

# Příručka pro virtuální simulaci evakuačních a transportních procesů pěších

Výstup projektu TA02030441 – Virtuální simulace evakuačních a transportních procesů chodců

Poskytovatel účelové podpory:	Technologická agentura ČR Evropská 1692/37 160 00 Praha 6
Zastoupený:	Ing. Rut Bízkovou

Zhotovitel:		
AF-CITYPLAN spol. s r. o., Jindřišská 17, 110 00 Praha 1	VŠB – TU Ostrava 17. listopadu 2172/15, Ostrava-Poruba	Vysoké učení technické v Brně Antonínská 548/1, 60190 Brno
Ing. Peter Súkenník Ing. Petr Hofhansl, Ph. D. Ing. Martin Varhulík Ing. Marek Šída	Ing. Petr Kučera, PhD. Ing. Isabela Bradáčová, CSc.	doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, PhD. Ing. Jiří Apeltauer Ing. Michal Radimský, Ph.D. Ing. Martin Smělý

Recenzenti:

Ing. Bc. Petr Kumpošt, Ph.D., ČVUT-FD  
Ing. Zuzana Švédová, Ph.D., CDV v.v.i.

Číslo zakázky zhotovitele:	12 – 3 – 044
Datum:	prosinec 2014

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>7</b>
1.1	ÚČEL A APLIKAČNÍ OBLAST PŘÍRUČKY	7
1.1.1	Z perspektivy příjemce modelových výstupů	7
1.1.2	Z perspektivy tvůrce modelu	8
1.2	OBECNOST A NEZÁVISLOST PŘÍRUČKY	8
1.3	DEFINICE POJMŮ	8
<b>2</b>	<b>VAZBA NA LEGISLATIVNÍ A TECHNICKÉ PŘEDPISY A NORMY</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>TEORIE MODELOVÁNÍ POHYBU OSOB</b>	<b>12</b>
3.1	CO JE SIMULACE	12
3.2	POHYB A INTERAKCE	12
3.2.1	Panický – nepanický pohyb	12
3.2.2	Horizontální – vertikální pohyb	12
3.2.3	Liniový – prostorový pohyb	14
3.2.4	Interakce s ostatními účastníky dopravního provozu	15
3.3	ZNÁZORNĚNÍ UZAVŘENÉHO PROSTORU	16
3.4	PŘÍSTUP UŽIVATELE MODELU	17
3.5	RYCHLOST POHYBU JEDINCE	18
3.5.1	Rovnice toku/hydraulická rovnice	18
3.5.2	Data rychlosti pohybu pěších	18
3.6	SMĚR POHYBU JEDINCE	19
3.6.1	Funkcionálně-analogický přístup	19
3.6.2	Modely dynamiky kapalin a plynů	19
3.6.3	Model sociálních sil	19
3.6.4	Magnetický model	19
3.7	BEHAVIORÁLNÍ PERSPEKTIVA SIMULOVANÝCH OSOB	19
<b>4</b>	<b>VÝBĚR SIMULAČNÍHO NÁSTROJE</b>	<b>21</b>
4.1	ÚČEL A POZADÍ APLIKACE	22
4.2	DRUH APLIKACE	22
4.3	SEZNAM SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ	22
<b>5</b>	<b>PSYCHOLOGICKÉ ASPEKTY EVAKUACE</b>	<b>24</b>
5.1	DAV	24
5.2	PANIKA	24

