 Specifikace figurantů

Jelikož byla v minulosti převážná většina experimentů evakuace osob z vlaku provedena prostřednictvím homogenních skupin (více v kapitole 2.2.1), jejichž součástí nebyli senioři či děti, kteří mohou mít negativní vliv na celkovou dobu evakuace, bylo rozhodnuto uskutečnit experiment, jehož součástí budou právě lidé s rozdílnou schopností pohybu. Důvodem volby heterogenní skupiny pro experiment byla snaha sestavit skupinu co nejvíce podobnou běžně cestující populaci. Výsledky takové skupiny byly nakonec porovnány s výsledky skupiny homogenní, která se skládá ze zdatných jedinců.

Základním parametrem, kterým se řídil výběr figurantů, byl jejich věk. Pro stanovení požadavků na procentuální zastoupení různých věkových kategorií v rámci heterogenní skupiny byl pro potřeby této diplomové práce provozovatelem EPJ471, tedy ČD a.s., poskytnut expertní odhad složení cestujících (obr. 22a). Tento odhad vychází ze statistik prodaných jízdních dokladů ČD a.s. na trasách mezi Prahou a Středočeským krajem, pro které je jednotka typická. Pokud k těmto dokladům cestující prokáží nárok na slevu, lze na základě těchto informací odhadnout zastoupení věkových kategorií či zastoupení ZTP. Dále byl proveden vlastní průzkum složení cestujících ve vloženém voze EPJ071 na trasách mezi Prahou a Středočeským krajem. Věkové kategorie byly stanoveny především s ohledem na charakteristické schopnosti pohybu (obr. 23). Předpoklady pro rozdělení cestujících do věkových skupin a detaily jednotlivých jízd jsou uvedeny v Příloze 1.



obr. 22 Procentuální zastoupení věkových kategorií dle (a) expertního odhadu ČD a.s.; (b) vlastního průzkumu v EPJ071

Porovnáním vlastního průzkumu a odhadu provozovatele lze konstatovat, že jsou si výsledky velice podobné. Předpokládejme však, že se v obou procentuálních složeních cestujících vyskytují odchylky. V případě vlastního průzkumu mohou být způsobeny špatným vizuální odhadem věku cestujících či jejich omezení pohybu, která nejsou na pohled patrná. Expertní odhad ČD a.s. může obsahovat nepřesnosti, které vyplývají z nepředkládání nároku na slevu cestujícími, kteří na ni mají nárok, jako například senioři ve věku 70+ či studenti, tj. cestující ve věku 15-26 let (ti spadají do skupiny „bez nároku na slevu“, tedy 15+). Dalším důvodem nepřesnosti může být fakt, že část cestujících v Praze a Středočeském kraji nevyužívá tarif ČD a.s., ale tarif Regionálního organizátoru pražské integrované dopravy (ROPID).

Výsledné procentuální zastoupení věkových kategorií v rámci vlastního odhadu se stalo zároveň požadavkem na složení figurantů při diskutovaném experimentu. Pro zkoušku nouzového výstupu se podařilo zajistit celkem 90 dobrovolníků. Složení heterogenní skupiny (obr. 23a) se stanoveným požadavkům zdárně přiblížilo, a to takto:

- děti ve věku 0-2 roky: 4 %
- děti ve věku 3-10 let: 10 %
- dospívající ve věku 11-20 let: 35 %
- dospělí ve věku 21-60 let: 43 %
- dospělí 60+: 8 %
- ZTP: pro simulaci byl jeden z dobrovolníků vybaven berlemi a vyzván k pomalejšímu pohybu, bez aktivního používání jedné nohy

Skupina homogenní byla tvořena pouze figuranty ve věku přibližně 18-38 let, kteří byli v dobré fyzické kondici. Taková skupina může být charakteristická pro fanoušky fotbalu, kteří cestují vlakem na derby či třídu gymnazistů cestujících na školní exkurzi (obr. 23b).



(a)



(b)

obr. 23 Skupina figurantů se složením (a) heterogenním; (b) homogenním

3.4.2 Specifikace druhů výstupu

Pro vyhodnocení vlivu typu výstupu z vlaku na volné prostranství na celkovou dobu evakuace byly zvoleny tři situace, které mohou při mimořádné události na trati nastat.

Prvním z nich je výstup cestujících do prostoru nádraží přímo na nástupiště, kde cestující nepřekonávají žádné výškové rozdíly mezi úrovní podlahy vozu a úrovní povrchu na volném prostranství. Pro takový případ bylo při zkoušce nástupiště nahrazeno pódiem o rozměrech 3x3 m, díky kterému neměli figuranti nejmenší problém s výstupem ze soupravy (obr. 24). Velikost pódia byla zvolena tak, aby případné zdržení figurantů u sestupu z pódia na asfaltový povrch neovlivňovalo výstup z vlaku ostatních cestujících (minimální rozměry pódia byly ověřeny v programu Pathfinder, který slouží k simulaci pohybu osob prostřednictvím agentů).



obr. 24 Výstup z vozu na pódiu simulující nástupiště

Dalším případem byla uvažována situace, kdy je pro vlakovou soupravu a pro bezpečnost cestujících třeba zastavit mimo stanici. Pak se osoby z vnitřního prostoru vozu musí evakuovat na volný terén a v takovém případě mohou buď využít pomocné schodišťové stupně (pokud je jimi vlaková souprava vybavena) nebo překonávají výškový rozdíl podlahy vozu a volného terénu, který činí přibližně 75 cm (obr. 25b). Pro první variantu byly při experimentu využity pódiové stupně (obr. 25a).



(a)



(b)

obr. 25 Výstup z vozu (a) po schodech dolů; (b) na úroveň terénu heterogenní skupiny

3.4.3 Specifikace variability vnitřního koridoru

Třetím proměnným parametrem byla v průběhu zkoušky šířka koridoru na úrovni výstupu z vlaku, tedy v nástupním prostoru. Toto místo bylo zvoleno jako kritické s předpokladem, že zde bude největší hustota cestujících, jelikož zde dochází ke sloučení proudů z obou podlaží vozu. Pro dosažení kvalitních výsledků bylo stanoveno pět šířek vnitřního koridoru, a to:

- 1340 mm (plná šířka koridoru)
- 1100 mm
- 900 mm
- 750 mm
- 650 mm

Jednotlivé šířky byly simulovány pomocí rozpěrných tyčí a na míru upravených OSB desek (jak lze vidět na obr. 26), které byly do nástupního prostoru v průběhu experimentu instalovány a zužovaly tak původní prostor ($w = 1340$ mm). Evakuační scénáře byly seřazeny tak, aby se šířka koridoru měnila alespoň o dvě úrovně a nedocházelo tak k naučenému pohybu figurantů, který by nepřinesl výrazně odlišné výsledky při této změně.



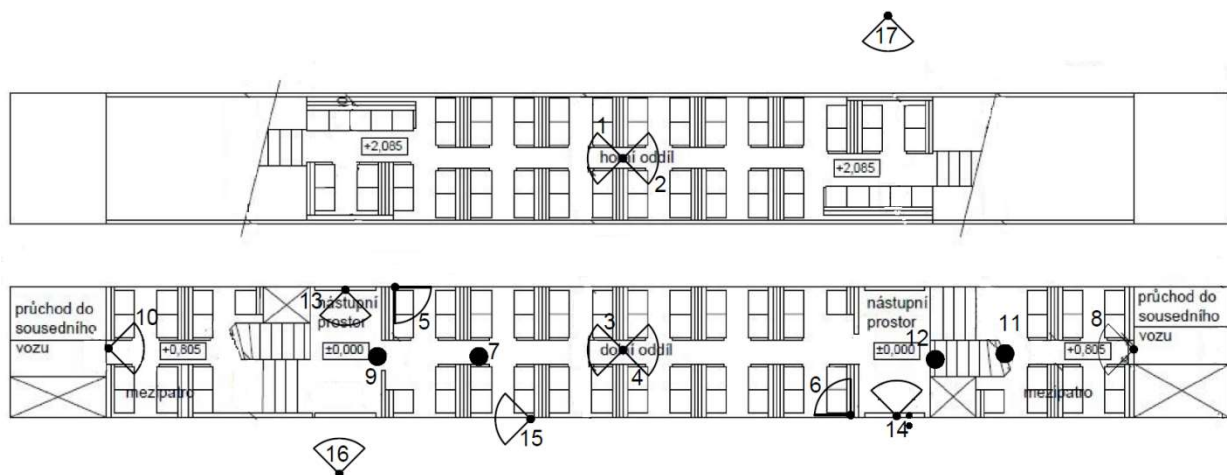
obr. 26 Bariéry zajišťující variabilitu vnitřního koridoru

3.5 Metody měření

Ke sběru dat v průběhu experimentu a následnému vyhodnocení experimentu sloužily videokamery značky GoPro (9 ks) a Rollei (11 ks), které byly umístěny v interiéru vozu, další 3 videokamery sloužili ke sběru dat ve vnějším prostředí. Data získaná prostřednictvím vnitřních videokamer byla podrobena analýze videí všech běhů evakuace se zaměřením na pozorování chování cestujících uvnitř vozu. Videozáznamy z vnějších kamer sloužily pro naměření celkové doby evakuace každého běhu. Záběry z vnější videokamery jsou patrné z obr. 25.

Pozice kamer byly zvoleny tak, aby bylo možné snímat v průběhu experimentu co největší plochu vozu a byla zachycena veškerá kritická místa a momenty evakuace.

Jak je patrné z obr. 27, kamery č. 1-14 snímaly především pohyb figurantů uvnitř vozu v průběhu evakuace. Kamery č. 9 a 7 byly instalovány pod stropem ve vertikální poloze a byly určeny k měření rychlosti osob v uličce. Obdobně využity byly kamery č. 11 a 12, s rozdílem měření rychlosti osob v uličce po schodišti směrem dolů (eventuálně pro měření rychlosti chůze po schodech nahoru při nástupu cestujících do vozu).



obr. 27 Rozmístění videokamer v interiéru a v exteriéru vozu

Další vnitřní videokamery byly určeny především pro sledování dalších faktorů, jako je chování cestujících během evakuace, měření času do zahájení pohybu evakuace, sledování sociálních vazeb či kooperace mezi jednotlivci. Ilustrační záběry z vnitřních kamer viz obr. 28.



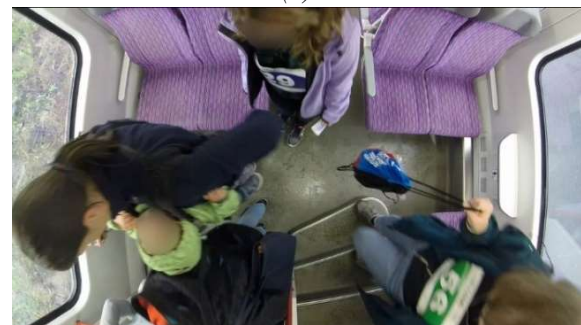
(a)



(b)



(c)



(d)

obr. 28 Záběry z vnitřních videokamer (a) č. 4; (b) č. 8; (c) č. 5; (d) č. 11

3.6 Průběh experimentu

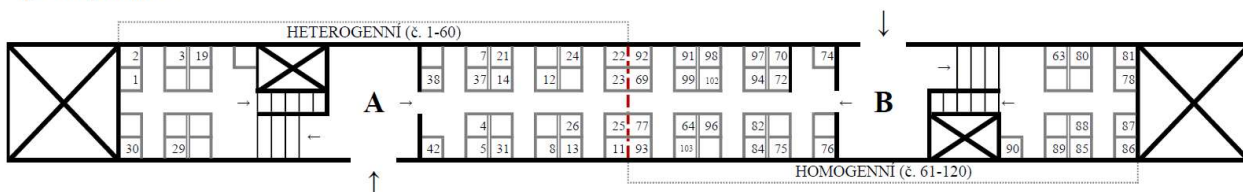
Samotným zkouškám nouzovému výstupu předcházela příprava vloženého vozu. Pro hladký průběh experimentu bylo třeba rozmístit ve voze vytištěný stručný harmonogram (který sloužil zejména figurantům pro lepší časovou orientaci), rozmístit vnější i vnitřní videokamery, instalovat pódium a schodiště k výstupům z vozu a instalovat rozpěrné tyče a OSB desky pro zužování vnitřního koridoru.

Před začátkem experimentu byly figurantům podány instrukce o jeho průběhu a dále byly vyloženy pokyny o chování během zkoušek nouzového výstupu:

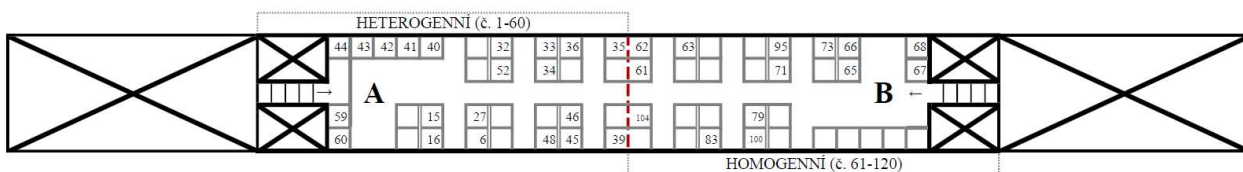
- dostat se z vozu na volné prostranství dle vlastních pohybových možností
- je na uvážení každého z figurantů, zda osobní věci nechají ve vlaku, či je v průběhu evakuace budou nosit s sebou
- aby k oblékání svrchních vrstev oblečení docházelo ve voze před zahájením pohybu evakuace

Dětem byly rozdány žluté reflexní vesty a každému figurantovi bylo přiděleno identifikační číslo, které si připnul na viditelné místo hrudníku (obr. 25), a dále plánek vozu, na kterém bylo pro každého vyznačeno konkrétní sedadlo (obr. 29). Rozmístění figurantů bylo při každém evakuačním scénáři stejné. Obsazená sedadla nejsou totožná pro obě skupiny (homogenní a heterogenní) z důvodu předpokládané různé strategie cestujících při výběru místa k sezení ve voze při reálné situaci.

Spodní podlaží:



Horní podlaží:



obr. 29 Orientační plánek rozsazení figurantů

První běh evakuace osob z vlaku byl odstartován v 10:31. Jednotlivé evakuační scénáře byly spuštěny ostrým hvizdem píšťalky (podrobně popsáno v kapitole 3.7.2), který pro figuranty signalizoval pokyn k okamžitému opuštění vozu. Po výstupu z vozu byli figuranti instruováni o dalších krocích zkoušky, usazení zpět do vozu a vyčkávali na následující hvizd.

V průběhu evakuace byli mezi figuranty ve voze rozptýleni organizátoři v reflexních vestách. Dva z nich se evakuace účastnili aktivně jako náhradníci figurantů, ostatní se účastnili pouze pasivně a průběh evakuace pozorovali pro případ nečekané komplikace ohrožující bezpečnost dobrovolníků.

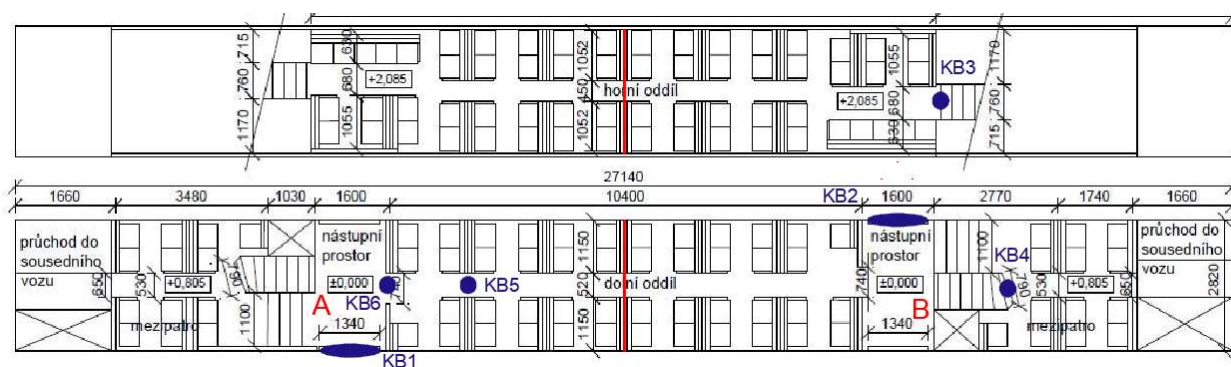
Kvůli deštivému počasí, které trvalo po celou dobu experimentu, byl dobrovolníkům zpřístupněn další vůz, kde pro ně bylo připraveno občerstvení v době přestávek, kdy se prováděly úpravy konstrukcí u výstupu z vlaku či úpravy bariér v nástupním prostoru. Experiment byl dle časového plánu ukončen ve 12:20, přičemž nikdo neutřil žádná zranění a interiér vozu nebyl nijak poškozen.

3.7 Vyhodnocení experimentu

Při vyhodnocování evakuačního experimentu byla pozornost upírána k několika kontrolním bodům (dále KBx), které jsou graficky znázorněny na obr. 30. Hlavními KB pro vyhodnocování celkové doby evakuace evakuačních scénářů byly KB1 a KB2 v úrovni výstupu z vozu (KB1 v části A a KB2 v části B). Za dosažení této úrovně a ukončení evakuace byl považován výstup posledního cestujícího, tedy moment přenesení těžiště figuranta mimo konstrukci vozu.

Další kontrolní body sloužily k měření rychlosti osob a toku osob daným místem. Prvním měřeným úsekem bylo zvoleno jedno ze sedmistupňových schodišť mezi horním oddílem a oddílem v mezipatře na konci vlaku. KB3 se nacházel v úrovni hrany prvního schodu shora dolů, kde byla pod stropem umístěna další kamera ve vertikální poloze. V úrovni schodu posledního byla stejným způsobem umístěna kamera pro zaznamenávání překonání úrovně celého schodiště figuranty, zde se nacházel KB4. Vzdálenost (ve sklonu schodiště) mezi KB3 a KB4 byla 1,88 m.

KB5 a KB6 se nacházely ve spodním oddíle pro cestující v uličce mezi sedadly - KB6 v úrovni vstupu do nástupního prostoru a KB5 v prostoru uličky ve vzdálenosti 1,83 m od KB6. Poloha KB5 byla takto zvolena z důvodu, aby přes tento KB prošlo při evakuačním běhu co nejvíce figurantů z dané poloviny vozu.



obr. 30 Umístění kontrolních bodů

3.7.1 Nežádoucí vlivy ovlivňující výsledky evakuace

Při analýze naměřených dat byly odhaleny skutečnosti, které mohou mít nežádoucí vliv na vyhodnocování a na výsledky evakuačního experimentu. Prvním z nich je nerovnoměrné rozdělení figurantů do skupin v důsledku nedostatečné komunikace mezi organizátory během příprav evakuačního experimentu. Ve finálním součtu se experimentu zúčastnilo 42 figurantů homogenní skupiny a 47 figurantů skupiny heterogenní. Při porovnávání výsledných dob evakuace nelze tento nepoměr zcela zanedbat, jelikož rozdíl opuštění vozu 42. a 47. figurantem činí v průměru 5 s. Pro srovnání těchto okrajových podmínek je možné jako nejintuitivnější přístup považovat za ukončení evakuace u heterogenní skupiny opuštění vlaku 42. figurantem. Vzhledem k samotné podstatě složení figurantů této skupiny je při vyhodnocování celkové doby evakuace použit vztah pro redukci doby evakuace pěti průměrných figurantů této skupiny, ne právě těch posledních, kteří byli pro jednotlivé běhy evakuace odlišní. Použit je vzorec pro přeškálování času počtem osob, tedy:

$$T'_{het} = T_{het} \cdot (n_{hom}/n_{het}) \quad (3.1)$$

kde

T'_{het} = celková doba evakuace heterogenní skupiny (42 figurantů) [s]

T_{het} = celková doba evakuace celé heterogenní skupiny (47 figurantů) [s]

n_{hom} = celkový počet figurantů homogenní skupiny během experimentu [osob]

n_{het} = celkový počet figurantů heterogenní skupiny pro daný evakuační běh [osob]

Dalším nežádoucím vlivem je absence několika figurantů u dvou výstupů, kdy se 11. a 12. evakuačního scénáře nezúčastnily dvě dvojice rodič-dítě, které se během pauzy pro odinstalaci konstrukcí u výstupu z vlaku zdržely v kabině strojvedoucího. Počet figurantů heterogenní skupiny se tak na dva běhy zúžil na 43 evakuovaných. Celková doba evakuace bude i v tomto případě upravena dle rovnice 3.1.

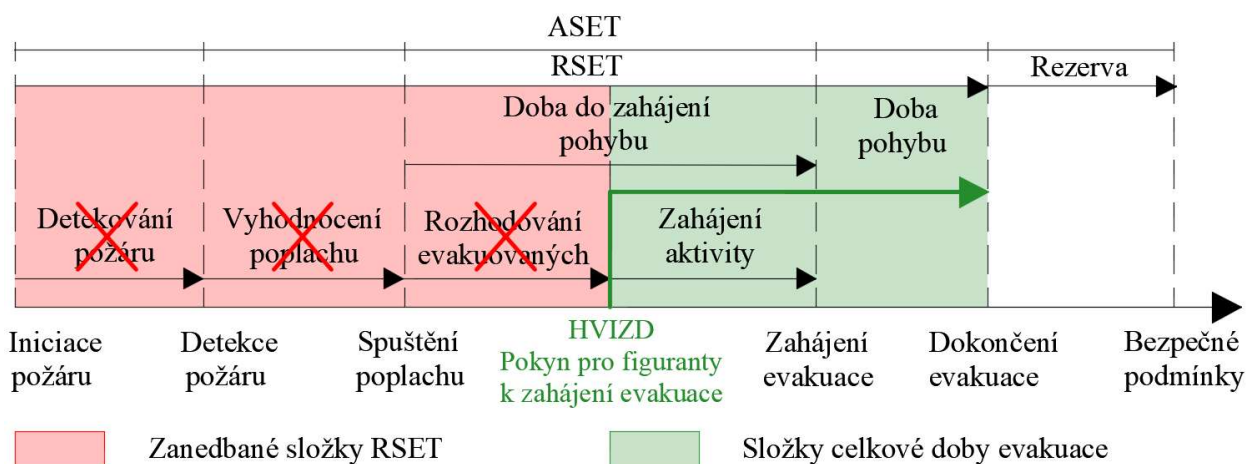
Vlivem, který nelze opomenout, je zásah jednoho z přihlížejících organizátorů do průběhu evakuace během výstupů na volný terén. V momentě, kdy figuranti museli překonávat výškový rozdíl 75 cm mezi úrovní podlahy vlaku a terénem, zde ve snaze zajistit dobrovolníkům bezpečnost docházelo k asistenci starším figurantům při seskoku z vlaku osobou, která se evakuace neúčastnila aktivně a svým jednáním tak zasahovala do jejího průběhu. Celková doba evakuace u těchto evakuačních scénářů se tak snížila odhadem o 2-3 s. Největší dopad má tato skutečnost na pozorování chování heterogenní skupiny u jejich prvního výstupu na volný terén při šířce vnitřního koridoru $w = 1100$ mm, jelikož skupina nemá pohyb a vzájemnou kooperaci nacvičenou, jako u výstupů následujících.

Výsledky evakuačních měření jsou nejvíce ovlivněny prováděním velkého množství evakuačních scénářů v krátkém časovém úseku. Díky tomu figuranti několikrát opakují stejné postupy, pohyby a vzájemné kooperace a tyto mohou postupně zdokonalovat a urychlovat.

Ve snaze tento vliv eliminovat ve způsobu zipování a slévání proudů figurantů ze spodního a horních oddílů byly šířky vnitřního koridoru v nástupním prostoru měněny minimálně o dvě úrovně (viz tab. 5). Při změnách typu výstupu se tomuto však nedalo zabránit, a tak můžeme za evakuační výstupy nejvíce podobné skutečnosti považovat vždy první výstup daného typu, tedy evakuační scénář 1A na nástupiště, 1B po schodišti, 11A a 11B na volný terén (viz tab. 5). Při videoanalýze je rozdíl mezi způsoby jednotlivých výstupů nejvíce patrný právě při překonávání výškového rozdílu z úrovně podlahy vozu na úroveň terénu.

3.7.2 Celková doba evakuace

Celkovou dobou evakuace osob z vlaku se v rámci této zkoušky rozumí časový interval zahájený ostrým hvizdem píšťalky a ukončený opuštěním vozu posledním figurantem na úrovni výstupu. V reálné situaci se tedy jedná o dva časové úseky intervalu doby potřebné pro evakuaci (RSET), kterými jsou zahájení aktivity (cestující se rozhodne se evakuovat, obléká si bundu, čeká na blízké, pozoruje kroky ostatních) a doba pohybu na bezpečné místo (obr. 31).



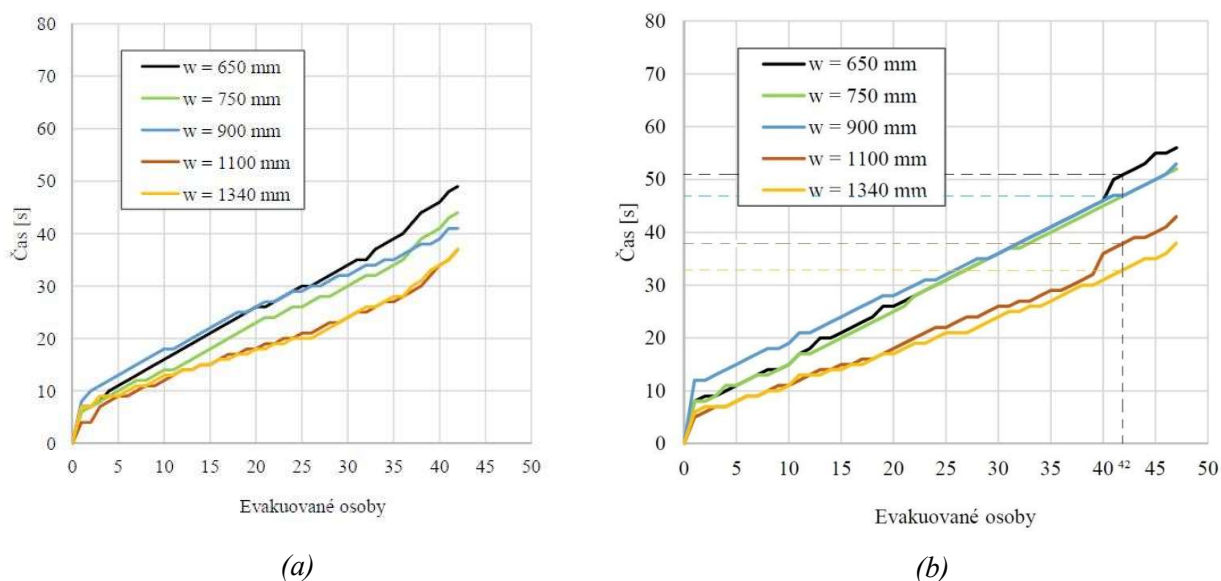
obr. 31 Složky celkové doby evakuace pro zkoušku nouzového výstupu z EPS071; převzato a upravenou z [4]

Kvůli předpokladu vypojení elektrické soupravy od zdroje elektrické energie nebylo možné v průběhu experimentu využívat prvky požární bezpečnosti soupravy pro detekci a vyhlášení požáru. Z tohoto důvodu byly složky RSET týkající se detekce požáru a jeho vyhodnocení zanedbány. Rozhodování cestujících o dalších krocích po obdržení informace o nastalém poplachu není možné během cvičné evakuace nasimulovat tak, aby reakce přesně odpovídaly reálné mimořádné události, a to především kvůli bezpečnosti figurantů.

Z výsledných grafů znázorňujících průběh opouštění vozu na úrovni výstupu na nástupiště (obr. 32), po schodišti (obr. 33) a na terén (obr. 34) evakuovanými je patrné, že průběh evakuace byl od výstupu prvního z figurantů na těchto úrovních hladký. Na základě videoanalýzy průběhu evakuace z vozu je patrné, že z důvodu omezeného prostoru uvnitř vozu docházelo ke kritickým momentům evakuace v místech slévání proudů osob z různých oddílů

vlaku, a to na mezipodestách a v nástupních prostorech. Rozdíly v míře zipování, která ovlivňuje celkovou dobu evakuace, byly patrné zejména při změnách šířek koridoru, částečně také při odstranění konstrukcí schodiště a pódia u východu z vozu.

Průměrný čas opuštění vozu prvním figurantem byl $t_1 = 6,8$ s ($t_{1,\text{hom}} = 6,33$ s; $t_{1,\text{het}} = 7,20$ s). V 67 % evakuačních bězích byl prvním evakuovaným figurant startující z mezipodesty či z horního oddílu. Ve zbylých 33 % jím byl některý z figurantů ze spodního oddílu. Tito figuranti sice k východu překonávali kratší vzdálenost, překážkou při evakuaci jim však byly prosklené posuvné interiérové dveře (popis kapitola 2.3.1), které evakuaci těchto osob zpomalily. Doba od stisknutí tlačítka pro otevření dveří až po jejich 100% otevření je 4 s.

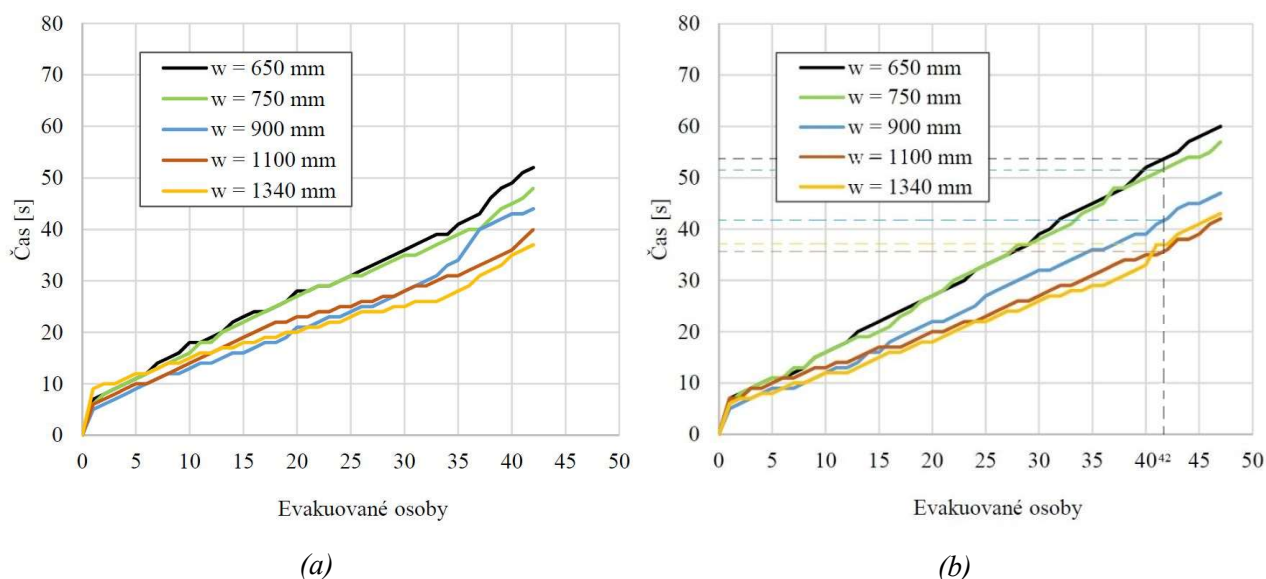


obr. 32 Závislost evakuovaných osob na čase opuštění konstrukce vlaku na nástupiště
(a) homogenní skupinou; (b) heterogenní skupinou

V případě průběhů evakuačních scénářů na nástupiště je z grafů (obr. 32) patrný rozdíl v průběhu opouštění vozu pro šířky koridoru v nástupním prostoru $w = 1100$ mm a $w = 1340$ mm od ostatních pro obě sledované skupiny figurantů. Lze tedy tvrdit, že při šířce vnitřního koridoru $w \geq 1100$ mm opouští evakuovaní vlak na úrovni východu po dvou vedle sebe. Pokud je šířka koridoru $w \leq 900$ mm, figuranti se řadí za sebe či „cikcak“ rameno na rameni, postupně pak do řady za sebou, a dochází tak k postupnému nárůstu celkové doby evakuace.

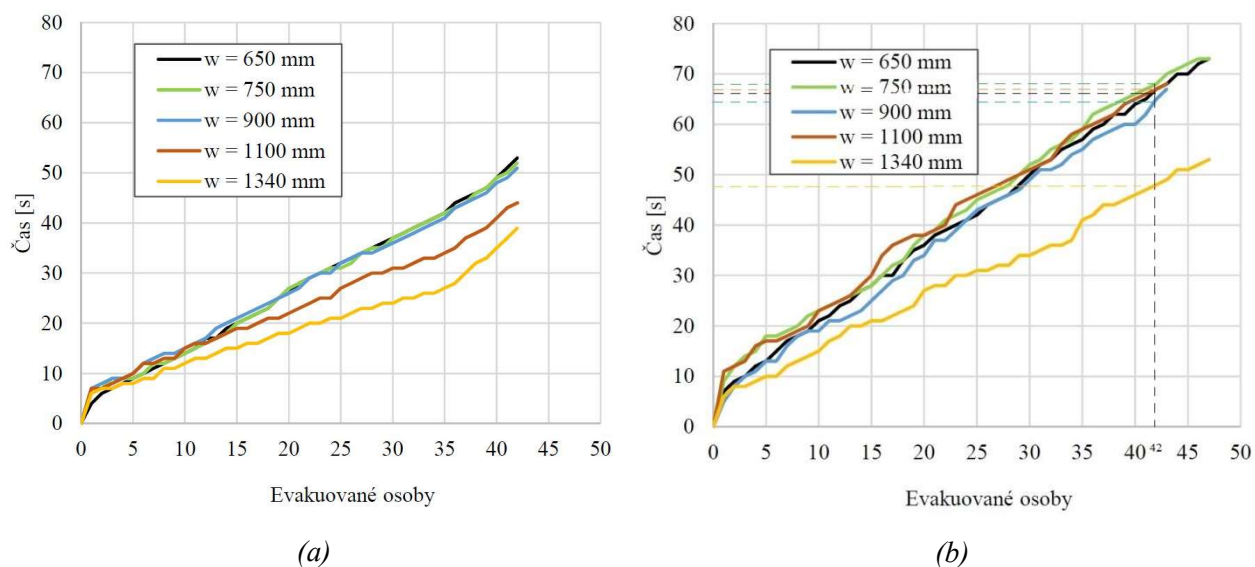
V grafu obr. 32a, tedy u homogenní skupiny, mezi ostatní průběhy evakuace lehce nezapadá výstup při šířce koridoru $w = 900$ mm, který je v 88 % svého průběhu pomalejší, než výstup při $w = 750$ mm a v první polovině průběhu pomalejší než $w = 650$ mm. Tento výstup byl prvním ze všech výstupů homogenní skupiny a figuranti neměli pohyb natrénovaný. U heterogenní skupiny si při této šířce koridoru lze všimnout pozdějšího výstupu prvního z figurantů, který je způsobený zpožděním cca 5 s na počátku evakuace, kdy po videoanalýze v interiéru vozu bylo zjištěno, že figuranti neslyšeli hvizd píšťalky a pohyb evakuace zahájili

až při zjištění, že se druhá polovina figurantů (homogenní skupina) začíná evakuovat. Při zohlednění tohoto zpoždění jinak průběh tohoto evakuačního scénáře odpovídá ostatním průběhům evakuačních scénářů.



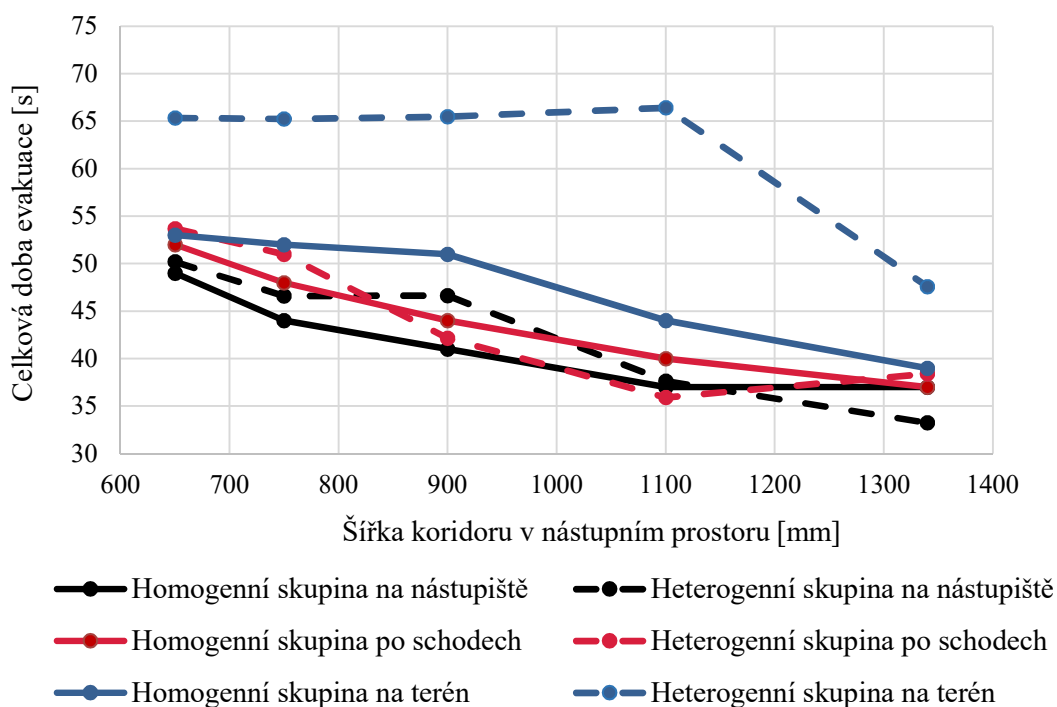
obr. 33 Závislost evakuovaných osob na čase opuštění konstrukce vlaku po schodišti
(a) homogenní skupinou; (b) heterogenní skupinou

U výsledků průběhu evakuace na úrovni výstupu po schodišti vliv tréninku výstupu není patrný a časový průběh evakuace pro šířku koridoru $w = 1100$ mm, která byla první, řádově zapadá mezi ostatní.



obr. 34 Závislost evakuovaných osob na čase opuštění konstrukce vlaku přímo na úroveň terénu
(a) homogenní skupinou; (b) heterogenní skupinou

U výstupů z vozu na úroveň terénu je více patrný rozdíl mezi průběhem evakuace homogenní a heterogenní skupiny (obr. 34). Zatímco evakuace homogenní skupiny probíhá u výstupu z vozu hladce, u heterogenní skupiny není výstup zcela plynulý, jak lze vidět na křivkách závislosti evakuovaných na čase. V případě heterogenní skupiny (obr. 34b) probíhala evakuace při plné šířce vnitřního koridoru ($w = 1340$ mm) značně rychleji než v případech se zúženým prostorem. Videoanalýza ukázala, že při překonávání výškového rozdílu dětmi či staršími osobami jsou tyto schopny výstupu z vozu po dvou vedle sebe a jelikož probíhal tento výstup jako poslední, lze jako faktor urychlující evakuaci zahrnout i vliv tréninku výstupu co se týče nacvičeného seskakování či kooperace mezi figuranty. Naopak evakuace osob téže skupiny při šířce vnitřního koridoru $w = 1100$ mm byla navzdory očekávání výrazně pomalejší a její průběh byl srovnatelný s evakuací s téměř dvakrát užším výstupním prostorem. Jelikož byla evakuace za těchto podmínek pro heterogenní skupinu vůbec první z pěti výstupů na úroveň terénu, nelze zde uvažovat vliv tréninku seskoků a vzájemné kooperace, který hrál u této skupiny během experimentu velikou roli. Z toho důvodu je evakuace této skupiny o tolik pomalejší, než evakuace při šířce $w = 1340$ mm a o tolik pomalejší, než u skupiny homogenní, u které nehrál nácvik takovou roli, jako u druhé skupiny, jelikož žádný z figurantů nebyl pro urychlení evakuace závislý na pomoci druhých.



obr. 35 Srovnání celkové doby evakuace všech evakuačních scénářů

Při pohledu na obr. 35 lze konstatovat, že se naplnilo očekávání, kdy celková doba evakuace klesá s postupným rozšiřováním šířky koridoru v nástupním prostoru. Největší rozdíl celkové doby evakuace mezi dvěma skupinami nastává v případě, kdy se obě skupiny evakovali na terén a překonávali tak výškovou úroveň 75 cm. U evakuačních scénářů, kdy bylo simulováno

nástupiště či nouzový prostředek pro výstup na úroveň terénu mimo nástupiště, tedy schodiště, není vliv starších osob či dětí příliš patrný, v některých případech se dokonce heterogenní skupina evakovala rychleji než skupina homogenní. Průměrný rozdíl celkové doby evakuace skupin u těchto dvou typů výstupu byl 1,2 s, v případě výstupu na terén činil průměrný rozdíl 12,8 s. Z tohoto můžeme usuzovat, že pohyb evakuovaných osob a jejich rychlost uvnitř vozu, tj. v prostoru s omezenou možností pohybu díky dispozici vozu, nejsou ovlivněny schopností pohybu starších osob či dětí. K tomuto vlivu dochází až v momentě překonávání překážky, kterou je seskok z vozu na okolní terén.

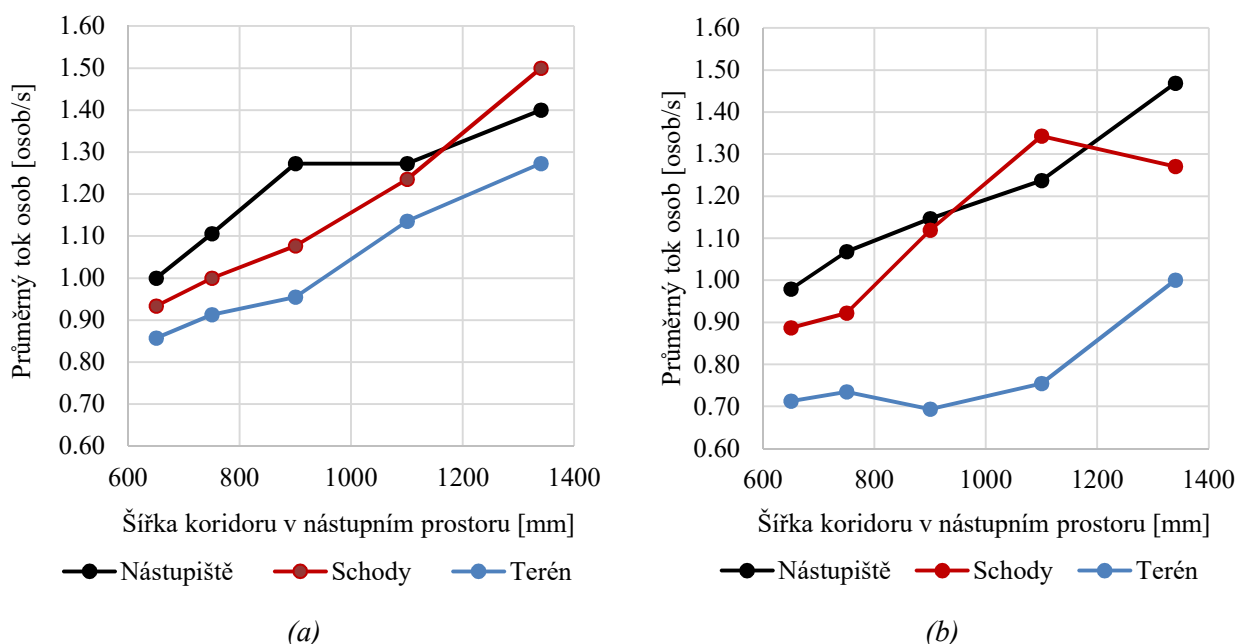
V tab. 6 jsou uvedeny konkrétní hodnoty celkové doby evakuace pro všechny evakuační scénáře. Pro obě skupiny se za ukončení evakuace uvažuje opuštění vozu 42. figurantem.

tab. 6 Celková doba evakuace

Šířka koridoru [mm]	Celková doba evakuace [s]					
	Nástupiště		Schodiště		Terén	
	HOM skupina	HET skupina	HOM skupina	HET skupina	HOM skupina	HET skupina
650	49	51	52	54	53	67
750	44	47	48	52	52	68
900	41	47	44	42	51	65
1100	37	38	40	36	44	67
1340	37	33	37	37	39	48
HOM - homogenní skupina HET - heterogenní skupina						

3.7.3 Průměrný tok osob na úrovni výstupu

Při vyhodnocování výsledků zkoušky je průměrným tokem proudu osob uvažován parametr vyjadřující počet osob, které projdou kontrolním bodem za jednotku času (kapitola 2.1.2). Při stanovení těchto hodnot na úrovni výstupu byla uvažována průměrná hodnota celé skupiny, počátek intervalu začínal vystoupením z vozu prvním figurantem a končil opuštěním vozu figurantem posledním.



obr. 36 Průměrný tok proudu osob všech evakuačních scénářů
(a) homogenní skupiny, (b) heterogenní skupiny

V grafech na obr. 36 je patrná změna toku osob v na úrovni výstupů z vozu se změnou jak šířky vnitřního koridoru, tak se změnou typu výstupu. Navzdory předpokladu, že by se měl průměrný tok celé skupiny pro jednotlivé evakuační scénáře s narůstající šířkou vnitřního koridoru zvyšovat, se u každé skupiny objevil případ, kdy je tok v určité šířce vyšší při výstupu po schodišti než na nástupiště, u kterého by měl být celý výstup hladší a rychlejší. Tato skutečnost může být způsobena opakovanými výstupy a schopností figurantů učit se provádět výstup co nejrychleji. Hodnoty průměrného toku osob na úrovni výstupu jsou uvedeny v tab. 7.