5.3	ZVYKLOSTI A VLIVY PROSTŘEDÍ .....	25
6	<b>SBĚR A PŘÍPRAVA DAT</b> .....	<b>26</b>
6.1	KONFIGURACE EXPERIMENTU .....	26
6.2	VHODNÉ VYBAVENÍ .....	27
6.3	ZKRESLENÍ OBRAZU.....	29
6.4	ROZPOZNÁVÁNÍ POLOHY OBJEKTU .....	29
6.5	VYBRANÉ METODY DETEKCE OSOB.....	31
6.5.1	AUTOMATICKÁ EXTRAKCE TRAJEKTORIE OSOB Z VIDEOZÁZNAMU .....	31
6.5.2	DALŠÍ VYBRANÉ METODY DETEKCE POHYBU OSOB .....	33
7	<b>STAVBA MODELU, SÍŤ A DOPRAVNÍ CHOVÁNÍ</b> .....	<b>34</b>
7.1	GEOMETRIE .....	34
7.2	POPULACE .....	34
7.2.1	Minimální požadavky na vlastnosti a složení populace .....	34
7.2.2	Věkové rozdělení populace .....	35
7.2.3	Reakční doba .....	35
7.2.4	Neomezovaná rychlost v rovině .....	37
7.3	DEFINICE/VOLBA TRASY V SIMULACI .....	39
7.4	SIMULACE FRONT .....	39
8	<b>KONTROLA A VERIFIKACE MODELU</b> .....	<b>41</b>
9	<b>ANALÝZA ALTERNATIV, VÝSLEDKY A JEJICH INTERPRETACE</b> .....	<b>42</b>
9.1	ÚROVEŇ KVALITY DOPRAVY CHODCŮ.....	42
9.2	EVAKUAČNÍ ANALÝZA .....	46
9.2.1	Popis ovlivňujících faktorů a okrajových podmínek.....	46
9.2.2	Posuzované scénáře.....	46
9.2.3	Nakládání s celkovým evakuačním časem podle směrnice RIMEA.....	47
9.2.4	Identifikace kongescí .....	47
9.2.5	Korekční opatření .....	47
9.2.6	Dokumentace .....	48
9.2.7	Počet simulačních procesů .....	48
9.2.8	Výstupy simulačních softwarů .....	51
10	<b>DOPORUČENÁ STRUKTURA SIMULAČNÍHO POSUDKU</b> .....	<b>52</b>
11	<b>REJSTŘÍK</b> .....	<b>54</b>
12	<b>LITERATURA</b> .....	<b>55</b>
13	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>56</b>
	<b>PŘÍLOHA 1 – POPIS VYBRANÝCH SIMULAČNÍCH SOFTWARŮ</b> .....	<b>57</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Ukázka horizontálního a vertikálního pohybu v simulaci (zdroj: PTV) .....	14
Obrázek 2 – Interakce chodců v plochách pro chodce (neliniové vedení chodců) .....	14
Obrázek 3 – Ukázka izolovaného modelu – simulace evakuace budovy (zdroj: PTV, AF-CITYPLAN) .....	15
Obrázek 4 – Ukázky interakce s jinými účastníky dopravního provozu v simulaci – multimodální model (zdroj: vlevo: PTV, vpravo: AF-CITYPLAN).....	16
Obrázek 5 – 3 typy rozlišení (podrobnosti) modelu (zdroj: [3]) .....	16
Obrázek 6 - Tematické oblasti pro výběr vhodné aplikace.....	21
Obrázek 7 – Uspořádání experimentu při pohledu shora. Součástí experimentu je rovněž kamera umístěna v geometrickém středu evakuovaného prostoru u stropu.....	27
Obrázek 8 – CCD senzor je po většinu času zcela neaktivní, obrazovou informaci vyčítá naráz pro celou plochu čipu. ....	28
Obrázek 9 – CMOS senzor vyčítá obrazovou informaci postupně po jednotlivých řádcích, může tak dojít k deformaci sledovaného objektu.....	28
Obrázek 10 – Příklad vhodné kamery pro následnou analýzu obrazu, kterou lze umístit prakticky kamkoliv. ....	29
Obrázek 11 – Příklad sférického zkreslení při záběru z výšky 4 metrů a úhlu záběru 127°.....	29
Obrázek 12 – Pixmapa se štítky ve formě červených kšiltovek.....	30
Obrázek 13 – Ilustrace distorze a její inverze .....	31
Obrázek 14 – Barevně odlišené trajektorie jednotlivých osob na záznamu .....	31
Obrázek 15 – Výsledek automatické extrakce trajektorie osob z nástroje PeTrack .....	32
Obrázek 16 – Srovnání měření hustoty pěšího proudu v čase Voroniovou a klasickou metodou.....	33
Obrázek 17 – Rozdělení věku standardní populace podle RIMEA, 50 % mužů a 50 % žen (zdroj: RIMEA).....	35
Obrázek 18 – Rychlost chůze v rovině v závislosti na věku podle Weidmanna.....	38
Obrázek 19 – Průběh tvorby neorganizované fronty v závislosti od volby modelového parametru lambda ovlivňujícího chování chodců (obrázky: T. Kretz, VISSIM software).....	40
Obrázek 20 – Simulace organizované fronty – jednořadý zástup u odbavovacích míst (obrázky: AF-CITYPLAN, VISSIM software) .....	40
Obrázek 21 – Znázornění plochy potřebné pro dosažení jednotlivých úrovní kvality pohybu chodců.....	45
Obrázek 22 – Určení kvality pohybu chodců (LOS) v programu PTV VISSIM – hustota chodců [chodců/m <sup>2</sup> ] 46	46