Zatímco křivka průměrného toku osob jednotlivých výstupů homogenní skupiny na terén řádově kopíruje křivku pro výstup na schodiště (obr. 36a), na obr. 36b se při výstupu heterogenní skupiny na terén opět projevuje ovlivnění překonávání výškového rozdílu, který tuto skupinu značně zpomaluje. Lze si všimnout také podobnosti hodnot při šířce vnitřního koridoru $w = 1100$ mm při výstupu na terén se všemi užšími variantami oproti plné šířce koridoru. Výstup při šířce $w = 1100$ mm heterogenní skupiny je nejméně ovlivněn naučeným postupem výstupu, jak bylo zmíněno v předchozí kapitole.

tab. 7 Průměrný tok osob na úrovni výstupu z vozu

Průměrný tok osob [os/s; os/min]						
Šířka koridoru [mm]	Výstup na nástupiště		Výstup po schodišti		Výstup na terén	
	HOM	HET	HOM	HET	HOM	HET
650	1,00; 60	0,98; 59	0,93; 56	0,89; 53	0,86; 51	0,71; 43
750	1,11; 66	1,07; 64	1,00; 60	0,92; 55	0,91; 55	0,73; 44
900	1,27; 76	1,15; 69	1,08; 65	1,12; 67	0,95; 57	0,69; 42
1100	1,27; 76	1,24; 74	1,24; 74	1,34; 81	1,14; 68	0,75; 45
1340	1,40; 84	1,47; 88	1,50; 90	1,27; 76	1,27; 76	1,00; 60

Při srovnání toku osob homogenní skupiny na úrovni výstupu z vozu tohoto experimentu s dalšími, již provedenými experimenty na mezinárodním poli (podrobněji v kapitole 2.2.1 - shrnutí), můžeme tvrdit, že již naměřeným hodnotám (tedy tok osob lehce pod 1 os/s) odpovídá výstup na nástupiště při šířce vnitřního koridoru 650 mm. S rozšiřující se uličkou v nástupním prostoru hodnota toku osob roste až na 1,4 os/s, čemuž napomáhá volný prostor v úrovni dveří, kudy mohou proudit na volné prostranství i dva proudy osob vedle sebe (viz předešlá kapitola).

Rozdíly v naměřených hodnotách lze pozorovat také u výstupu na úroveň terénu za použití pomocné konstrukce (schodiště). Tyto hodnoty jsou pro náš experiment o něco vyšší, což může být ovlivněno typem pomocné konstrukce (tedy výškou či šířkou schodišťových stupňů), pomocí které figuranti překonávají výškový rozdíl.

U experimentu provedeného v USA [9] byl naměřen průměrný tok při výstupu na úroveň terénu 0,3 os/s (20 osob/min). Při porovnání této hodnoty s hodnotami v tab. 7 si lze všimnout značných rozdílů - nejvíce se přibližuje průměrný tok naměřený u heterogenní skupiny při šířce vnitřního koridoru $w = 650$ mm, stále je však řádově 2x vyšší, než hodnota experimentu z USA. Tyto markantní rozdíly mohou být způsobeny odlišnými podmínkami výstupu (rozdíl v překonávané výšce, povrch terénu atd.)

3.7.4 Průběh evakuace na úrovni výstupu

Pro demonstraci průběhu evakuačních scénářů na úrovni výstupu z vozu byly vytvořeny grafy se znázorněním časových odstupů mezi jednotlivými figuranty v jejich časové posloupnosti pro všechny evakuační scénáře a v této kapitole jsou shrnuty pozorované jevy provázející průběh evakuace. Nejprve je nutné rozdělit evakuační běh do jednotlivých fází:

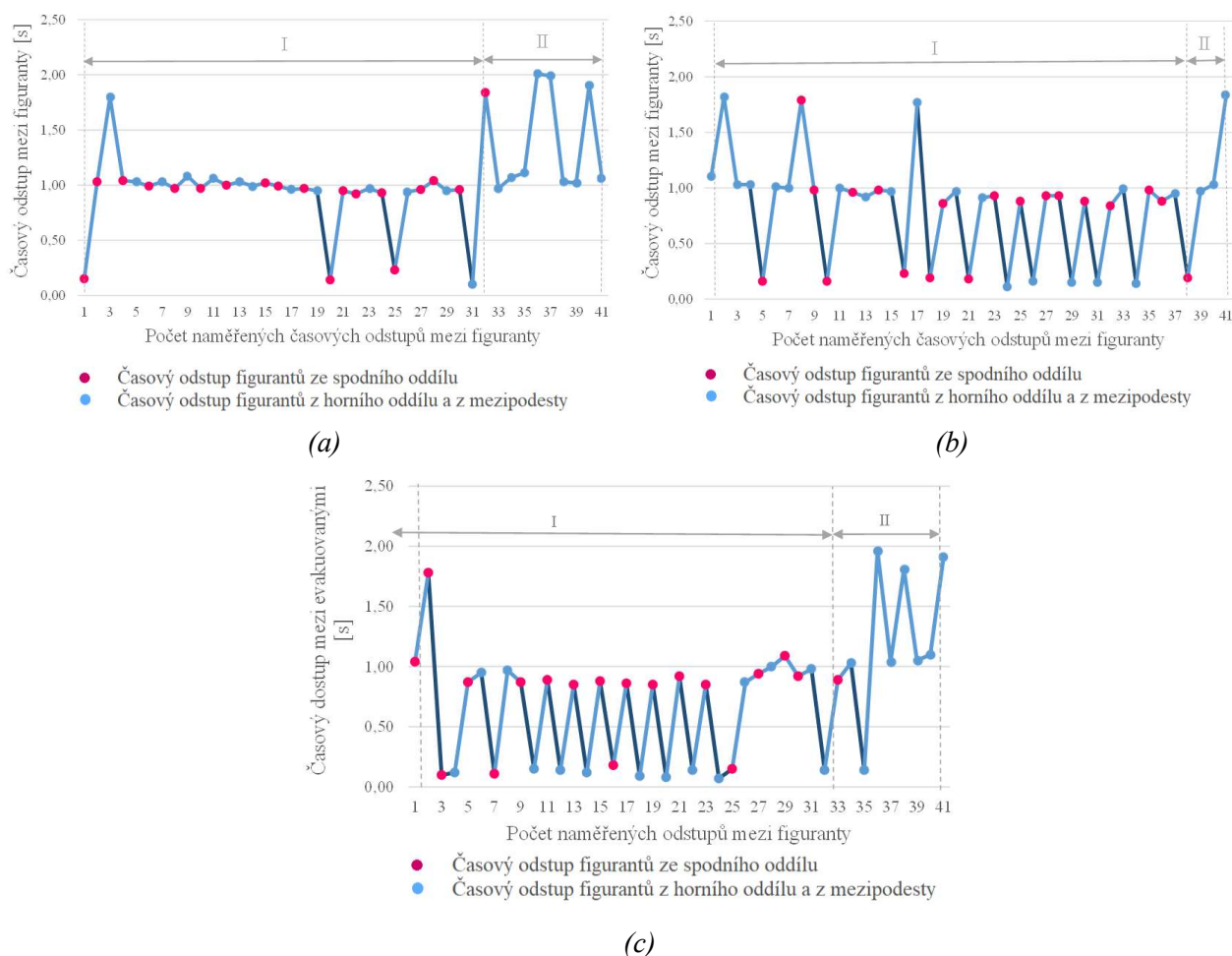
- **fáze I** představuje část evakuačního běhu, kdy se na úrovni výstupu z vozu evakuovali jak figuranti z horních tak ze spodního oddílu
- **fáze II** představuje část evakuačního běhu, kdy vůz opouštěli pouze figuranti z horního oddílu a nedocházelo už tak ke křížení proudů v nástupním prostoru.

V grafech je znázorněna také výchozí pozice jednotlivých figurantů, respektive odstupy figurantů, jejichž výchozí pozicí byl buď spodní oddíl (růžový puntík) nebo horní oddíl či mezipodesta (modrý puntík). Grafy všech evakuačních scénářů jsou uvedeny v Příloze 2.

1. Evakuační scénáře: Homogenní skupina, evakuace na nástupiště

Při hodnocení průběhu evakuace homogenní skupiny na úrovni výstupu z vozu na nástupiště při proměnné šířce vnitřního koridoru v nástupním prostoru je z grafů na obr. 37 na první pohled patrný rozdíl v šířce $w = 650$ mm a $w = 1340$ mm. Zatímco při nejužším průchodu nástupním prostorem (obr. 37a) jsou ve fázi I téměř pravidelné rozestupy figurantů 1 s, z čehož je patrné, že figuranti vystupovali v řadě jeden po druhém, u nejširšího průchodu (obr. 37c) se figuranti pohodlně evakuovali na úrovni výstupu po dvou vedle sebe, což je patrné ze střídání nízkého a vysokého odstupu. Při výstupu koridorem širokým $w = 900$ mm (obr. 37b) se vyskytly případy, kdy se figuranti evakuovali jak v řadě za sebou, tak po dvojicích vedle sebe, však bez pravidelnosti opakování.

Ve všech třech případech evakuací se poslední figuranti dostávali z vozu s viditelně většími odstupy. Tento trend nastával v okamžiku, kdy již byli evakuováni všichni figuranti ze spodního podlaží a v nástupním prostoru už nedocházelo ke křížení dvou skupin z různých oddílů. Posledními figuranty byli vždy osoby z horního podlaží, které postupovaly postupně za sebou již z horních oddílů, v zástupu se mezi nimi tvořily delší odstupy a nedokázali využít plnou šířku výstupu.



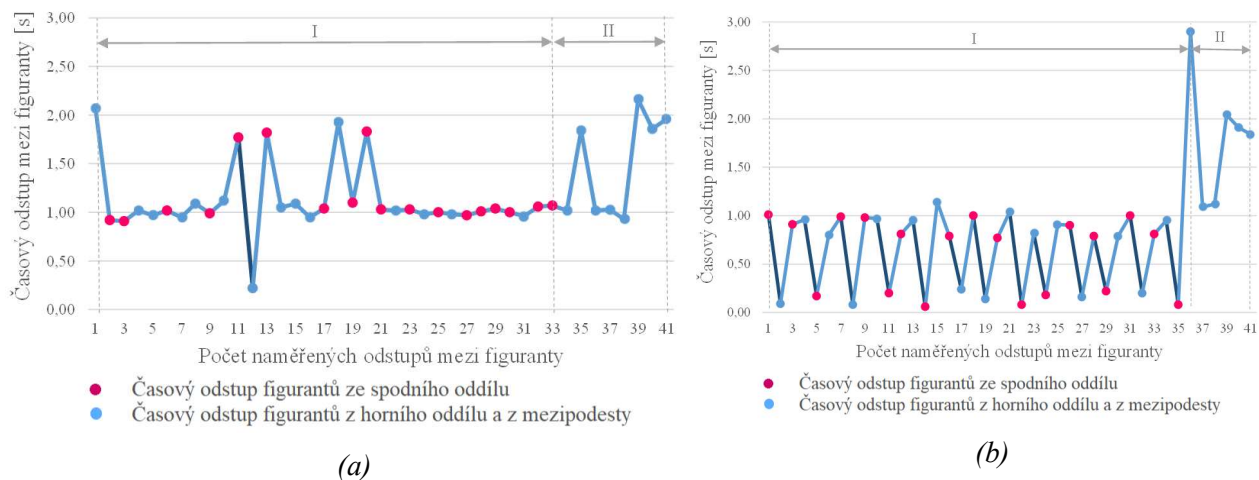
obr. 37 Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci homogenní skupiny na nástupiště při šířce vnitřního koridoru (a) $w = 650 \text{ mm}$; (b) $w = 900 \text{ mm}$; (c) $w = 1340 \text{ mm}$

2. Evakuační scénáře: Homogenní skupina, evakuace na terén

Při sledování výstupů homogenní skupiny na úroveň terénu při šířce vnitřního koridoru $w = 650 \text{ mm}$ (obr. 38a) jsou opět vidět ve většině případů časové odstupy mezi figuranty přibližně 1 s, což je velmi podobné jako při evakuaci této skupiny na nástupiště při stejné šířce koridoru (obr. 37a). S přihlédnutím k videoanalýze evakuačních výstupů je vhodné zmínit, že figurantům homogenní skupiny, tedy osobám ve věku 18-38 let, nezpůsobovalo překonávání výškového rozdílu cca 75 cm větší problémy (obr. 41), které by je v tomto úseku viditelně zdrželo. Také při náhledu do tab. 6 je rozdíl celkové doby evakuace homogenní skupiny při diskutované šířce vnitřního prostoru na nástupiště pouze o 4 s nižší než evakuace na úroveň terénu. I v této situaci se opět vyskytuje trend vyšších odstupů s posledními evakuovanými díky absenci křížení proudů v nástupním prostoru.

Během evakuace při šířce vnitřního koridoru $w = 1340 \text{ mm}$ se časové odstupy 1 s střídají s odstupy minimálními (cca 0,2 s), což opět značí výstup po dvojicích vedle sebe.

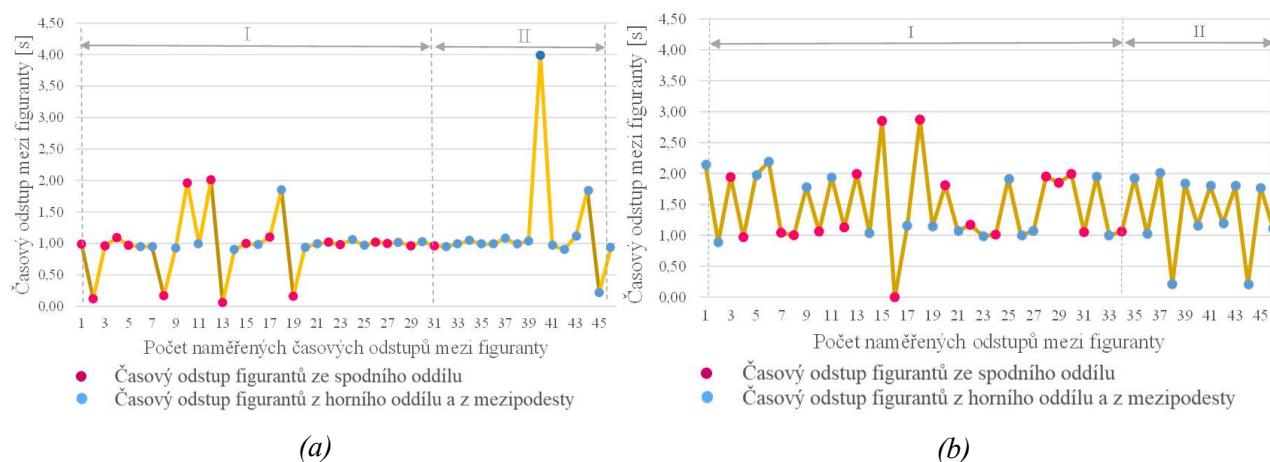
Průběh a rychlost tohoto evakuačního běhu je opět velmi podobný evakuaci homogenní skupiny na nástupiště, rozdíl mezi těmito jsou pouze 2 s (tab. 6).



obr. 38 Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na úroveň terénu homogenní skupiny při (a) $w = 650$ mm; (b) $w = 1340$ mm

3. Evakuační scénáře: Heterogenní skupina, $w = 650$ mm

Zatímco u homogenní skupiny není evakuace osob na nástupiště citelně rychlejší než při evakuaci na terén (viz předchozí bod kapitoly), v případě skupiny heterogenní činí tento rozdíl 17 s (viz tab. 6), což lze považovat za rozdíl výraznější a je na první pohled patrný také z grafů na obr. 39. Díky přítomnosti dětí a starších osob v této skupině, které potřebují více času pro překonání výškového rozdílu, se v přibližně polovině výstupů figurantů navyšují časové odstupy pravidelně až na 2 s.



obr. 39 Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci heterogenní skupiny při $w = 650$ mm (a) na nástupiště; (b) na terén

U výstupu heterogenní skupiny se přibližně v polovině evakuačních běhů vyskytl případ výrazně vyššího odstupu (viz obr. 39a - cca 4 s), kdy se dvojice rodič-dítě z horního oddílu zdržela ve voze na schodišti při čekání ve frontě, která byla důsledkem slévání proudů v mezipodlaží a v nástupním prostoru. Když na ně přišla řada a nebyli omezováni ve výstupu, na pohyb nezareagovali a na úroveň výstupu se dostali s výrazně větším odstupem než ostatní. S opakováním zdržení této dvojice při několika evakuačních bězích lze konstatovat, že dítě může průběh evakuace ovlivnit nejen předpokládanou pomalejší rychlostí pohybu, tedy svými fyzickými předpoklady, ale také vlivem jejich kognitivního vývoje, kdy si při mimořádné události nemusí uvědomovat vážnost situace.

3.7.5 Rychlost osob

Jak je popsáno na začátku této kapitoly, pro vyhodnocování rychlosti pohybu osob během evakuace z vozu byly předem vybrány dva úseky - ulička ve spodním oddíle pro cestující a sedmistupňové schodiště mezi horním oddílem a mezipodestou.

Rychlost osob na schodišti

Po videoanalýze lze konstatovat, že díky omezenému prostoru v interiéru vozu bylo možné skutečné parametry pohybu jedince naměřit v průběhu experimentu evakuace na schodišti jen v několika evakuačních bězích, kdy pohyb prvního z procházejících daným úsekem nebyl omezován ostatními evakuovanými z mezipodesty, na které docházelo k jednomu ze slévání dvou proudů. Průměrná rychlost dospělého figuranta je v tomto případě **0,96 m/s**.

V důsledku slévání proudů se na schodišti z horního oddílu tvořila fronta a výsledná průměrná rychlost evakuovaných při všech bězích je tak **0,41 m/s**. Průměrné rychlosti při jednotlivých naměřených bězích jsou uvedeny v tab. 8. Výsledky neukazují, že by rychlost skupiny na schodišti byla závislá na šířce koridoru v nástupním prostoru či na změně typu výstupu. Největší vliv má pohyb v omezeném prostoru, kterým je zapříčiněno nezbytné zipování proudů nejprve na mezipodestě, následně pak v nástupním prostoru těsně před výstupem z vozu.

tab. 8 Průměrná rychlost osob na schodišti pro jednotlivé evakuační běhy

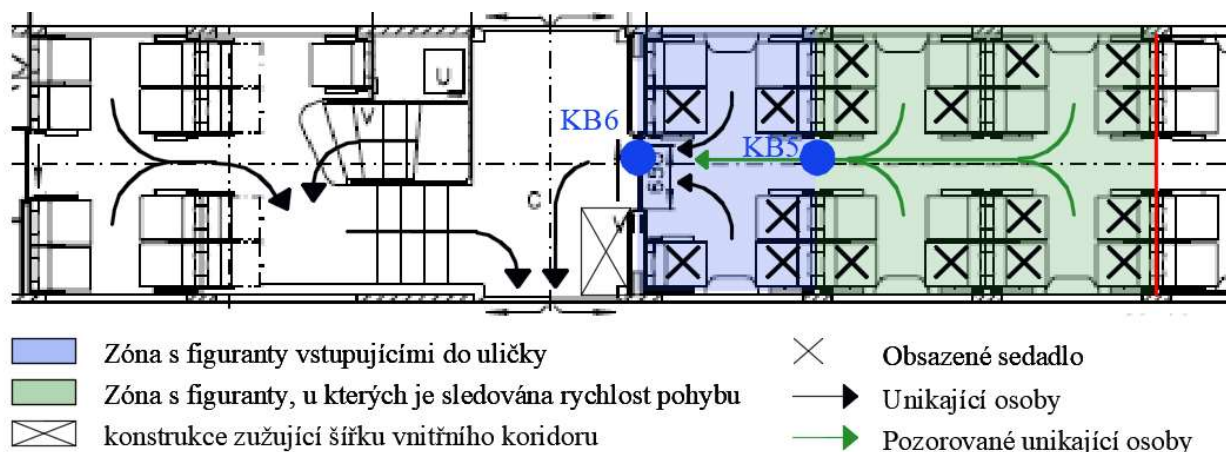
Výstup na schodiště			Výstup na terén		
Šířka koridoru [mm]	Průměrná rychlost osob [m/s]		Šířka koridoru [mm]	Průměrná rychlost osob [m/s]	
	HOM skupina	HET skupina		HOM skupina	HET skupina
650	0,40	0,38	650	0,36	0,26
750	0,38	0,36	750	-	-
900	0,35	0,46	900	0,35	0,46
1100	0,44	0,59	1100	-	-
1340	0,44	0,50	1340	0,48	-

Při porovnání průměrné rychlosti prvních evakuovaných a celé skupiny lze druhou z rychlostí označit spíše za rychlost pohybu fronty tvořící se na schodišti než rychlost pohybu jedince. Při šířce uličky schodiště 770 mm postupovali figuranti směrem východu v řadě za sebou, pouze v případě rodič-dítě se tyto pohybovali vedle sebe.

Rychlost osob v uličce

Při měření rychlosti pohybu osob v uličce mezi sedadly ve spodním oddíle nebylo možné, obdobně jako u schodiště, zachytit kontinuální pohyb figurantů. Pohyb byl narušován třemi faktory:

- otevírání interiérových prosklených dveří se zpožděním 4 s
- vstupování dalších figurantů do uličky
- slévání proudů v nástupním prostoru



obr. 40 Slévání proudů osob při evakuaci se spodním podlaží

Kvůli technickým problémům s videokamerami během experimentu se v tomto úseku podařilo naměřit jen omezené množství dat. Průměrné rychlosti naměřených evakuačních běhů jsou uvedeny v tab. 9. Z těchto dat lze tvrdit, že při výstupu heterogenní skupiny na úroveň terénu byla průměrná rychlost celé skupiny při postupování spodním oddílem značně pomalejší, než rychlost skupiny homogenní. U heterogenní skupiny je zde dobře vidět nárůst rychlosti s rozšiřováním uličky v nástupním prostoru. Pro skupinu homogenní toto tvrzení však neplatí.

tab. 9 Průměrná rychlost osob v uličce pro jednotlivé evakuační běhy při výstupu na úroveň terénu

Homogenní skupina		Heterogenní skupina	
Šířka koridoru [mm]	Průměrná rychlost osob [m/s]	Šířka koridoru [mm]	Průměrná rychlost osob [m/s]
750	0,54	750	0,18
1100	0,43	1100	0,23
-	-	1340	0,34

Šířka uličky ve spodním oddíle mezi sedadly je 520 mm. I přes závěr odborníků z Číny [17], viz kapitola 2.2.4 (šířka uličky a narušení plynulé evakuace lidmi stojícími v uličce), že ulička mezi sedadly o šířce větší než 500 mm je schopna pojmout více osob vedle sebe, tomu tak u evakuace osob z jednotky EPJ071 nebylo. Postupování figurantů v řadě za sebou můžeme označit za naučený pohyb osob při procházení prostorem vozu v běžné situaci jeho provozu.

Díky zapnutým videokamerám po celou dobu experimentu, tedy i mimo zkoušené nouzové výstupy, byla naměřena rychlost pohybu osob také mimo evakuační běhy, kdy se osoby pohybovaly v interiéru vozu samovolně, a to jak po schodišti, tak v uličce. Tyto hodnoty lze považovat za charakteristické hodnoty pro neomezený pohyb při průchodu uličkou. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 10.

tab. 10 Rychlost pohybu osob mimo evakuační zkoušky

Měřený úsek	Rychlost pohybu [m/s]	
	Dospělí	Děti
Po schodišti směrem nahoru	0,58	0,41 ¹
Po schodišti směrem dolů	0,75	-
V uličce	0,94	0,59 ²
¹ děti 5 a 8 let ² dítě 5 let		

3.7.6 Doba do zahájení pohybu

Při vyhodnocování průběhu evakuace byla pozornost upírána také na činnosti figurantů na počátku jednotlivých evakuací. Kvůli povaze provádění evakuačních scénářů, tedy zahájení evakuace hvizdem píšťalky, který pro figuranty znamenal jasný pokyn k zahájení pohybu na volné prostranství, byla zanedbána rozhodovací fáze figurantů zahájení evakuace, nebyly jim však podány jasné pokyny, co dělat dál. Některým figurantům trvalo před samotným zahájením pohybu evakuace obléci si bundu, některým sundat batoh ze zavazadlového prostoru, jiní všechny činnosti vynechali a ihned po hvizdu píšťalky zahájili pohyb na bezpečné místo.

Během videoanalýzy byly naměřeny doby trvání činností figurantů, při kterých nebyli zdržováni dalšími jednotlivci (např. omezený prostor pro oblékání bund, omezený přístup k batohům v zavazadlovém prostoru atd.). Výpis průměrných naměřených hodnot je uveden v následující tabulce.

tab. 11 Doba trvání činností při zahajování pohybu evakuace

Činnost	Průměrná doba trvání [s]	Směrodatná odchylka	Počet měření
Uchopení batohu ze zavazadlového prostoru	6	2,14	18
Uchopení dítěte do náručí	4	1,00	2
Oblečení bundy	10	1,11	6
Vypnutí a uložení notebooku do tašky pro něj určené ze zavazadlového prostoru	11	0,50	2

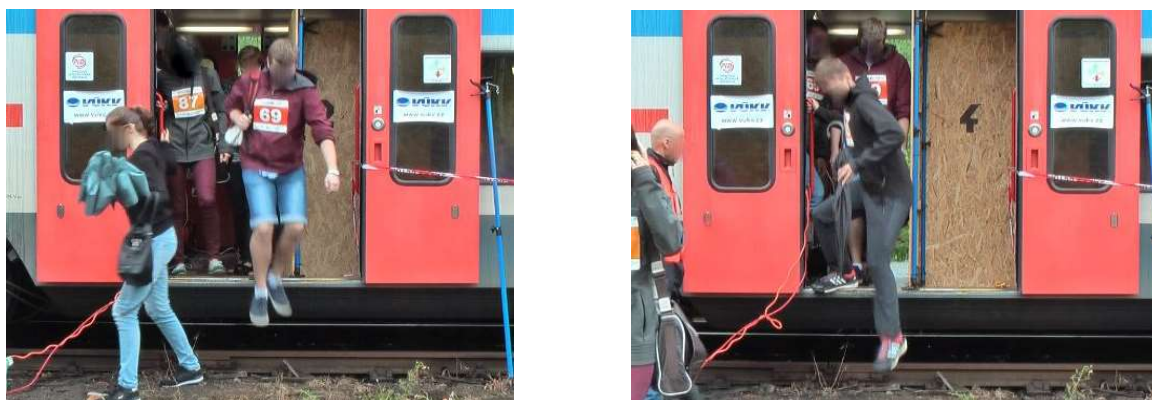
Videoanalýza ukázala, že jednotlivé činnosti cestujících jsou ovlivňovány jejich pořadím při evakuaci. Figuranti, kteří se snažili evakuovat co nejrychleji a úroveň výstupu dosahovali mezi prvními, nechávali ve vlaku bundy i zavazadla. Naopak figuranti, jejichž pohyb byl limitován omezeným prostorem interiéru vozu a vyčkávali ve frontě v uličce, měli čas pro uchopení osobních věcí, případně pro oblečení svrchních částí oděvu. V porovnání těchto hodnot se studií prováděnou Capote a kol. [16] (viz kap. 2.2.4), při které byla průměrnou dobou trvání aktivit před zahájením pohybu 12 s (maximální doba 26 s, minimální doba 1,5 s), lze hodnoty z tab. 11 označit za odpovídající.

3.7.7 Způsob překonávání výškového rozdílu u výstupu

Při videoanalýze posbíraných dat byla pozornost zaměřena také na taktiku výstupu figurantů z vozu, a to především v případě provádění evakuačních scénářů, u kterých museli figuranti překonávat výškový rozdíl přibližně 75 cm mezi úrovní podlahy vozu a úrovní okolního terénu.

Homogenní skupina

Jak bylo zmíněno v kapitole 0, při evakuacích homogenní skupiny, tj. osob ve věku 18-38 let, se na úrovni výstupu nikdo výrazně nezdržel a figuranti vůz opouštěli bez větších problémů pouhým vykročením z vozu či odrazem a následným výskokem ven (obr. 41). Přibližně 20 % figurantů homogenní skupiny se během výstupu přidržovalo pomocného madla umístěného v nástupním prostoru u vnějších dveří.



obr. 41 Způsob překonávání výškového rozdílu u výstupu figuranty homogenní skupiny

Heterogenní skupina

V průběhu evakuace z vozu heterogenní skupiny docházelo k několika kritickým momentům, které její průběh zpomalovaly. Při prvním výstupu této skupiny na úroveň terénu nastala situace, kdy jako první byly na úrovni výstupu děti (cca 5 let) a výstup pro ostatní figuranty zablokovaly, když seskok musely překonat samy bez asistence ostatních. Jak je zmíněno v kapitole 2.2.1, jedná o manévry výstupu „sitter“ (viz kapitola 2.2.1). V ostatních evakuačních výstupech již dětem, které tvořily 8 % heterogenní skupiny, pomáhali ostatní figuranti (viz obr. 25b).



obr. 42 Způsob překonávání výškového rozdílu dětmi

Dalším kritickým momentem bylo překonávání výstupu pro starší osoby, které při prvním evakuačním běhu nejprve hledali pomůcku, pomocí které by se dostaly na terén, následně jim při seskoku asistovali ostatní figuranti. Při této asistenci na úroveň terénu byla dostačující poskytnutá ruka jako opěrný bod při seskoku na zem (obr. 43a). V průběhu opakování evakuací na úroveň terénu se skupina pohyb učí a figuranti na sebe u východu čekají, aby si navzájem pomohli. Tuto skupinu osob, které potřebovaly asistenci, tvořilo 7 % heterogenní skupiny.

Figurant simulující pohybové omezení a pohyb o berlích volil taktiku, kdy nejprve položil berle na zem, vytvořil si tak dva opěrné body a následně seskočil po jedné noze (obr. 43), zde se tak jedná o manévr „sider“ (viz kapitola 2.2.1). I v tomto případě se k tomuto figurantovi stahovali ostatní a poskytovali mu jištění.



(a)



(b)

obr. 43 Způsob překonávání výškového rozdílu

(a) staršími figuranty; (b) figurantem simulujícím pohyb o berlích

Zbylých 83 % figurantů heterogenní skupiny se evakovalo stejným způsobem, jako členové skupiny homogenní, z nichž 19 % používalo při výstupu pomocné madlo a 64 % volilo jako taktiku výstupu skok na terén. U obou skupin se vliv tréninků výstupů projevil nejen v nacvičenosti asistence druhým, ale každý z figurantů překonával výstup pokaždé stejným způsobem, ve všech z pěti evakuačních výstupů na terén.

4 Příklad aplikace experimentálních dat pro účely matematického modelování

Jak je uvedeno již v úvodu, hlavním cílem této diplomové práce je získání a zpracování experimentálních dat popisujících pohyb a chování osob, a to zejména pro další účely matematického modelování evakuace osob z železničních vozidel. Přímou aplikací dat vyhodnocených v této diplomové práci pro účely matematického modelování, resp. pro validaci evakuačního modelu, simulaci rozšířených evakuačních scénářů a citlivostní analýzu matematických modelů, se zabývá související diplomová práce [2]. Pro uvedení ucelených informací o realizovaném projektu jsou v této kapitole shrnuty výsledky matematického modelování experimentálních evakuačních scénářů (v diplomové práci [2] podrobně využité pro validaci modelové situace v konkrétním evakuačním modelu) a jejich porovnání se získanými experimentálními daty, doplněné o komentář z pohledu vyhodnocení evakuačního experimentu.

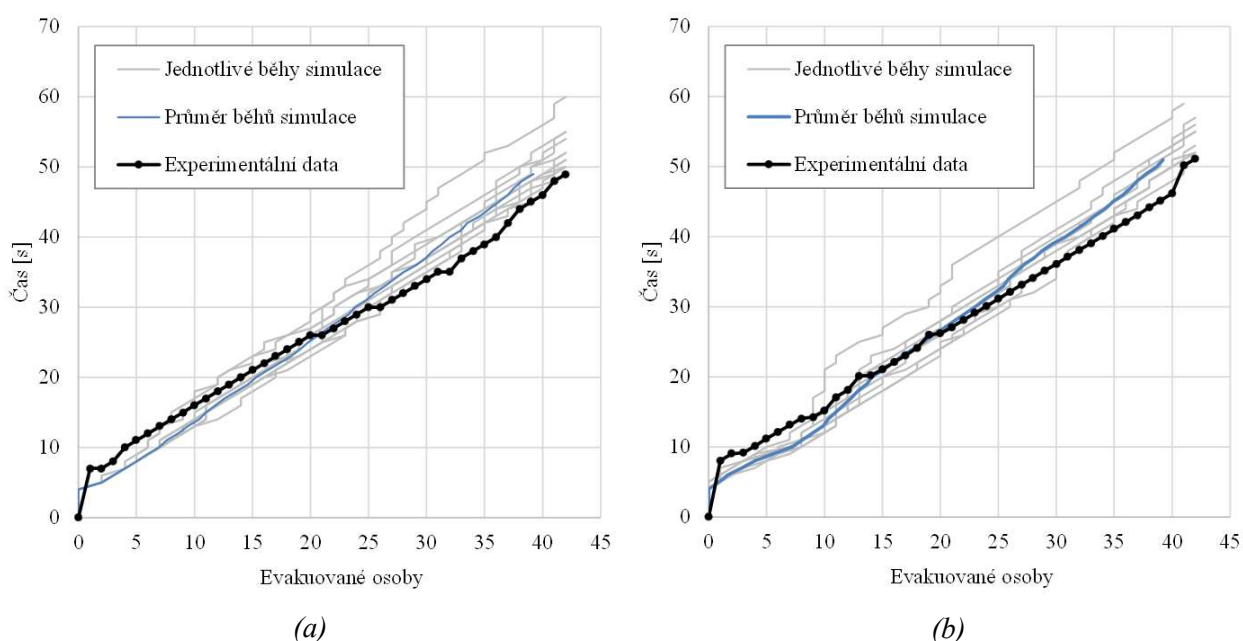
4.1 Stručný popis použitého evakuačního modelu

Pro vytvoření evakuačních modelů byl v související práci [2] použit program Pathfinder 2018. Tento program slouží k simulaci pohybu osob za pomoci agentů a k reprezentaci řešené geometrie prostoru využívá triangulární síť, čímž dokáže pracovat s různými geometrickými tvary a křivkami. To zajišťuje kontinuální pohyb osob.

V programu AutoCAD byla vytvořena přesná geometrie poloviny prostoru vozu CityElefant, která byla následně importována do programu Pathfinder, a to včetně vnějších pomocných konstrukcí na úrovni výstupu. Do matematických modelů bylo vneseno několik omezení při výstupu na úroveň terénu, která byla autorem vyzorována z evakuačního experimentu. Všechny okrajové podmínky jsou zachovány shodně s evakuačním experimentem, tedy i výchozí pozice jednotlivých figurantů (agentů) před začátkem evakuace. Do modelů byly zadávány dva základní parametry definující figuranty: rychlost pohybu osob a šířka ramen. Při modelování bylo provedeno celkem deset opakování všech evakuačních scénářů. Veškeré podrobnosti týkající se modelování evakuačních scénářů shodných se scénáři evakuačního experimentu jsou uvedeny v již dříve zmíněné související diplomové práci [2].

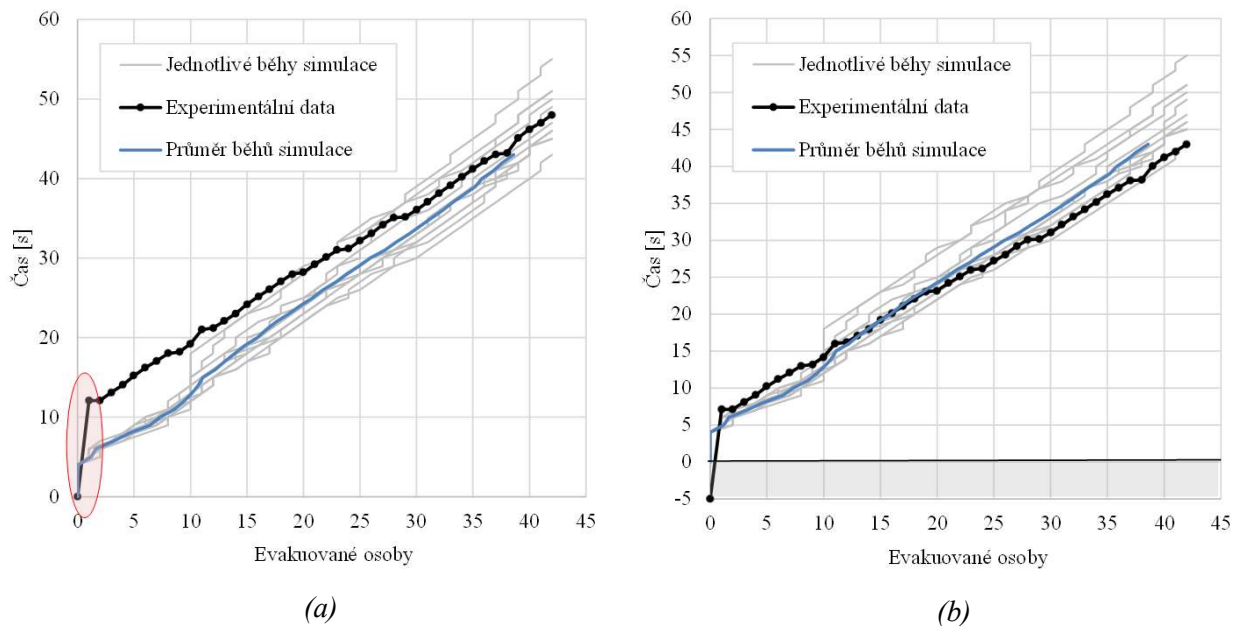
4.2 Porovnání experimentálních a modelových výsledků

Pro ilustraci porovnání experimentálních a modelových výsledků byly vybrány jen některé evakuační scénáře, které toto srovnání vhodně reprezentují. V grafech je uveden průběh experimentální evakuace osob a evakuačních simulací znázorňující závislost evakuovaných z vozu na čase. Šedé křivky znázorňují jednotlivá opakování simulačního modelu, modrá křivka odpovídá průměrným hodnotám uskutečněných opakování simulace a černá křivka představuje data naměřená při reálném experimentu. Při uvedení srovnávacích grafů je patrné, že jsou si průběhy evakuačních scénářů velice podobné. U většiny případů výstupů je celková doba evakuace naměřená při experimentu srovnatelná s průměrnou hodnotou simulací či je nižší než všech deset simulačních opakování, jak lze pozorovat na grafech uvedených na obr. 44.



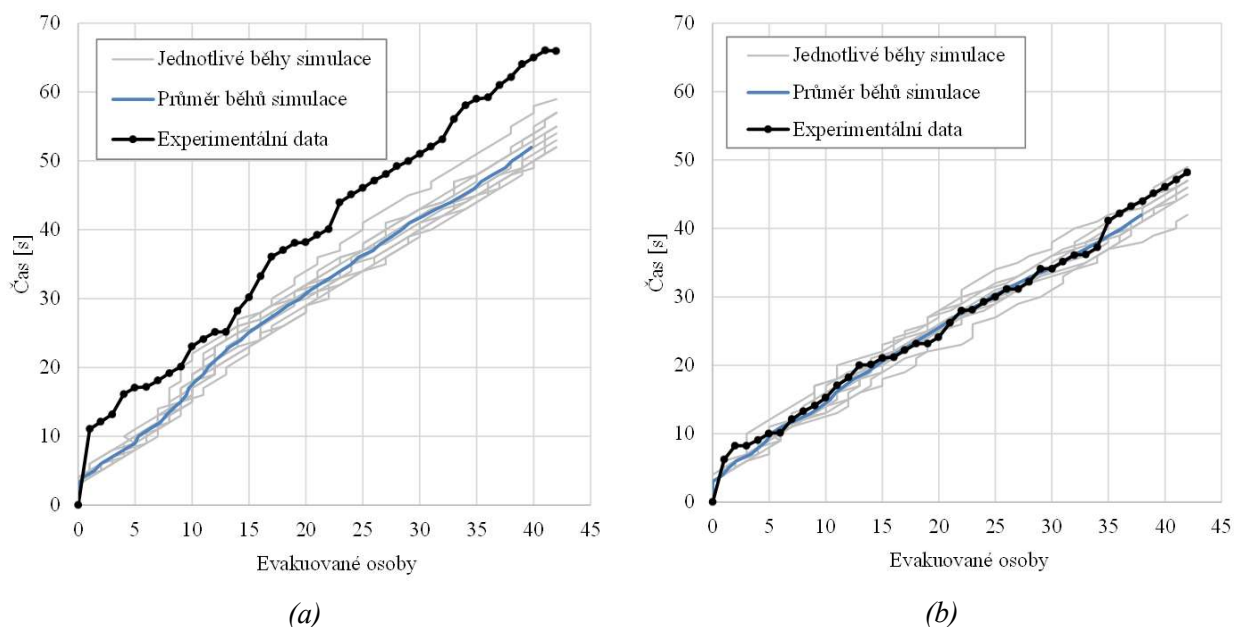
obr. 44 Srovnání experimentu s evakuační simulací při výstupu na nástupiště s šířkou vnitřního koridoru $w = 650$ mm (a) homogenní skupinou; (b) heterogenní skupinou

Vyskytly se však případy, kdy spolu výsledky experimentu a modelu zcela nekorespondovaly. K tomu došlo například při evakuaci na nástupiště heterogenní skupiny, kdy dle analýzy videí z interiéru vozu tyto cestující neslyšeli hvizd píšťalky, který byl pokynem k zahájení evakuace, a došlo zde ke zdržení figurantů cca 4-5 s. Tito reagovali až na zahájení pohybu evakuace druhé skupiny, která opouštěla vůz v jeho druhé polovině. Nebýt zdržení skupiny na počátku evakuace, které je červeně vyznačeno na obr. 45a, průběh evakuace by opět řádově odpovídal evakuační simulaci, která by i v tomto případě byla lehce na straně bezpečnosti - to demonstruje graf na obr. 45b, u kterého je provedena korekce času opouštění vozu na úrovni terénu, která je snížena u všech figurantů právě o 5 s počáteční prodlevy.



obr. 45 Srovnání experimentu s evakuační simulací při výstupu na nástupiště s šířkou vnitřního koridoru $w = 650$ mm heterogenní skupinou.
(a) Skutečný průběh evakuace; (b) Upravený průběh evakuace o 5 s

Druhým případem, kdy došlo k rozdílným výsledným hodnotám experimentu a počítačové simulace bylo při výstupu heterogenní skupiny na terén při šířce vnitřního koridoru $w = 1100$ mm (obr. 46a).



obr. 46 Srovnání experimentu s evakuační simulací při výstupu na terén heterogenní skupiny s šířkou vnitřního koridoru (a) $w = 1100$ mm; (b) $w = 1340$ mm

Jelikož byl tento výstup při reálném experimentu prvním z výstupů heterogenní skupiny na úroveň terénu (tab. 5), lze ho považovat za nejvíce odpovídající evakuačním výstupům při mimořádné události (popsáno v kap. 3.7.1). Ostatní výstupy této skupiny na úroveň terénu (pro demonstraci je uveden výstup při šířce koridoru $w = 1340$ mm - obr. 46b) měly hladší průběh vlivem již natrénovaného pohybu výstupu, a to jak techniky seskoku, tak vlivem naučené kooperace mezi figuranty. Bohužel právě tyto výstupy ovlivněné trénovaným pohybem korespondují se simulačními výstupy daleko lépe, než výstup první.

Ostatní grafy hodnotící výsledky všech evakuačních scénářů experimentálních výstupů a simulačních modelů evakuace jsou uvedeny a více popsány v související diplomové práci [1].

5 Závěr

Diplomová práce se zabývala návrhem, realizací a vyhodnocením experimentu evakuace osob z dvoupodlažního vlakového vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 - CityElefantem.

1. Teoretická část

V první části, tedy v části teoretické, se práce zabývala rešerší dostupné literatury, která sloužila jako zdroj znalostí v oblasti evakuace osob z kolejových vozidel k účelům efektivního návrhu evakuačních scénářů pro připravovaný experiment.

Po uvedení základních pojmů týkajících se evakuace osob byl proveden výčet v minulosti uskutečněných experimentů evakuace osob z vlaků na mezinárodním poli. Jelikož byly všechny tyto experimenty prováděny prostřednictvím homogenní skupiny, tedy prostřednictvím figurantů ve věku přibližně od 18 do 45 let, byl stanoven cíl zajistit pro plánovaný experiment skupinu dobrovolníků, jejíž součástí budou kromě osob v produktivním věku, které nemají žádná pohybová omezení, také senioři a děti. Předpokladem bylo, že tyto osoby budou mít na průběh evakuace citelný vliv, zejména při překonávání překážky v podobě výškového rozdílu úrovně podlahy vlaku a okolního terénu. Tento předpoklad vedl ke stanovení dalšího požadavku při sestavování evakuačních scénářů, kterým byl sledovaný rozdíl průběhu evakuace v případě evakuace z vlaku na nástupiště, tedy ve stejné výškové úrovni, a na úroveň okolního terénu.

V další navazující kapitole této části jsou uvedeny evropské a české legislativní požadavky na konstrukci a vybavenost kolejových vozidel z pohledu požární bezpečnosti či postupů při mimořádné události. Pozornost je věnována také instrukcím pro plánování cvičné evakuace osob z kolejových vozidel před jejich uvedením do provozu, které jsou využívány ve Velké Británii. V těchto pokynech jsou zmíněny požadavky na složení skupiny dobrovolníků, tedy že by se tato skupina měla co nejvíce podobat běžně cestující populaci. V návaznosti na toto doporučení byl proveden průzkum složení cestujících ve vlakovém voze CityElefant a na základě procentuálního složení věkových skupin cestujících byly stanoveny konkrétnější požadavky na skupinu dobrovolníků pro plánovaný experiment.