Obrázek 23 – Ukázka evaluační mapy ploch pro pohyb pěších, minutový průměr, LOS podle Fruina,(zdroj: AF-CITYPLAN).....	51
Obrázek 24 – Situace .....	66
Obrázek 25 – Situace 3D.....	67
Obrázek 26 – Situace 2D.....	67
Obrázek 27 – Situace 3D.....	68
Obrázek 28 – Situace 2D.....	68
Obrázek 29 – Fundamentální diagram podle Weidmanna.....	69
Obrázek 30 – Situace .....	70
Obrázek 31 – Detail situace .....	71
Obrázek 32 – Schéma testu č. 6 .....	71
Obrázek 33 – Obrázek ze simulace .....	72
Obrázek 34 – Schéma testu č. 8 .....	73
Obrázek 35 – Schéma testu č. 9 .....	74
Obrázek 36 – Schéma testu č. 10 .....	75
Obrázek 37 – Schéma testu č. 11 .....	76
Obrázek 38 – Schéma testu č. 11 .....	76
Obrázek 39 – Schéma testu č. 12 .....	77
Obrázek 40 – Schéma testu č. 13 .....	78
Obrázek 41 – Obrázek situace .....	79

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 – Kategorizace dle typu budovy a charakteristik osob (zdroj: RIMEA) .....</i>	36
<i>Tabulka 2 – Kategorizace dle typu požárního systému (zdroj: RIMEA) .....</i>	36
<i>Tabulka 3 – Kategorizace dle komplexity budovy (zdroj: RIMEA) .....</i>	36
<i>Tabulka 4 – Kategorizace dle způsobu řízení požární bezpečnosti (zdroj: RIMEA).....</i>	36
<i>Tabulka 5 – Minimální a maximální hodnoty rozdělení individuálních reakčních dob dle výše uvedené kategorizace (zdroj: RIMEA) .....</i>	37
<i>Tabulka 6 – Rychlost chůze v rovině podle Weidmanna<sup>5</sup> .....</i>	38
<i>Tabulka 7 – Rychlost chůze po schodech, zdroj: Fruin.....</i>	38
<i>Tabulka 8 – Směrné hodnoty hustoty osob po základní rozdělení populace (zdroj: RIMEA).....</i>	39
<i>Tabulka 9 – Určování kvality pohybu chodců – porovnání metodik [hustota – chodců/m<sup>2</sup>].....</i>	43

<i>Tabulka 10 – Úroveň kvality pohybu chodců pro chodce (LOS) dle FRUINA.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 11 – Popis kvality pohybu chodců .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 12 – Minimální počet simulačních procesů dle úrovně spolehlivosti a požadovaného rozsahu .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 13 – Specifický proud na schodech, v chodbách a dveřích.....</i>	<i>70</i>