Poslední podstatnou kapitolou teoretické části byl popis dvoupodlažního vlakového vloženého vozu řady 071 jednotky EPJ471 (CityElefant), který byl zvolen pro plánovaný experiment díky své velké přepravní kapacitě. V této kapitole byla stručně popsána geometrie a vnitřní dispozice vozu, byly zde popsány prvky požární bezpečnosti, které se ve voze nacházejí a způsoby možného výstupu z vozu při mimořádné události. Také tyto znalosti byly zohledněny při vytváření evakuačních scénářů, přestože nakonec nebyly žádné z prvků požární bezpečnosti v průběhu experimentu evakuace využity.

2. Praktická část

Druhou stěžejní částí byla část praktická, která byla zaměřena především na realizovaný experiment evakuace osob z vlakového vozu CityElefant a na následné vyhodnocení experimentálních dat. V úvodu této části byly nejprve stanoveny cíle experimentu, tedy uvedení zaměření pozornosti na parametry, které budou při vyhodnocování zkoumány a které tak musely být zakomponovány do evakuačních scénářů. Dále byly v kapitole uvedeny základní informace o realizovaném experimentu evakuace osob z vlakového vozu. Stručně byl zmíněn vytvořený experimentální plán, který sloužil zejména pro hladký a správný průběh celého experimentu. V další kapitole byly uvedeny veškeré prováděné evakuační scénáře, při jejichž vytváření hrály hlavní roli 3 proměnné parametry, na jejichž vliv na celkovou dobu evakuace byla zaměřena hlavní pozornost. Těmito parametry byly: složení cestující skupiny dle jejich věku, typ výstupu z vozu a šířka vnitřního koridoru v nástupním prostoru. Následující kapitolou bylo zhodnocení průběhu experimentu evakuace. Úvodem této kapitoly byly zmíněny faktory, které mohly mít nežádoucí vliv na výsledky experimentu. Dále byly vyhodnoceny následující parametry:

- **Celková doba evakuace.** Při vyhodnocování celkové doby evakuace byly naměřeny hodnoty v intervalu od **33 s** do **68 s** (kap. 3.7.2), a to v závislosti již zmíněných třech proměnných parametrech. Ze třiceti evakuačních scénářů pouze čtyři z nich přesáhly celkovou dobu evakuace 1 min, a to vždy v případě výstupu heterogenní skupiny na úroveň terénu.
- **Průměrný tok na úrovni výstupu z vozu.** Při stanovení průměrných toků evakuace na úrovni výstupu se tyto hodnoty pohybovaly od **0,71 osob/s** (heterogenní skupina, výstup na terén při nejužší šířce koridoru) do **1,47 osob/s** (heterogenní skupina, výstup na nástupiště při plné šířce koridoru) - kap. 3.7.3. Pro využití v počítačových modelech by se tyto hodnoty měly využívat s ohledem na již zmíněné proměnné vstupní parametry evakuačních scénářů.
- **Rychlost osob v interiéru vozu.** Díky omezenému pohybu figurantů v interiéru vozu nebylo možné stanovit rychlosti pohybu jednotlivých figurantů - to se podařilo pouze v případech prvních z evakuovaných na vnitřním schodišti, kde jejich pohyb nebyl omezován ostatními figuranty vyčkávajícími ve frontě směrem k výstupu. Průměrná rychlost pohybu právě prvních figurantů po schodišti dolů je **0,96 m/s**. Při měření průměrné rychlosti skupiny ve frontě na tomto místě bylo dosaženo hodnoty **0,41 m/s**. Stejným způsobem byla naměřena průměrná rychlost skupiny v uličce mezi sedadly (**0,35 m/s**), kde pohyb figurantů omezovaly interiérové dveře, které bylo nezbytné na začátku evakuace otvírat a osoby vstupující do uličky (kap. 3.7.5).
- **Doba do zahájení pohybu evakuace figurantů.** Díky videoanalýze interiéru bylo možné naměřit několik časových intervalů charakterizující různé aktivity figurantů před jejich zahájením pohybu evakuace (kap. 3.7.6). Byla tak naměřena průměrná

doba uchopení batohu ze zavazadlového prostoru (6 s), zdržení rodiče uchopením dítěte do náruče (4 s), oblečení svrchní části oděvu figuranta (10 s) a zaklapnutí notebooku a jeho uložení do tašky k přepravě ze zavazadlového prostoru (11 s).

Závěrem této práce se nabízí uvést několik poznatků týkajících se experimentální (či cvičné) evakuace osob z vlakového vozu, kterými jsou:

- **Trénink figurantů.** I přes to, že byl harmonogram evakuačních scénářů sestaven tak, aby se pro každou skupinu měnila šířka výstupního koridoru minimálně o dvě úrovně a předešlo se tak naučenému pohybu davu figurantů, je z výsledků celkové doby evakuace patrný vliv změny typu výstupu, který se projevoval především u heterogenní skupiny. Trénink ovlivňoval pohyb figurantů nejen v naučeném zipování v kritických zúžených místech vozu, ale také při zdokonalování manévrů výstupu jak jednotlivců, tak z pohledu kooperace mezi figuranty. Při provádění velkého množství evakuačních scénářů během jednoho experimentu, jako tomu bylo u diskutovaného experimentu, by proto bylo zajímavé zopakovat vždy první výstup se změnou jeho typu. Za stejných okrajových podmínek by tak bylo možné určit míru tréninku figurantů, především pak u skupiny, jejíž součástí jsou senioři a děti, kteří překonávali výškový rozdíl s většími obtížemi.
- **Vliv změny typu výstupu.** Po zhodnocení celkové doby evakuace a průměrných toků na úrovni výstupu lze konstatovat, že tyto hodnoty homogenní skupiny, tedy figurantů ve věku 18-38 let, nejsou překonáváním větší výškové úrovně (cca 75 cm) zásadně ovlivněny. K citelnému vlivu dochází v okamžiku, kdy této překážky dosáhnou senioři, děti či osoby s omezením pohybu.
- **Rychlost evakuace.** Při pozorování rychlosti osob v interiéru vozu jak v uličce, tak na vnitřním schodišti, nelze díky dispozici vozu, a tedy omezeným možnostem pohybu evakuace, mluvit o rychlosti jednotlivců. Jedná se spíše o rychlost pohybující se skupiny cestujících.
- **Dvojice.** Figuranti se byli schopni evakuovat z vozu na úrovni výstupu po dvojicích vedle sebe či v těsném zákrytu „rameno na rameni“ do minimální šířky vnitřního koridoru $w = 900$ mm. Při větších šířkách se evakovali pohodlně po dvou vedle sebe, naopak při užších průchodech již v jedné řadě za sebou.
- **Zipování.** I v případě nejužšího koridoru v nástupním prostoru, tedy při šířce $w = 650$ mm, probíhala evakuace rychleji ve fázi, kdy se v nástupním prostoru slévaly proudy ze spodního a z horních oddílů než v případě, kdy se s koncem evakuačních výstupů evakovali už jen figuranti z horního oddílu. Ti mezi sebou zachovávali větší odstupy, než které vznikaly v případě slévání dvou proudů. Lze tedy předpokládat, že při obsazenosti pouze spodního či pouze horního oddílu stejným počtem figurantů by celková doba evakuace nabývala vyšších hodnot.

Seznam obrázků

obr. 1 Složky ASET a RSET; převzato a upraveno z [3].....	15
obr. 2 Závislost veličin charakterizujících pohyb osob, převzato a upraveno z [3].....	16
obr. 3 Závislost propustnosti a hustoty osob; převzato a upraveno z [3].....	17
obr. 4 Výstup z vozu po schodišťových stupních [9].....	20
obr. 5 Úroveň podlahy ve vlakovém voze typu ETW [10].....	23
obr. 6 Strategie pro překonávání výškového rozdílu při výstupu z vlaku [11].....	25
obr. 7 Rozmístění videokamer [12].....	26
obr. 8 Snímky z kamer [12].....	26
obr. 9 Pohybová zdatnost účastníků [9].....	34
obr. 10 Fotografie osob hromadících se v uličce během experimentu evakuace v čase [17] ..	35
obr. 11 Znázornění možné kritické situace při vstupu cestujících ze svých řad do uličky; převzato a upraveno z [17].....	36
obr. 12 Fotografie elektrické jednotky třívozové řady 471 (CityElefant).....	38
obr. 13 Elektrická jednotka třívozová řady 471; převzato a upraveno z [18].....	38
obr. 14 Půdorysy a řez vloženého vozu řady 07; převzato a upraveno z [18]	39
obr. 15 Kapacita vozu; uspořádání spodního podlaží; uspořádání horního podlaží	40
obr. 16 Kladívko pro nouzové rozbití okna, záchranná brzda, vymezení sedadel pro osoby se sníženou schopností pohybu.....	40
obr. 17 Umístění PHP v nástupním prostoru	42
obr. 18 Rozmístění PHP ve vloženém voze CityElefant řady 071, vyznačeny nouzové východy z vozidla a umístění ruční brzdy, převzato a upraveno z [19].....	42
obr. 19 Výkres únikových cest předmětných jednotek; převzato a upraveno z [20].....	43
obr. 20 Umístění ovládacích prvků pro nouzové otevření vstupních dveří do vozu řady 071; převzato a upraveno z [20].....	44
obr. 21 Fáze experimentu.....	47
obr. 22 Procentuální zastoupení věkových kategorií dle expertního odhadu ČD a.s. a vlastního průzkumu v EPJ071.....	49
obr. 23 Skupina figurantů s heterogenním a s homogenním složením	50
obr. 24 Výstup z vozu na pódium simulující nástupiště	51
obr. 25 Výstup z vozu po schodech dolů a na úroveň terénu heterogenní skupiny	51
obr. 27 Bariéry zajišťující variabilitu vnitřního koridoru	52

obr. 27 Rozmístění videokamer v interiéru a v exteriéru vozu	53
obr. 28 Záběry z vnitřních videokamer	53
obr. 29 Orientační plánec rozsazení figurantů	54
obr. 30 Umístění kontrolních bodů	55
obr. 31 Složky celkové doby evakuace pro zkoušku nouzového výstupu z EPS071; převzato a upravenou z [3].....	57
obr. 32 Závislost evakuovaných osob na čase opuštění konstrukce vlaku na nástupiště homogenní a heterogenní skupinou	58
obr. 33 Závislost evakuovaných osob na čase opuštění konstrukce vlaku po schodišti homogenní a heterogenní skupinou	59
obr. 34 Závislost evakuovaných osob na čase opuštění konstrukce vlaku přímo na úroveň terénu homogenní a heterogenní skupinou	59
obr. 35 Srovnání celkové doby evakuace všech evakuačních scénářů	60
obr. 36 Průměrný tok proudu osob všech evakuačních scénářů	62
obr. 37 Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci homogenní skupiny na nástupiště při šířce vnitřního koridoru $w = 650$ mm, $w = 900$ mm a $w = 1340$ mm	65
obr. 38 Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na úroveň terénu homogenní skupiny při $w = 650$ mm a $w = 1340$ mm.....	66
obr. 39 Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci heterogenní skupiny při $w = 650$ mm na nástupiště a na terén	66
obr. 40 Slévání proudů osob při evakuaci se spodním podlaží.....	68
obr. 41 Způsob překonávání výškového rozdílu u výstupu figuranty homogenní skupiny	71
obr. 43 Způsob překonávání výškového rozdílu dětmi.....	71
obr. 43 Způsob překonávání výškového rozdílu staršími figuranty a figurantem simulujícím pohyb o berlích	72
obr. 44 Srovnání experimentu s evakuační simulací při výstupu na nástupiště s šířkou vnitřního koridoru $w = 650$ mm homogenní skupiny a heterogenní skupiny	74
obr. 45 Srovnání experimentu s evakuační simulací při výstupu na nástupiště s šířkou vnitřního koridoru $w = 650$ mm heterogenní skupinou	75
obr. 46 Srovnání experimentu s evakuační simulací při výstupu na terén heterogenní skupiny s šířkou vnitřního koridoru $w = 1100$ mm a $w = 1340$ mm	75

Seznam tabulek

tab. 1 Maximální rychlost pohybu osob při evakuaci dle typu cesty úniku; převzato a upraveno z [6].....	17
tab. 2 Výsledky experimentů Volpe Center 2005 a 2006; převzato a upraveno z [8].	20
tab. 3: Porovnání toků osob z osobních vlaků - nedávné experimenty; převzato a upraveno z [8].....	27
tab. 4 Čas pro přípravu cestujících k evakuaci (pre-movement time); převzato a upraveno z [16].....	36
tab. 5 Evakuační scénáře	48
tab. 6 Celková doba evakuace.....	61
tab. 7 Průměrný tok osob na úrovni výstupu z vozu.....	63
tab. 8 Průměrná rychlost osob na schodišti pro jednotlivé evakuační běhy.....	67
tab. 9 Průměrná rychlost osob v uličce pro jednotlivé evakuační běhy při výstupu na úroveň terénu	68
tab. 10 Rychlost pohybu osob mimo evakuační zkoušky	69
tab. 11 Doba trvání činností při zahajování pohybu evakuace.....	70

Použitá literatura

- [1] *Zákon č. 133/1985 Sb. o požární ochraně ve znění pozdějších předpisů.*
- [2] KUKLÍK, Lukáš. *Citlivostní analýza modelů evakuace osob z vlakového vozu.* B.m.: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019.
- [3] DINENNO, Philip J., Dougal DRYSDALE, Craig L. BEYLER, W. Douglas WALTON, Richard L. P. CUSTER, John R. HALL a John M. WATTS. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.* Third Edition. B.m.: National Fire Protection Association, 2002. ISBN 0-87765-451-4.
- [4] KULIGOWSKI, Erica D. Human Behavior in Fire. In: Morgan J. HURLEY, Daniel GOTTUK, John R. HALL, Kazunori HARADA, Erica KULIGOWSKI, Milosh PUCHOVSKY, José TORERO, John M. WATTS a Christopher WIECZOREK, ed. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* [online]. New York, NY: Springer New York, 2016 [vid. 2018-04-15], s. 2070–2114. ISBN 978-1-4939-2564-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-2565-0_58
- [5] PREDTEČENSKIJ, Vsevolod Michajlovič a Anatolij Ivanovič MILINSKIJ. *Evakuace osob z budov: výpočetní metody pro projektování.* B.m.: Praha: Československý svaz požární ochrany, 1972.
- [6] PAULS, Jake. Calculating evacuation times for tall buildings. *Fire Safety Journal* [online]. 1987, **12**(3), 213–236. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/0379-7112(87)90007-5
- [7] GALEA, E. R. a S. GWYNNE. Estimating the flow rate capacity of an overturned rail carriage end exit in the presence of smoke. *Fire and Materials* [online]. 2000, **24**(6), 291–302. ISSN 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/1099-1018(200011/12)24:6<291::AID-FAM750>3.0.CO;2-6
- [8] MARKOS, S. H. a J. K. POLLARD. *Passenger Train Emergency Systems: Review of Egress Variables and Egress Simulation Models.* 2013
- [9] MARKOS, Stephanie H. a John K. POLLARD. *Passenger Train Emergency Systems: Single-Level Commuter Rail Car Egress Experiments.* 2015
- [10] OSWALD, M., C. LEBEDA, U. SCHNEIDER a H. KIRCHBERGER. *Full-Scale Evacuation Experiments in a smoke filled Rail Carriage - a detailed study of passenger behaviour under reduced visibility.* 2005
- [11] OSWALD, M., H. KIRCHBERGER a C. LEBEDA. *Evacuation of a High Floor Metro Train in a Tunnel Situation: Experimental Findings.* 2008
- [12] FRIDOLF, Karl, Daniel NILSSON a Håkan FRANTZICH. The flow rate of people during train evacuation in rail tunnels: Effects of different train exit configurations. *Safety Science* [online]. 2014, **62**, 515–529. ISSN 0925-7535. Dostupné z: doi:10.1016/j.ssci.2013.10.008
- [13] LOC & PAS TSI 1302/2014. *Locomotives and passenger rolling stock.* 2014

-
- [14] ČSN EN 45545. *Drážní aplikace - Protipožární ochrana drážních vozidel*
- [15] *ATOC Vehicles Standards AV/ST9002, Vehicle Interiors Design for Evacuation and Fire Safety*. 2002
- [16] CAPOTE, J. A., D. ALVEAR, O. ABREU a A. CUESTA. Analysis of evacuation procedures in high speed trains fires. *Fire Safety Journal* [online]. 2012, **49**, 35–46. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2011.12.008
- [17] HUANG, Shenshi, Shouxiang LU, Siuming LO, Changhai LI a Yafei GUO. Experimental study on occupant evacuation in narrow seat aisle. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* [online]. 2018 [vid. 2018-03-11]. ISSN 0378-4371. Dostupné z: doi:10.1016/j.physa.2018.02.032
- [18] ŠKODA VAGONKA A.S. *Technické podmínky pro výrobu, zkoušení a převážku dvoupodlažního vloženého vozu řady 071*
- [19] GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ ČD, A.S. *Hasicí přístroje pro železniční kolejová vozidla, Všeobecné předpisy*. 2. duben 2015
- [20] PREFETA, Michal. *Pokyny pro složky Integrovaného záchranného systému pro jednotky 471.076-083*. B.m.: ŠKODA VAGONKA a.s. 6. leden 2012

Seznam příloh

Příloha 1 - Průzkum složení cestujících v EPJ071

Příloha 2 - Průběh evakuačních scénářů na úrovni výstupu

Příloha 1 - Průzkum složení cestujících v EPJ071

Parametry pro výběr věkových kategorií

Pro rozřazení cestujících do jednotlivých skupiny bylo nezbytné vytyčit věkové hranice, které budou vhodně rozdělovat jednotlivé skupiny s přihlédnutím k fyzickým předpokladům jednotlivců. Skupiny a jejich předpoklady jsou uvedeny v následující tabulce.

Věkové rozhraní jednotlivých skupin a jejich předpoklady

Skupiny	Předpoklady jednotlivých skupin
0–2	děti přibližně do dvou let se při hromadném opouštění vlaku zcela jistě nebudou pohybovat sami, ale v náručí rodičů či jiných blízkých osob
3–10	děti od tří do deseti let se budou pohybovat sami, ale v těsné blízkosti u rodičů či známých, budou následovat jejich pokyny, při překonávání výstupu mohou být závislé na pomoci druhých a zároveň nemají fyzické předpoklady pro pomoc druhým
11–20	mládež od deseti do dvaceti let nebude mít s rychlým pohybem problém, může mít však v nouzových situacích méně zkušeností
21–60	osoby od dvaceti do šedesáti let jsou fyzicky zdatní a „bezproblémoví“
61 a více	osoby starší šedesáti let se budou pohybovat pomaleji a mohou mít problém s překonáváním výškového rozdílu při výstupu, mohou být závislí na pomoci druhých
ZTP	pohyb zdravotně tělesně postižených či zraněných osob (například osoba s nohou v sádře) bude pomalý a tito lidé budou závislí na pomoci druhých

Průzkum složení cestujících v jednotce CityElefant

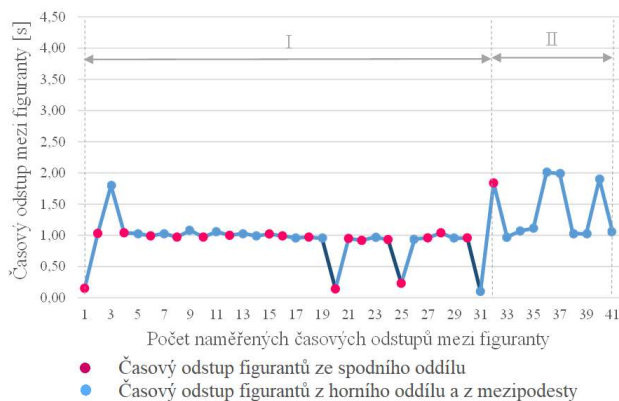
Jelikož je CityElefant využívám především na trasách mezi Prahou a Středočeským krajem, k vlastnímu průzkumu složení cestujících byly zvoleny jak spoje pražské, tak meziměstské. Jejich načasování bylo zvoleno tak, aby bylo možné porovnat složení cestujících, kteří v ranních hodinách či koncem víkendu dojíždějí do hlavního města za prací či studiem s opačným směrem jízdy v tutéž dobu, rozdíl mezi složením ve všedních dnech a o víkendech či obsazenost vozů jednotlivých spojů. Jednotlivé jízdy jsou spolu s jejich trasami a načasováním uvedeny v následující tabulce.

Složení cestujících ve vloženém voze řady 071 jednotky EPJ 041 při konkrétních jízdách

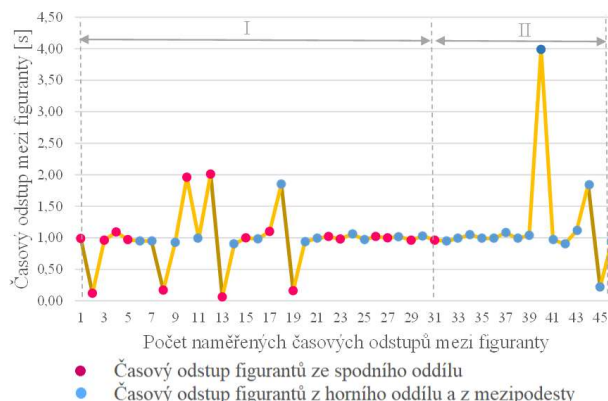
Spojení Čas	Věková kategorie					Celkem
	0-2	2-10	10-20	20-50	60+	
Pražské spoje						
Praha - Holešovice → Praha - Hlavní nádraží						
Úterý 16:58	1	3	0	40	6	50
Sobota 16:58	1	4	6	24	9	43
Neděle 12:58	2	8	3	34	8	55
Neděle 14:58	2	3	0	45	0	50
Praha - Masarykovo nádraží → Praha - Horní Počernice						
Pátek 7:51	0	3	0	15	2	20
Pátek 7:51	1	0	15	12	4	32
Praha - Horní Počernice → Praha - Masarykovo nádraží						
Pátek 8:17	0	1	3	62	7	73
Pátek 8:17	0	2	0	84	2	88
Meziměstské spoje						
Poděbrady → Kostomlaty nad Labem						
Neděle 17:46	0	5	4	7	3	19
Neděle 17:46	1	10	3	19	7	40
Praha - Masarykovo nádraží → Kostomlaty nad Labem						
Čtvrtek 11:51	2	7	2	16	4	31
Čtvrtek 15:51	0	1	6	31	2	40
Děčín → Praha - Hlavní nádraží						
Neděle 13:26	2	7	5	16	12	42
Neděle 17:26	1	2	12	73	3	91

Příloha 2 - Průběhy evakuačních scénářů na úrovni výstupu

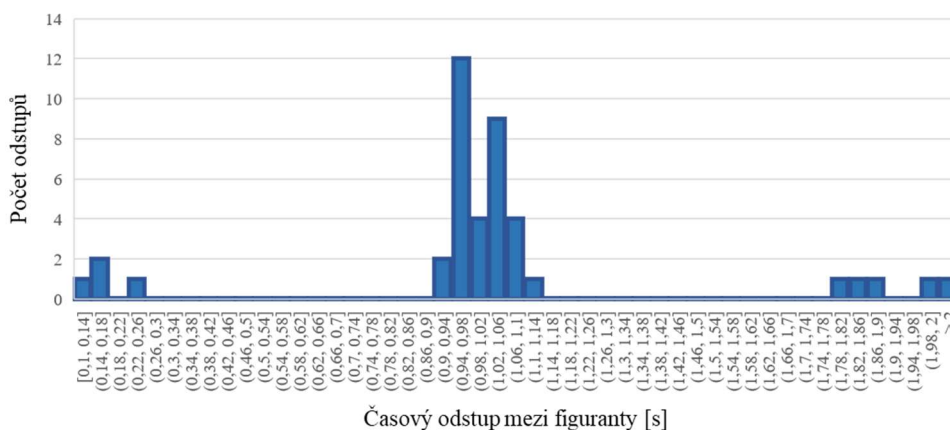
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na nástupiště při šířce vnitřního koridoru $w=650$ mm



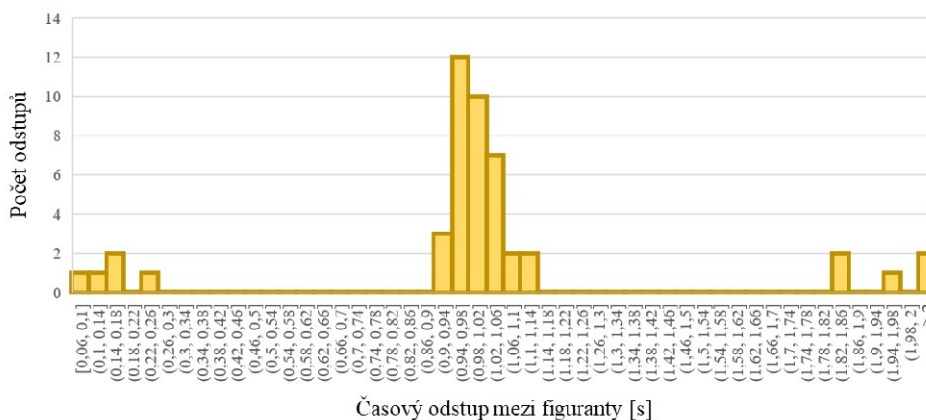
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

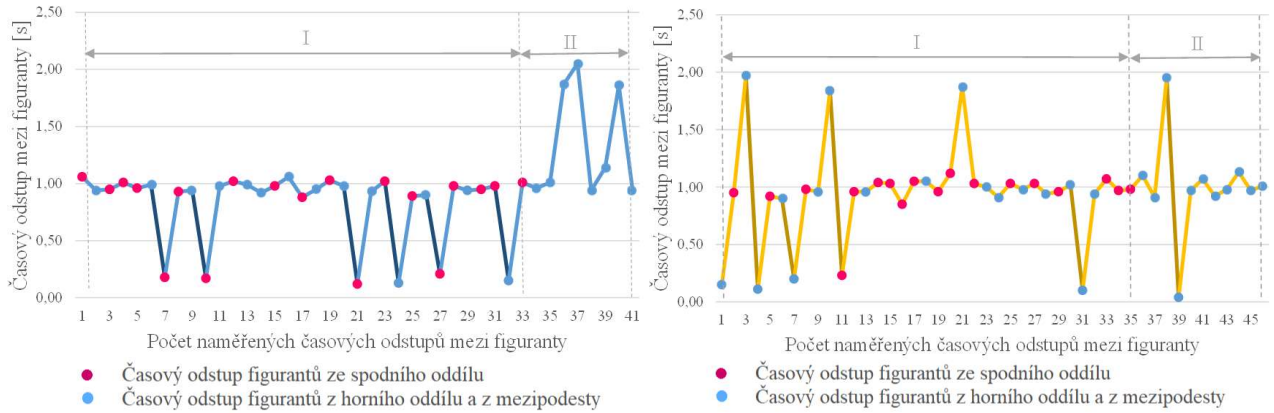


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny



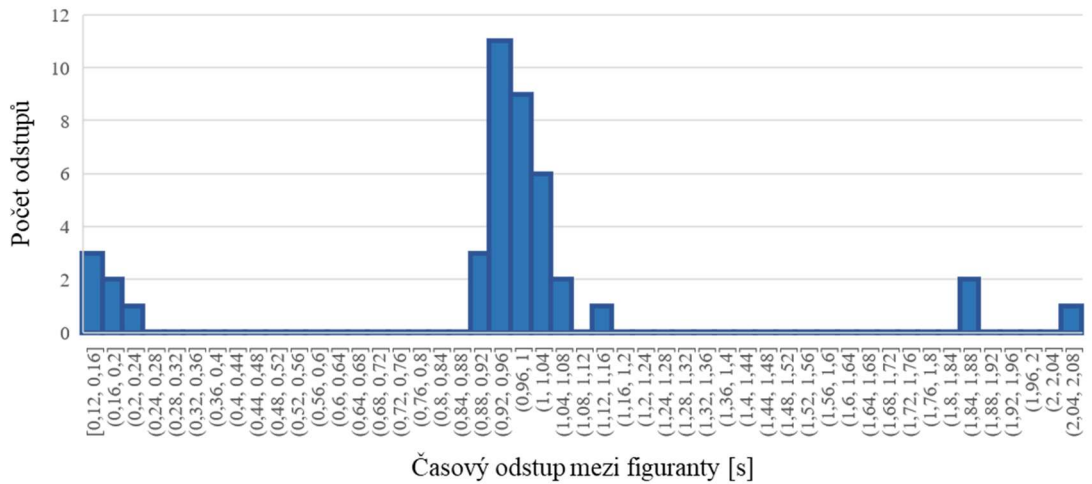
Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na nástupiště při šířce vnitřního koridoru $w=750$ mm

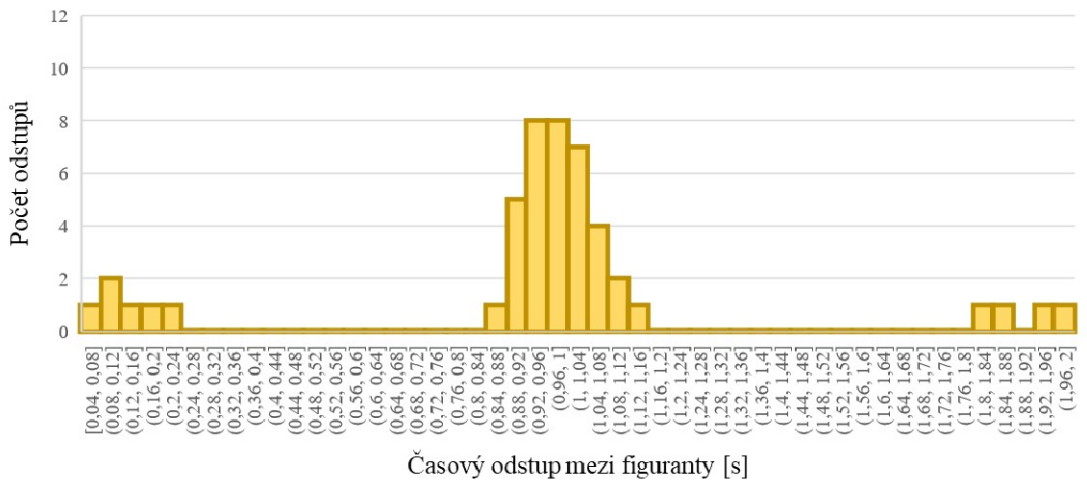


Homogenní skupina

Heterogenní skupina

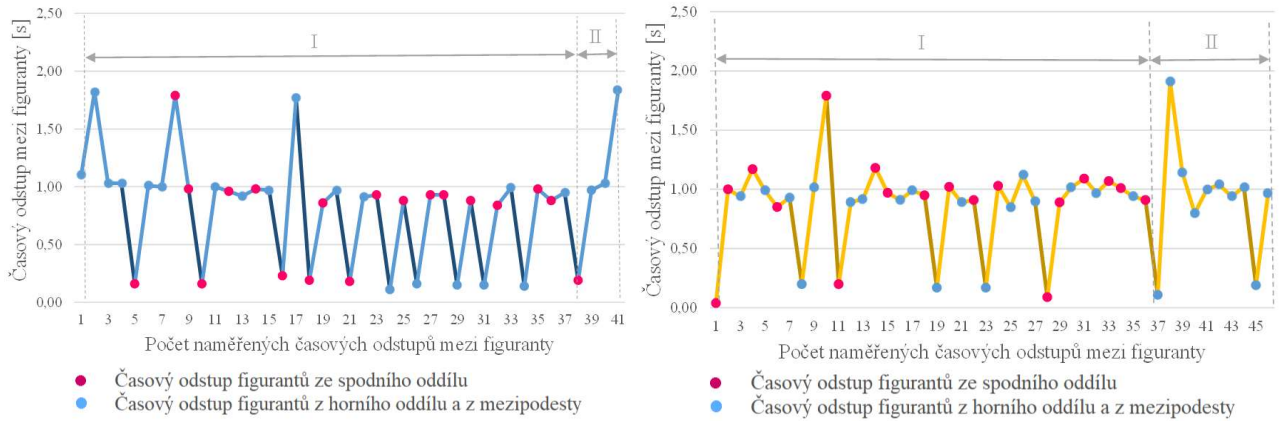


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny



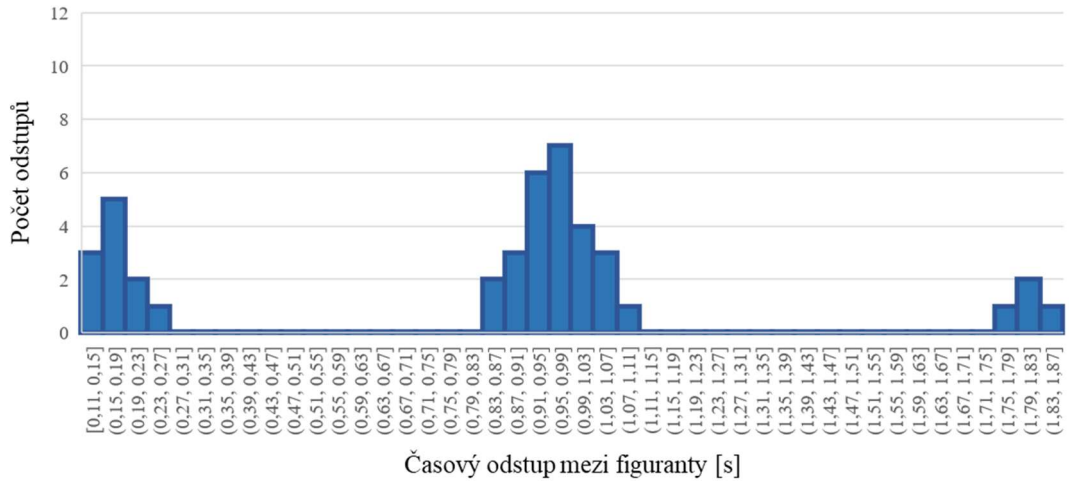
Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na nástupiště při šířce vnitřního koridoru $w=900$ mm

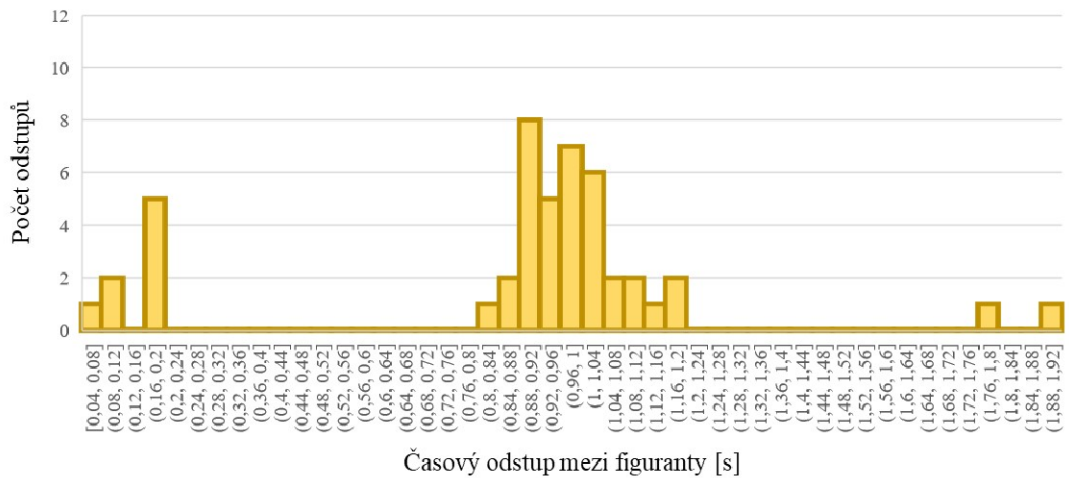


Homogenní skupina

Heterogenní skupina

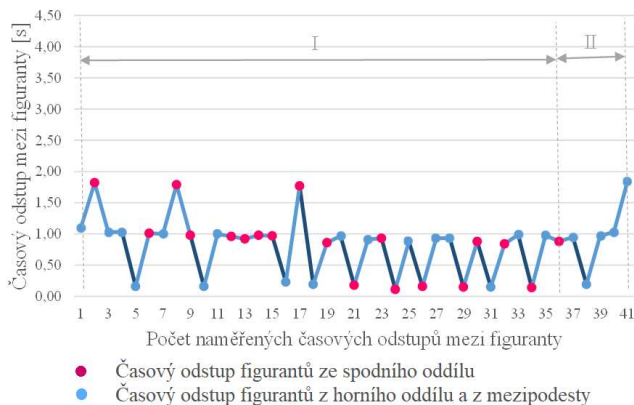


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

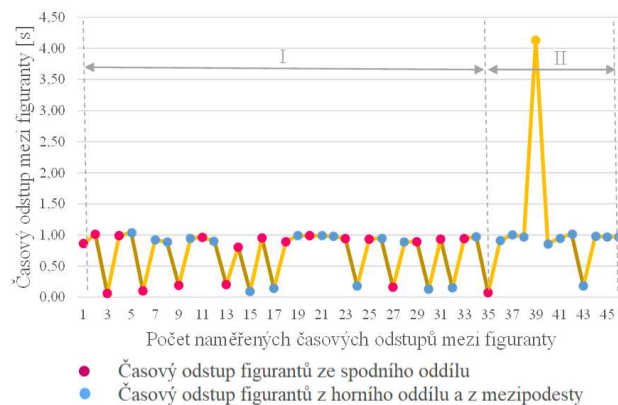


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

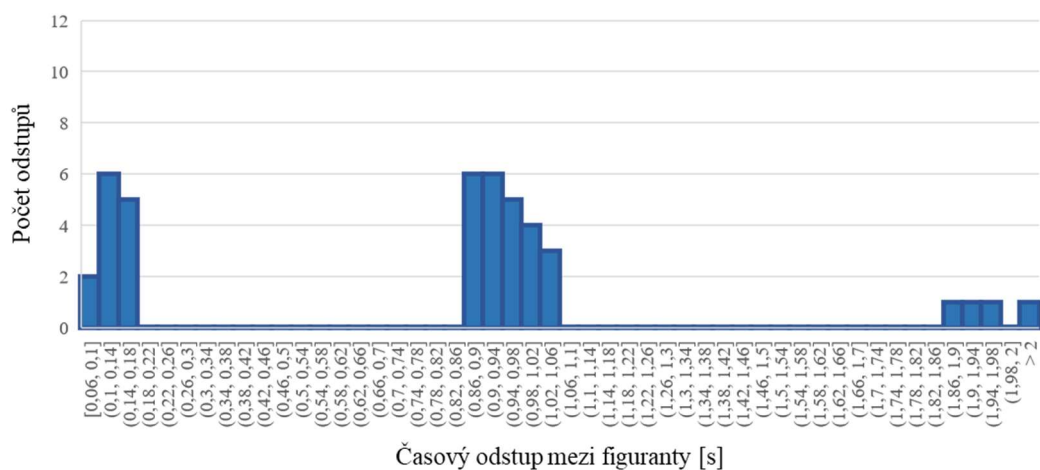
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na nástupiště při šířce vnitřního koridoru $w=1100$ mm



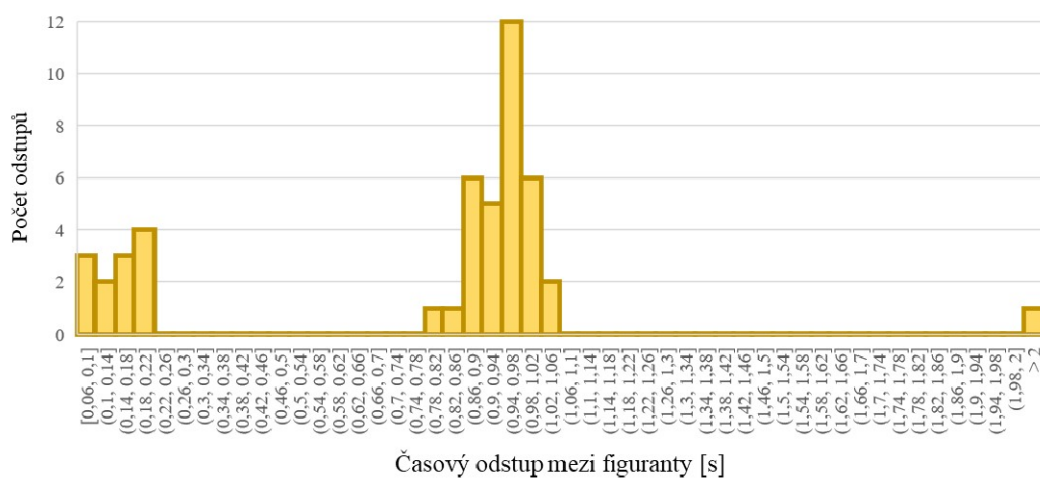
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

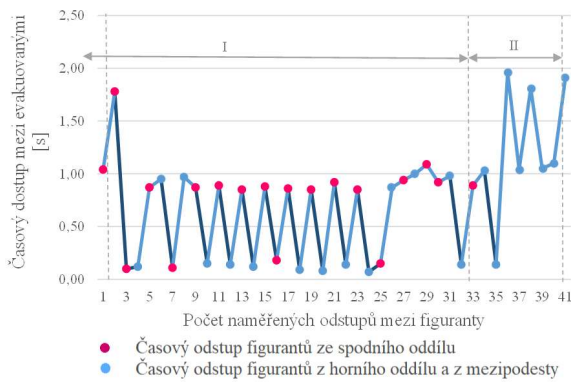


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

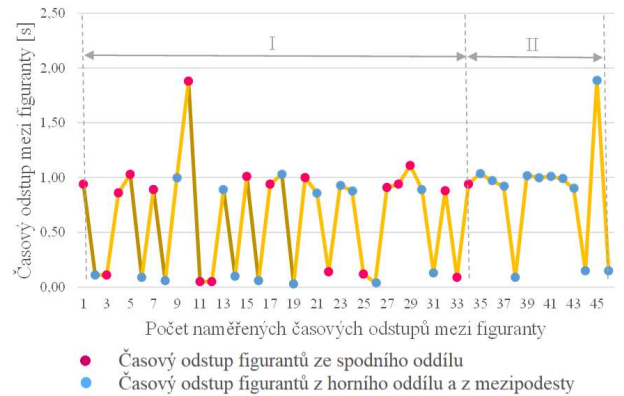


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

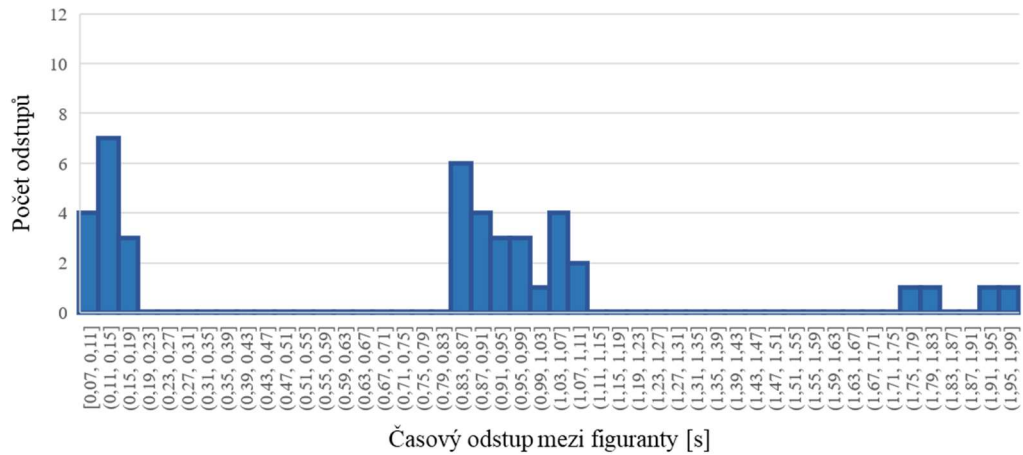
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci na nástupiště při šířce vnitřního koridoru $w=1340$ mm



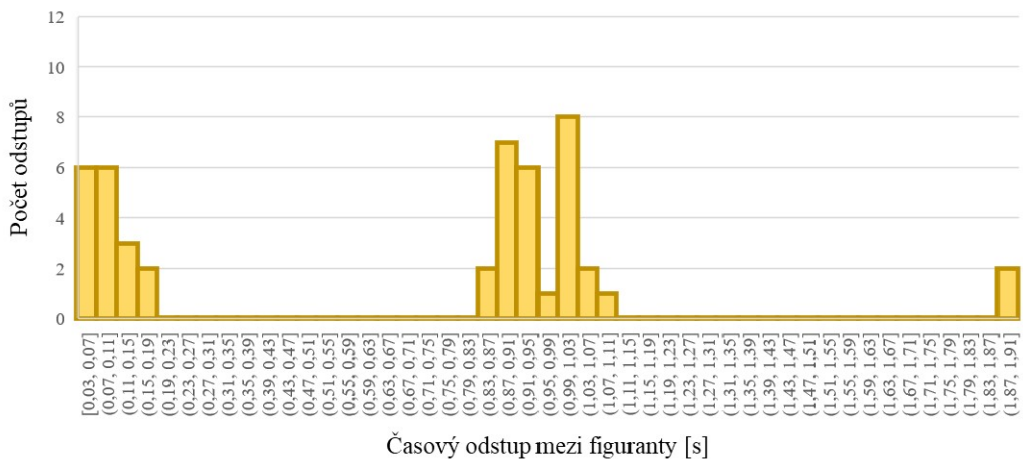
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