## SEZNAM ZKRATEK

3D	trojrozměrný
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované projektování)
DMRB	Design Manual for Roads and Bridges – britský projekční předpis pro pozemní komunikace a mosty
GEH	odvozeno ze jména Geoffrey E. Havers (londýnský dopravní inženýr, viz <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/GEH_statistic">http://en.wikipedia.org/wiki/GEH_statistic</a> )
GIS	Geographic Information System (geografický informační systém)
GPS	Global Positioning System (globální družicový polohový systém)
HCM	Highway Capacity Manual – americký dopravně-inženýrský předpis
ITS	Intelligent Transportation System (inteligentní dopravní systémy)
RIMEA	Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen (Směrnice pro mikroskopické evakuační analýzy)
TAČR	Technologická Agentura České republiky
VHD	veřejná hromadná doprava
FHWA	Federal Highway Administration
NGSIM	Next generation simulation

## 1 ÚVOD

Mikroskopické simulace dopravního proudu na bázi počítačové simulace jsou v praxi využívány již několik desetiletí. K jejich značnému rozvoji došlo především v poslední dekádě, kdy rapidní rozvoj výkonného počítačového hardwaru i programovacích jazyků umožnil vznik mnohých simulačních softwarů s různým přístupem k modelování lidského chování v dopravním proudu. Z toho vyplývá i potřeba hodnocení různých mikrosimulačních modelů na jedné straně a definice standardů při vytváření simulací pěších, jejich hodnocení a prezentaci výsledků na straně druhé.

Simulace obecně představuje proces napodobování reálného děje, přičemž se jedná o zjednodušenou aproximaci. Algoritmy popisující chování v dopravním proudu se stále zdokonalují a přibývá kalibračních parametrů umožňujících nastavení, přibližující se specifickým podmínkám/charakteristikám dopravního proudu v čase a místě (národní nebo regionální specifika). To přináší i zvyšující se nároky na tvůrce simulací a potřebu definice kvantitativních a kvalitativních standardů souvisejících s výstavbou modelu, jeho hodnocením a s interpretací výsledků analýz a prognóz. V České republice prozatím neexistuje norma, dokument či metodické usměrnění, které by tyto standardy definovalo v oblasti simulace pěších.

V oblasti simulace evakuačních procesů se principiálně rozlišují dva postupy – stav bez paniky a stav s panikou. Simulace stavů bez paniky je možné využít k optimalizaci pěších tras všude tam, kde je vysoká koncentrace chodců (např. stadiony, koncertní sály apod.). Optimalizace tras může napomoci rychlejšímu, jednoduššímu a bezpečnějšímu opuštění místa neboli k vyšší efektivitě pěších tras. Stav s panickým chováním vznikají při reálné nebo domnělé hrozbě a jejich simulace je komplikovanější.

### 1.1 ÚČEL A APLIKAČNÍ OBLAST PŘÍRUČKY

V případě Příručky pro virtuální simulaci evakuačních a transportních procesů pěších předpokládáme dvojí využití - na jedné straně u samotných tvůrců simulačních modelů pěších, kteří ji využijí jako vodítko, náповědu a zdroj základních požadavků na kvantitu a kvalitu analytické a prognostické práce s mikrosimulačním modelem pěších, na straně druhé u příjemců analytických a prognostických prací, kteří dle ní mohou definovat své požadavky na dílo a lépe porozumět jeho výsledkům.

Příručka je výstupem projektu TA02030441, který byl podpořen Technologickou agenturou České republiky.

#### 1.1.1 Z perspektivy příjemce modelových výstupů

Skupinu potenciálních odběratelů tvoří objednatelé dopravních analýz a prognóz a příjemci jejich výsledků, jako např. ŘSD (Ředitelství silnic a dálnic), Policie ČR, krajské nebo městské odbory dopravy příp. soukromí objednatelé (projekční firmy, developeri, dopravní inženýři). Pro tyto příjemce výsledků je **informačním zdrojem**, který je obeznámí s možnostmi simulací pěších, standardy při jejich vytváření, formátováním a interpretací výsledků a rovněž s kvalitativním rámcem mikrosimulačních postupů.