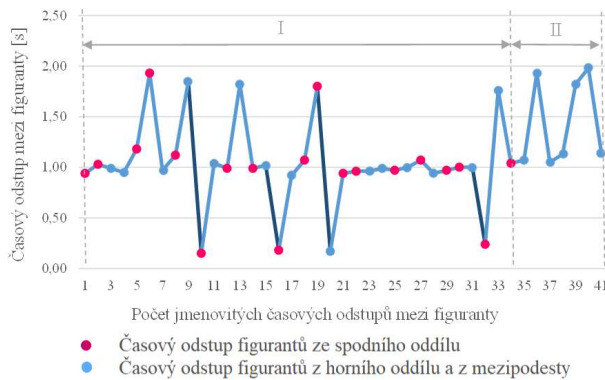


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

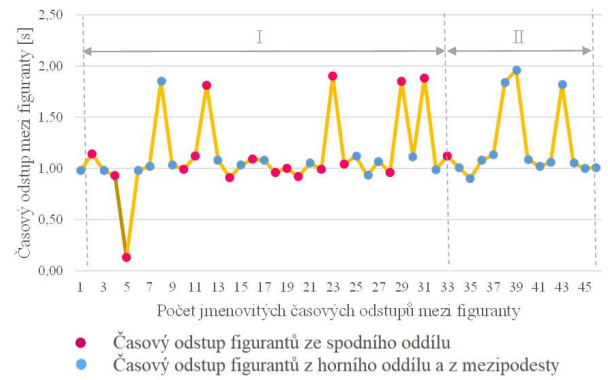


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

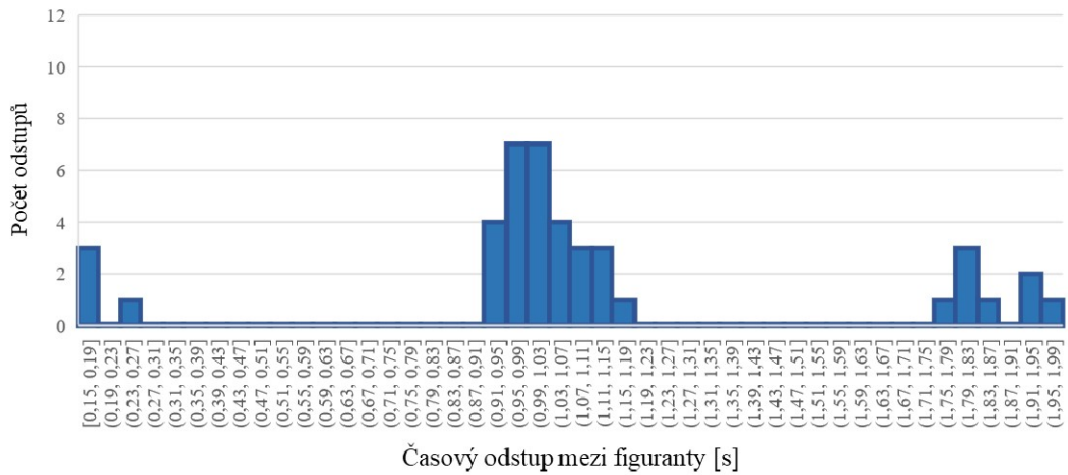
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **po schodišti** při šířce vnitřního koridoru **w=650 mm**



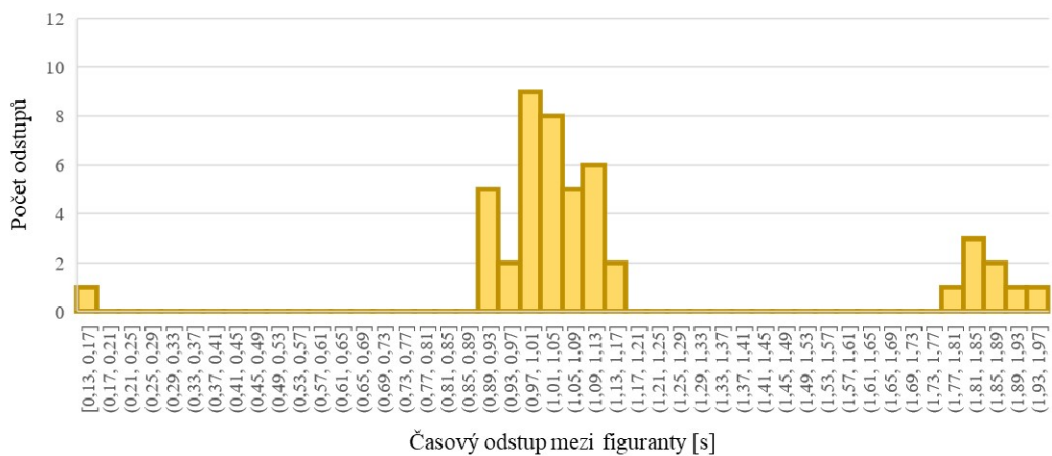
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

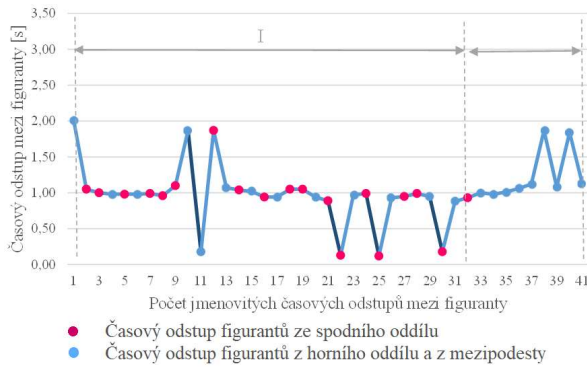


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

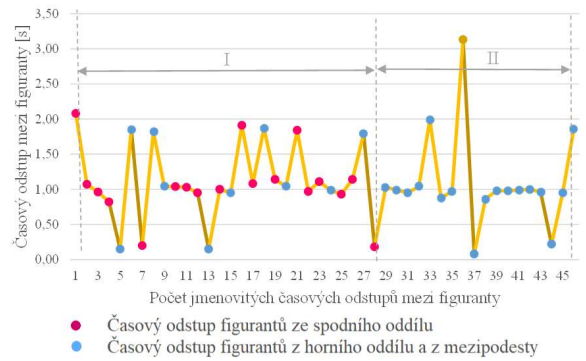


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

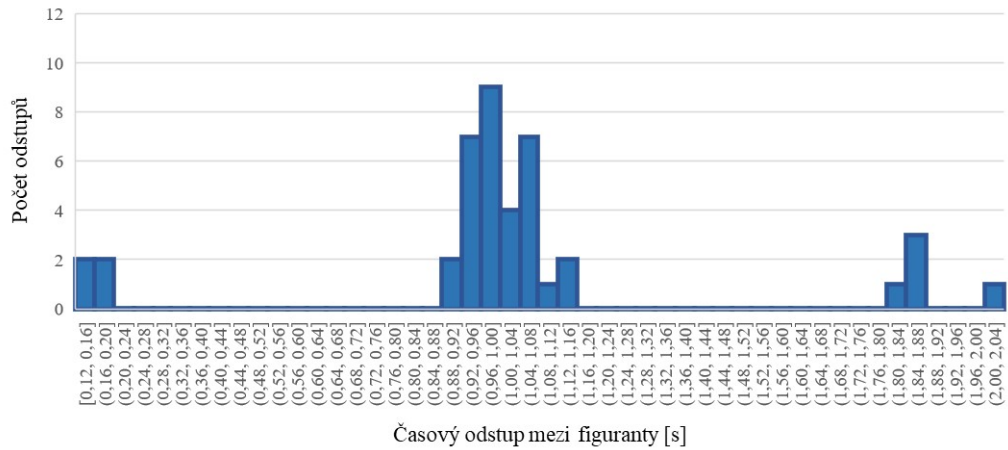
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **po schodišti** při šířce vnitřního koridoru **w=750 mm**



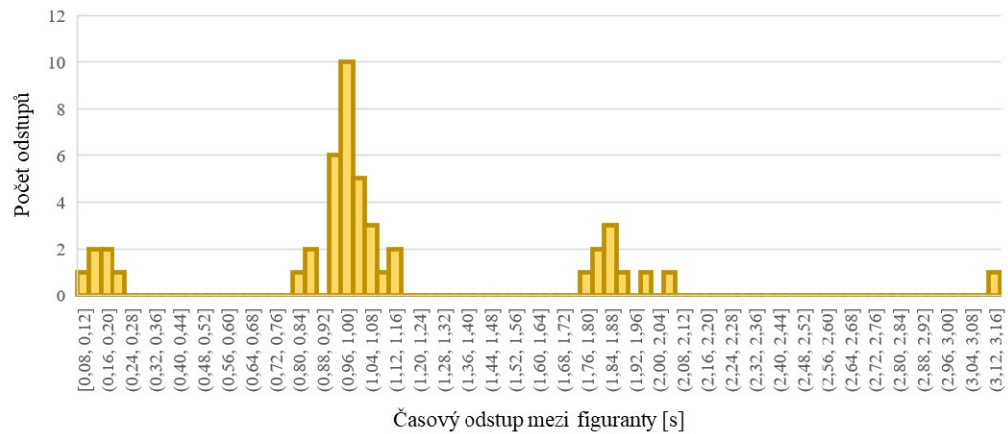
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

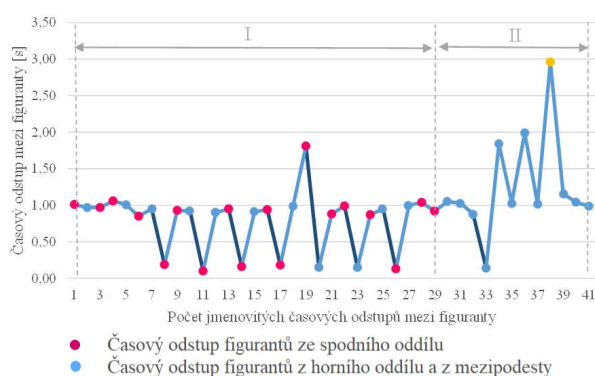


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

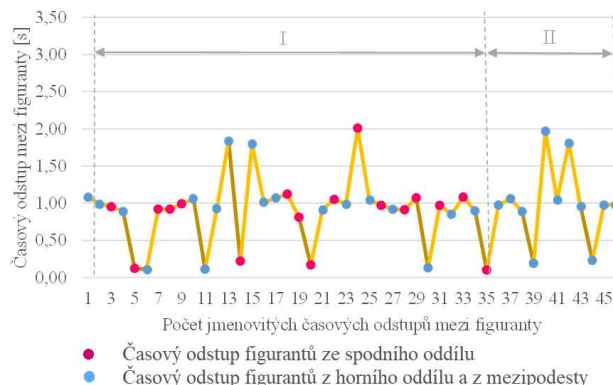


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

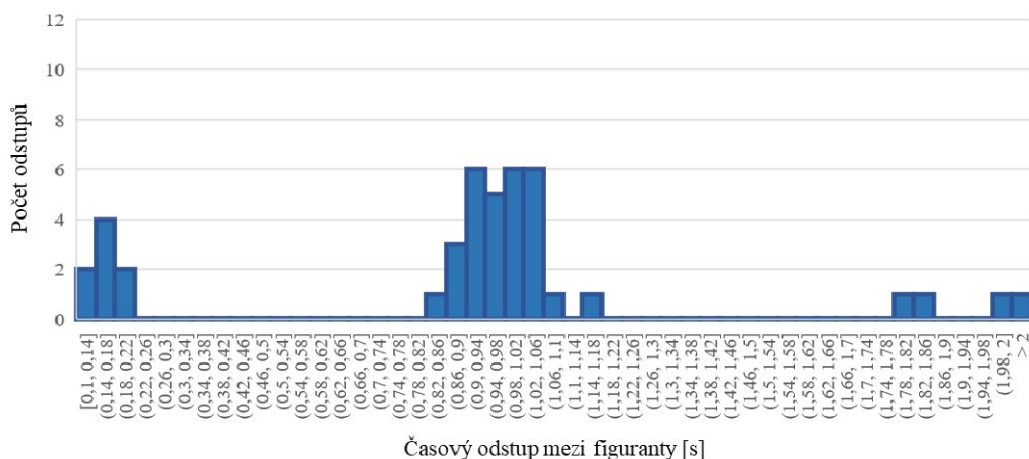
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **po schodišti** při šířce vnitřního koridoru **w=900 mm**



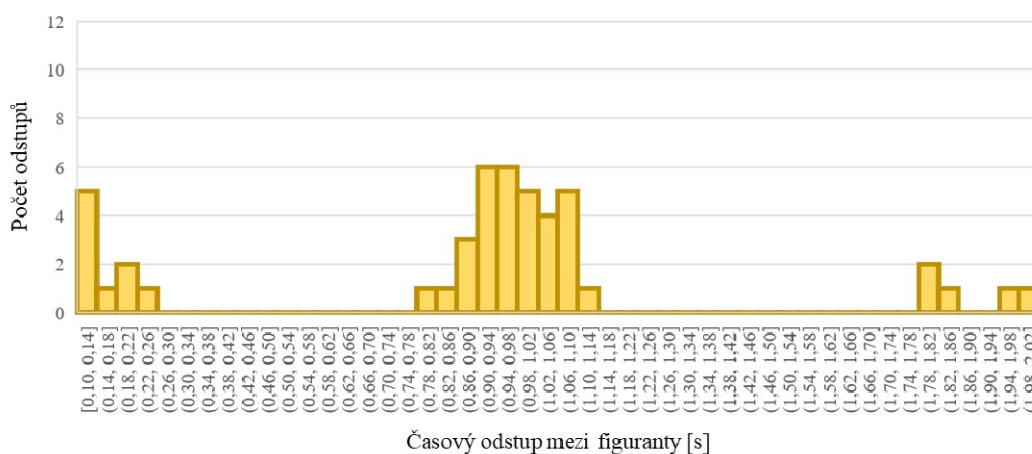
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

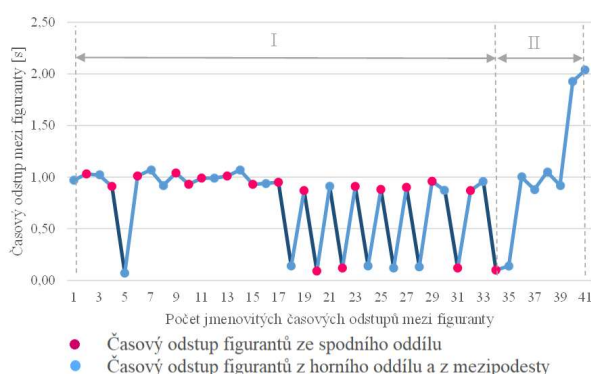


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

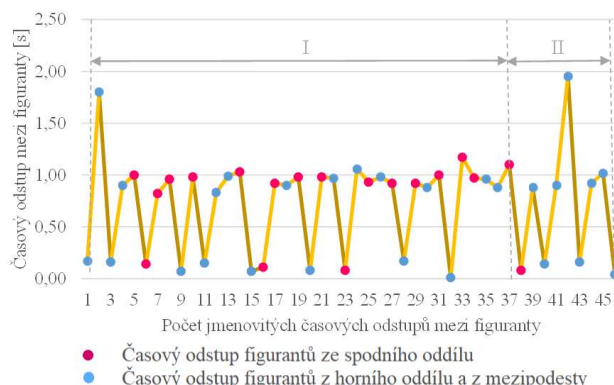


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

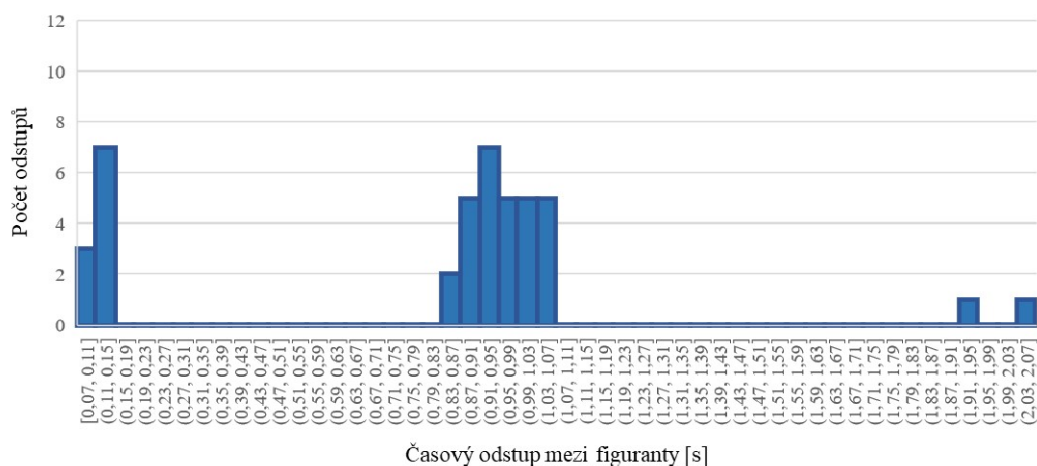
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **po schodišti** při šířce vnitřního koridoru **w=1100 mm**



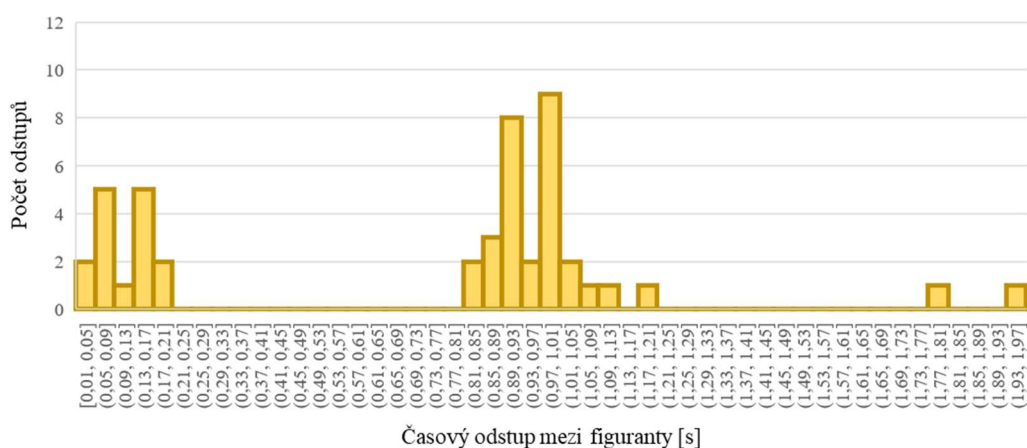
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

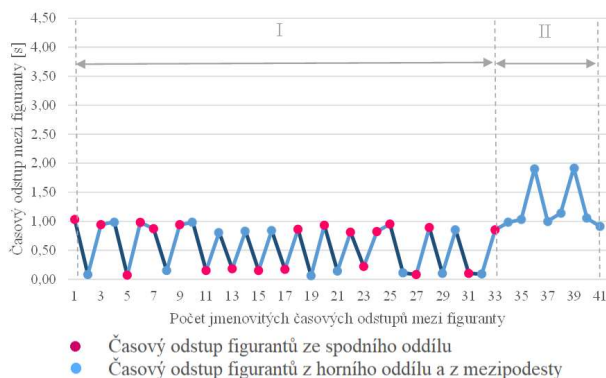


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

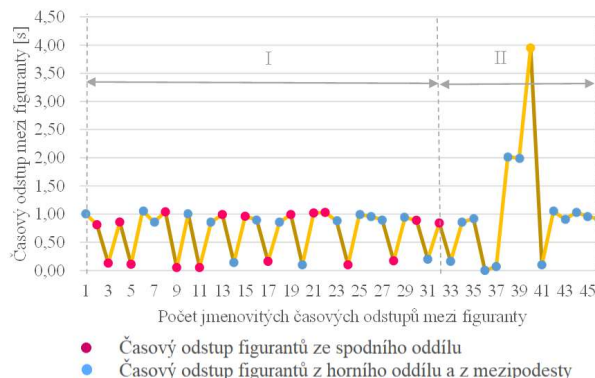


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

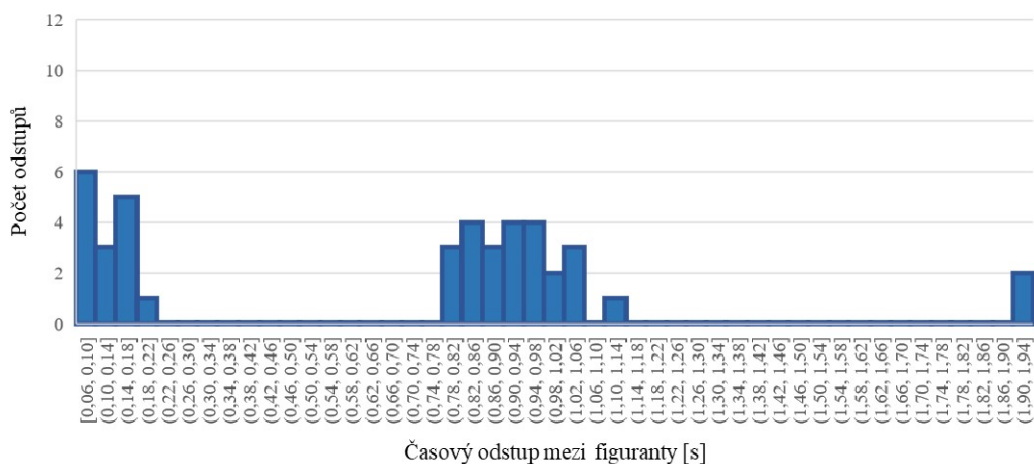
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **po schodišti** při šířce vnitřního koridoru **w=1340 mm**



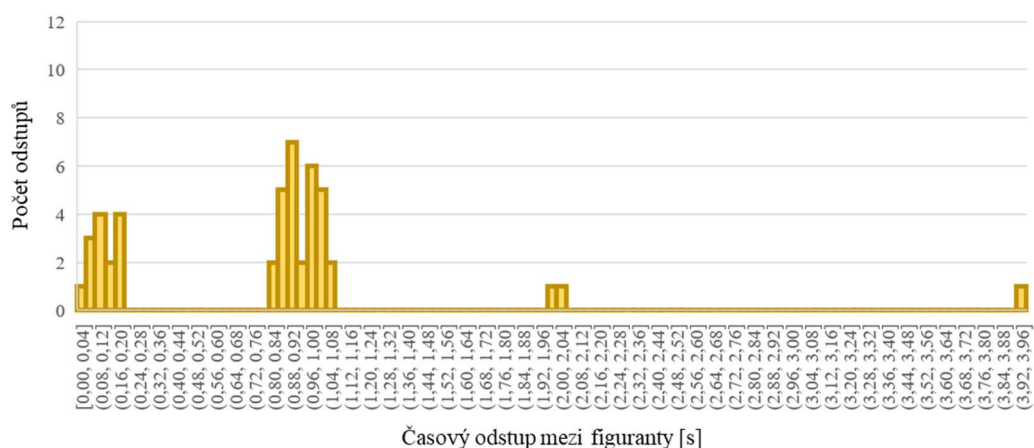
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