Zjednodušeně řečeno, příručka má zprostředkovat informace:

- Kdy je vhodné nasazení mikroskopické simulace pěších a co je možno po ní požadovat;
- Jak má být simulace provedena a ověřena;
- Jaké výstupy je možno očekávat;
- Jak rozumět výsledkům.

V mnoha případech jsou veřejné autority (např. odbory dopravy) nebo jimi pověřené osoby/společnosti spíše v roli posuzovatele výsledků simulační studie a v takových případech předkládaná příručka rovněž poslouží jako vodítko a informační zdroj.

### 1.1.2 Z perspektivy tvůrce modelu

Příručka předpokládá u tvůrce modelu základní znalosti z oblasti dopravního inženýrství a věnuje se tedy pouze záležitostem spjatým s procesem mikroskopické simulace pěších.

Příručka má sloužit jako **návod nebo informační průvodce pro tvůrce mikrosimulačních modelů pěších**, od výběru analytického nástroje, přípravy vstupních dat, přes výstavbu modelu, jeho kalibraci až k analýze výsledků simulace a jejich interpretaci. Skupinu potenciálních odběratelů resp. uživatelů reprezentují tedy komerční firmy a státní, obecní nebo akademické instituce působící na poli dopravních analýz a prognóz s využitím simulačních modelů pěších.

## 1.2 OBECNOST A NEZÁVISLOST PŘÍRUČKY

**Předkládaná příručka je neutrální ve vztahu k jednotlivým softwarovým nástrojům.** Její obsah je obecný, bez přímé vazby na použitý software a proto také není náhradou manuálů k použití a nastavení jednotlivých softwarových nástrojů. Neuvádí konkrétní hodnoty pro jednotlivé parametry konkrétních simulačních softwarů, popisuje však principy, které je nutné dodržet a také definuje základní požadavky při tvorbě simulačních modelů pěších. Pro postup při nasazení vybraného softwarového nástroje je vždy potřebná také znalost manuálu vytvořeného developerem předmětného softwaru nebo příručky vytvořené pro předmětný software. Je nutno mít rovněž na paměti, že možnosti jednotlivých simulačních nástrojů se významně liší. **Veškeré obrázky použité v příručce jsou výhradně ilustrativního charakteru.**

## 1.3 DEFINICE POJMŮ

### Evakuace

- postup, umožňující uživatelům budovy dosáhnout případného bezpečného místa, skládající se z procesu před a během pohybu.
- (lat. vyklizení, vyprázdnění) je souhrn organizačních a technických opatření zabezpečujících přemístění osob, zvířat a věcných prostředků v daném pořadí priority z míst ohrožených mimořádnou událostí. V simulacích se běžně uvažuje pouze s lidmi. Zjednodušeně jde o přesun osob z ohroženého prostoru do bezpečí.

### Úniková cesta

- stanovená cesta k určenému bezpečnému místu (např. komunikace v objektu); úniková cesta se člení na nechráněnou a chráněnou.



- komunikace v objektu nebo na objektu umožňující bezpečnou evakuaci osob z objektu ohroženého požárem nebo z jeho části na volné prostranství, popř. přístup požárních jednotek do prostorů napadených požárem.

### **Proces před pohybem**

činnosti před zahájením evakuace, během níž uživatelé budovy zjistí vznik mimořádné události (např. požáru) a provádí aktivní a informativní činnosti do vlastního zahájení evakuace.

### **Proces během pohybu**

činnost, umožňující uživatelům budovy po zahájení evakuace dosáhnout případného bezpečného místa (např. volného prostranství).

### **Matematické modelování**

napodobování reálného děje nebo jeho části; reálné vztahy a závislosti se na základě pozorování transformují do matematických vztahů a algoritmů.