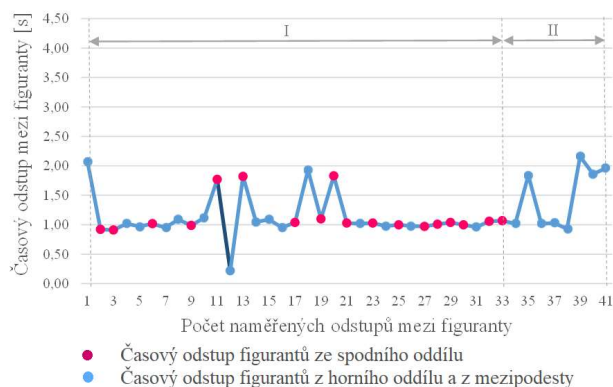


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

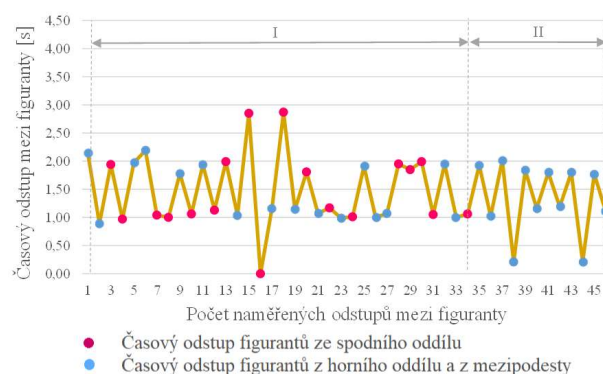


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

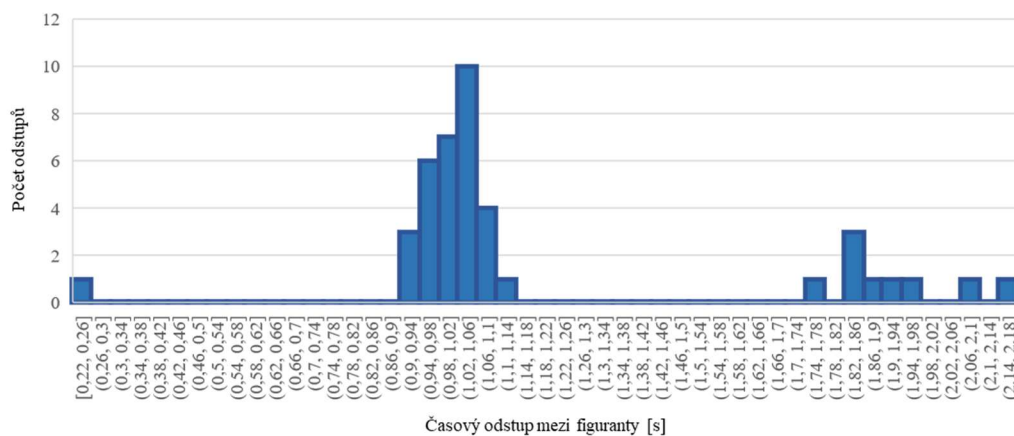
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **na terén** při šířce vnitřního koridoru **w=650 mm**



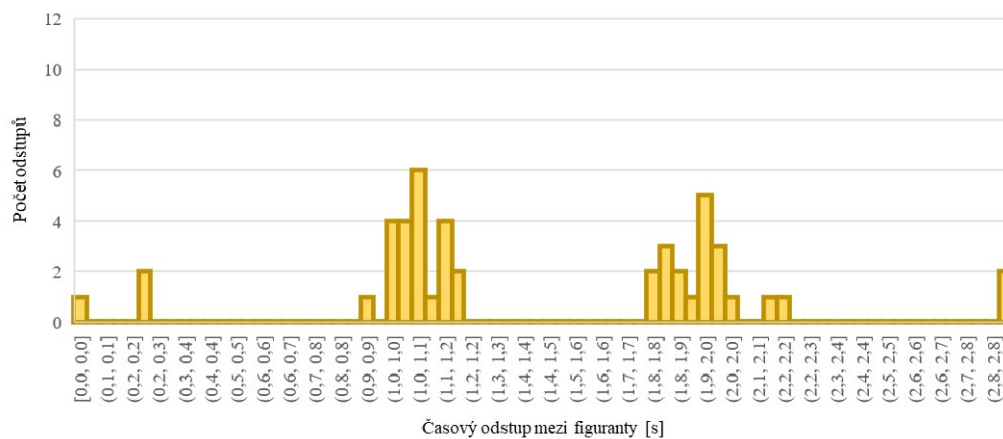
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

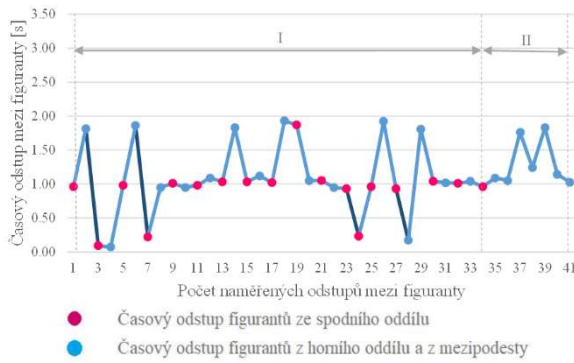


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

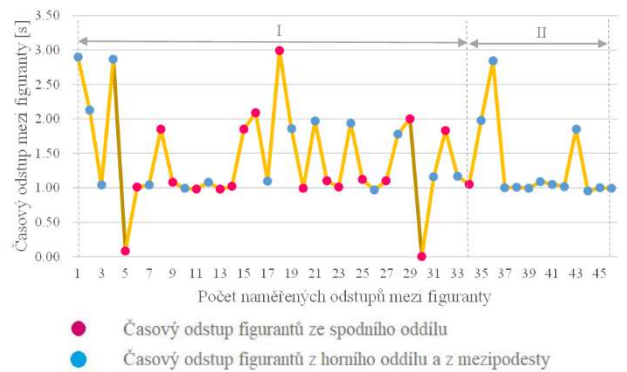


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

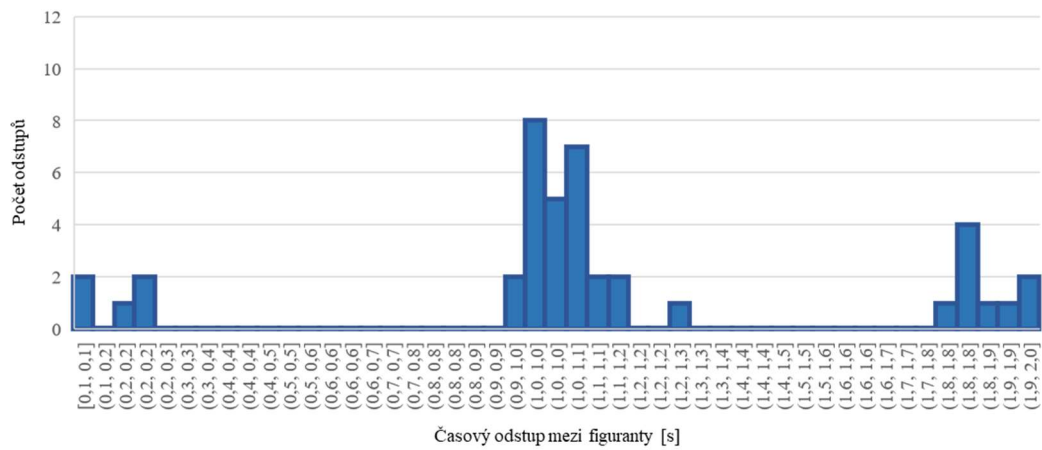
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **na terén** při šířce vnitřního koridoru $w=750$ mm



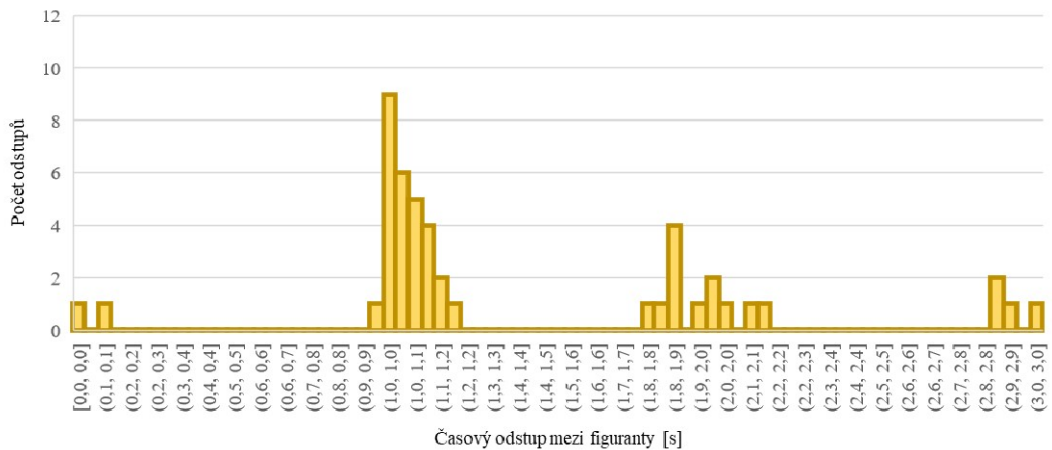
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

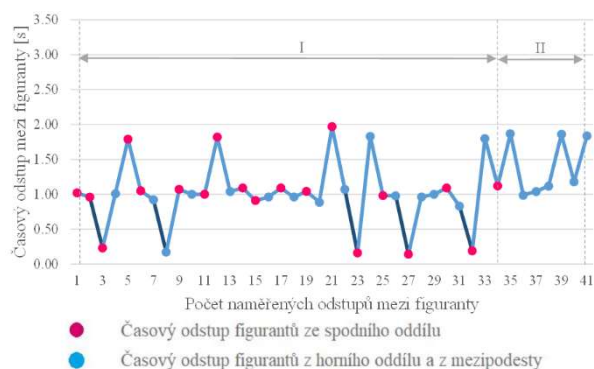


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

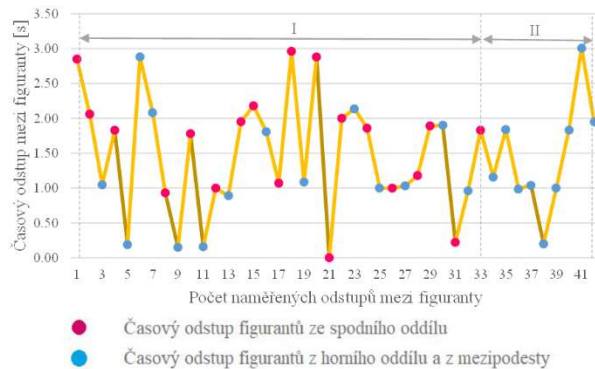


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

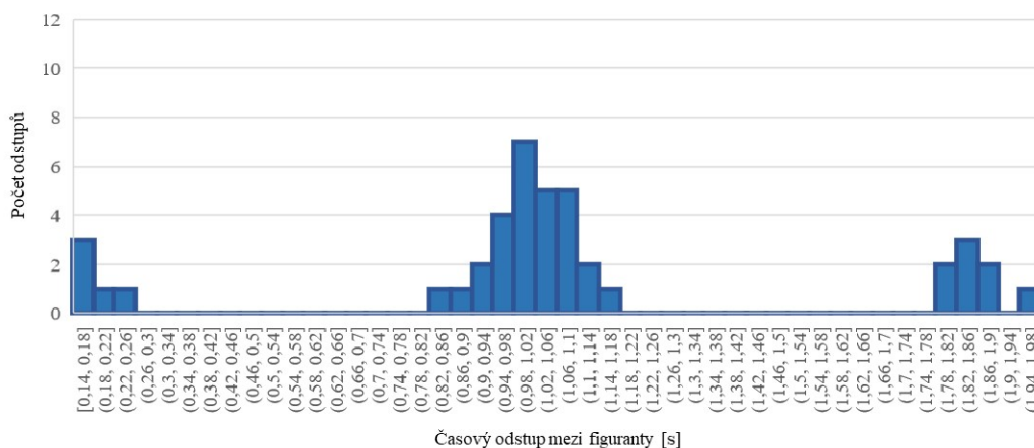
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **na terén** při šířce vnitřního koridoru **w=900 mm**



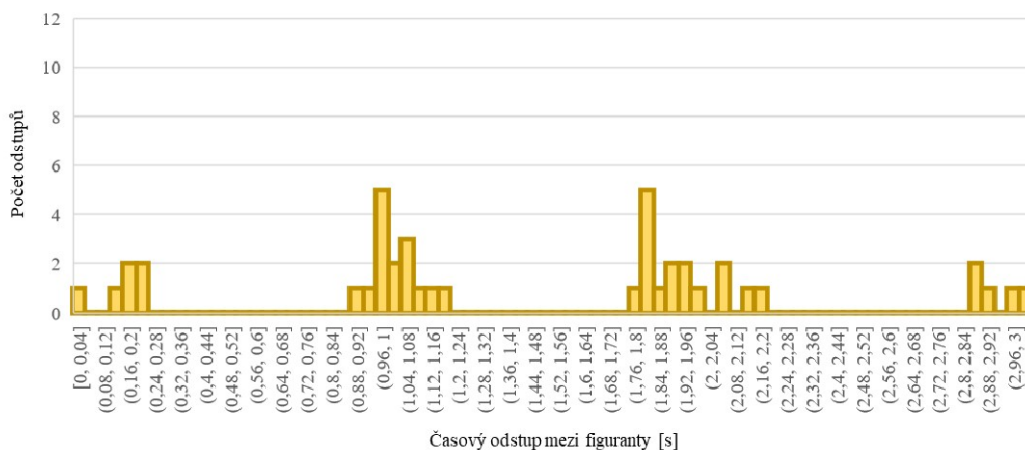
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

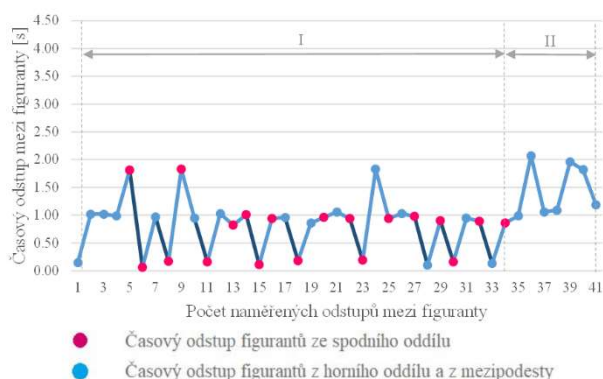


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

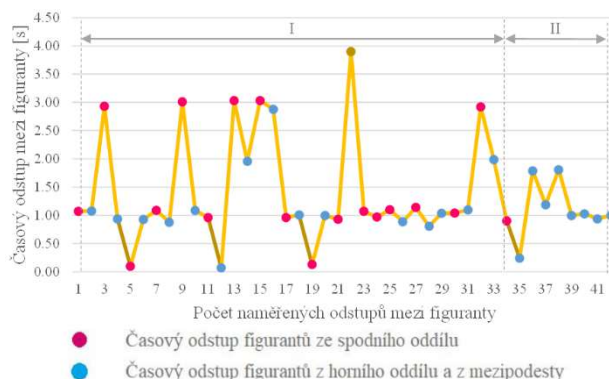


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

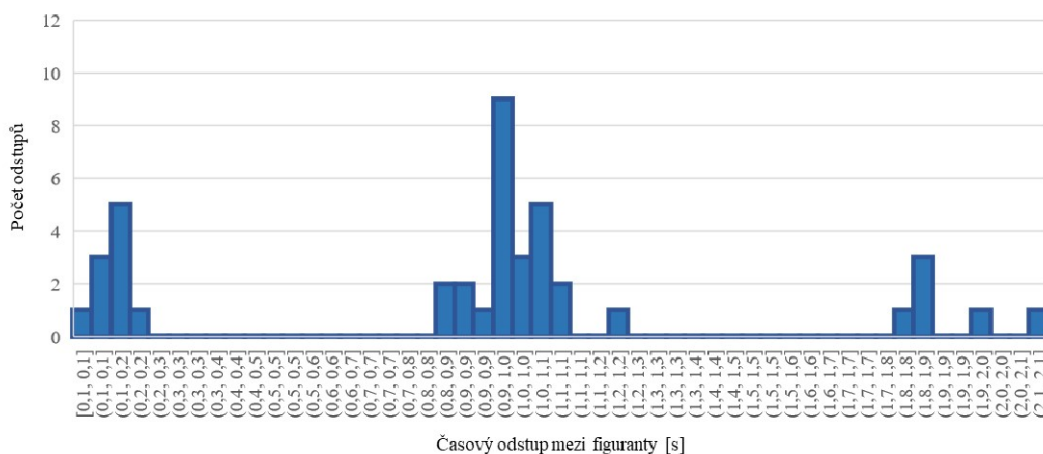
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **na terén** při šířce vnitřního koridoru **w=1100 mm**



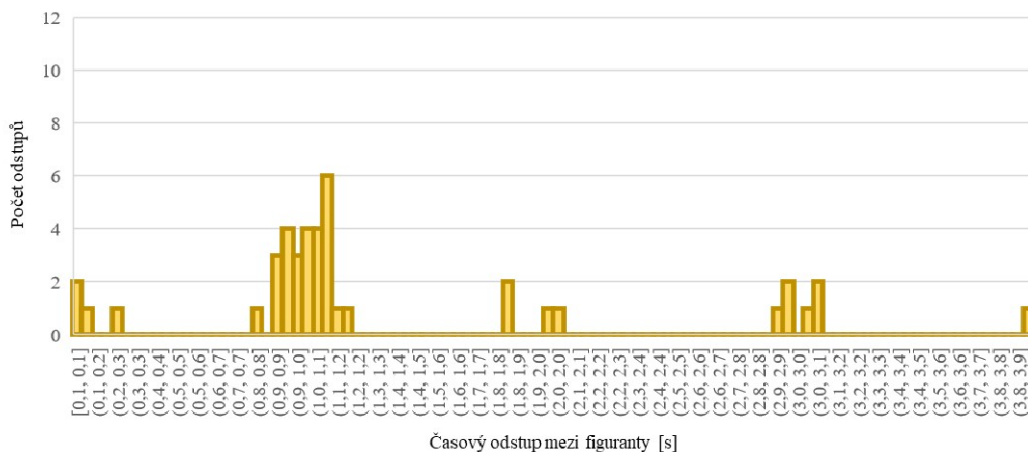
Homogenní skupina



Heterogenní skupina

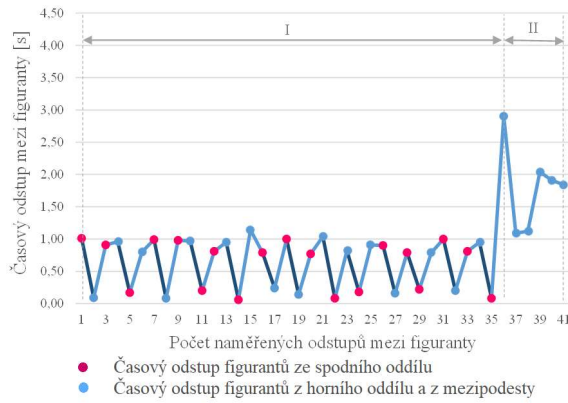


Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny

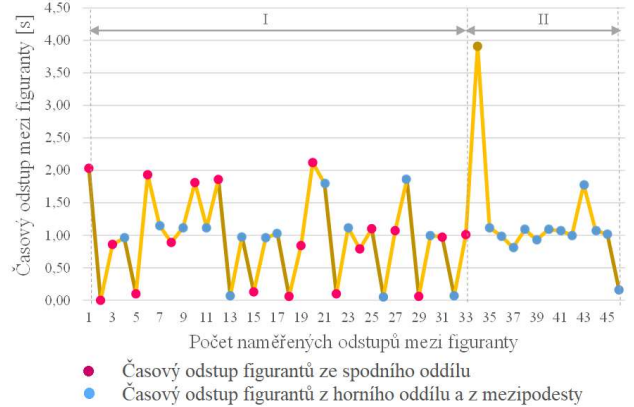


Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny

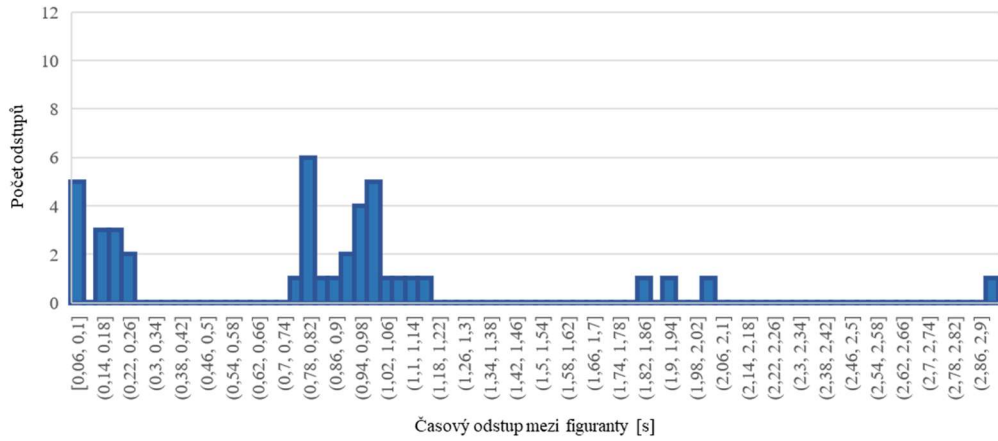
Časové odstupy jednotlivých figurantů v čase při evakuaci **na terén** při šířce vnitřního koridoru **w=1340 mm**



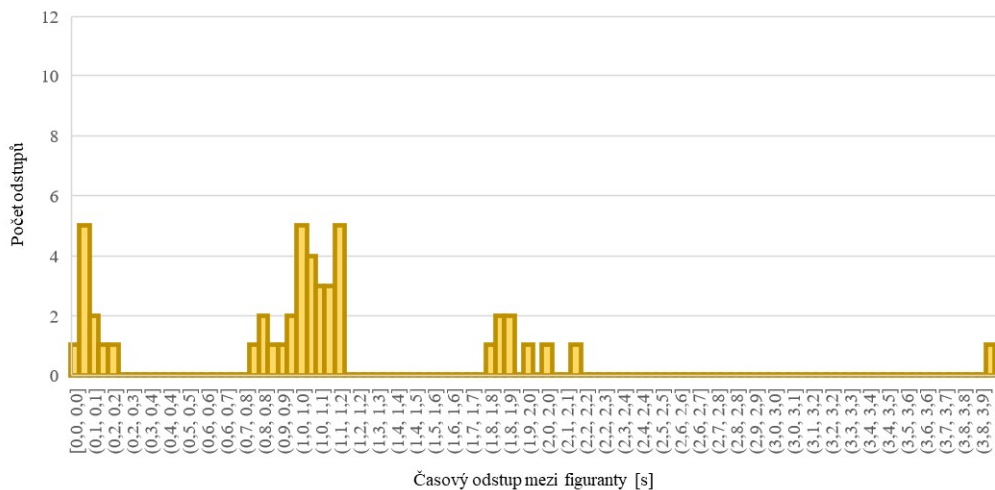
Homogenní skupina



Heterogenní skupina



Četnost jmenovitých odstupů homogenní skupiny



Četnost jmenovitých odstupů heterogenní skupiny