### **Počítačová simulace**

numerická metoda spočívající v pokusu o vymodelování reálného děje nebo jeho části pomocí počítačového modelu tak, aby bylo možné studovat tento systém a vysledovat jak funguje. Počítačová simulace může sestávat z několika submodelů.

### **Mikroskopická simulace chodců**

modelování evakuačního procesu chodců ve stavebním objektu, přičemž se zohledňují nejen prostorové uspořádání a geometrie objektu, ale i charakteristika chodců (jejich fyzické a psychologické aspekty)

### **Fyzické aspekty**

faktory fyzického stavu chodců, mající vliv na průběh evakuace – věk, pohlaví, fyzická kondice, schopnost samostatného pohybu aj.

### **Psychické aspekty**

faktory psychologického stavu chodců, mající vliv na průběh evakuace – strach, panika, sociální vazby, skupinového chování aj.

### **Kongesce**

kumulace chodců při pohybu zúženým komunikačním úsekem stavebního objektu (např. před dveřním otvorem).

### **Předpokládaná doba evakuace**

doba nezbytná pro evakuaci všech osob z části nebo celého objektu; stanovuje se samostatně pro každou nechráněnou nebo chráněnou únikovou cestu.

### **Mezní doba evakuace**

nejdelší možná doba evakuace osob z části nebo celého objektu; stanovuje se samostatně pro každou nechráněnou nebo chráněnou únikovou cestu.

Níže uvedené definice vycházejí ze směrnice RIMEA (viz [2]):

**Detekční doba** – doba, která uběhne od počátku spouštěcí události (např. požár) do její detekce

**Doba aktivace alarmu** – doba, která uběhne od detekce spouštěcí události do spuštění signálů alarmu (resp. evakuačních signálů)

**Individuální reakční doba** – doba mezi spuštěním alarmu a počátkem evakuace konkrétní osoby. Zahrnuje rozpoznání signálů (informací), poskytnutí a přijetí instrukcí a provedení všech ostatních činností před počátkem vlastní evakuace

**Individuální doba přemístění** – doba, kterou potřebuje osoba k přemístění se z výchozí pozice do bezpečné oblasti (shromažďovací prostor, jiný požární oddíl, východ apod.).

**Individuální evakuační doba** – je součtem obecné detekční doby a doby aktivace alarmu a individuální reakční doby a doby přemístění

**Celková evakuační doba** – maximum z individuálních evakuačních dob

**Minimální/Maximální celková evakuační čas** – minimum/maximum ze sady celkových evakuačních dob

**Průměrná celková evakuační doba** – aritmetický průměr ze sady celkových evakuačních dob

**Signifikantní celková evakuační doba** – celková evakuační doba, která je vyšší nebo rovná 95 % dob ze sady celkových evakuačních dob

## 2 VAZBA NA LEGISLATIVNÍ A TECHNICKÉ PŘEDPISY A NORMY

Tato příručka nenahrazuje technickou normu nebo technické podmínky. Lze ji chápat jako jejich doplnění a rozšíření, a to zejména v případech, které jsou mimořádně vhodné pro aplikaci mikroskopických simulací pěších, tj. v případech, kdy simulace získává ve srovnání s běžnými metodami posouzení komparativní výhodu, nebo je přímo jedinou možností pro stanovení hodnověrného výsledku.

Posouzení evakuace a prokázání její bezpečnosti především za mimořádné události jakou je např. požár nebo teroristický útok, je jednou ze stěžejních úloh při prokazování požární bezpečnosti staveb. **Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011** v současné době stanovuje základní požadavky na stavby v příloze I, mezi něž řadí - kromě dalších - i požární bezpečnost. Tyto požadavky na stavby jsou pak podrobně rozpracovány v tzv. „interpretačních dokumentech“ (ID), z nichž v **Interpretačním dokumentu č. 2 (Požární bezpečnost)** jsou specifikovány požadavky na takové provedení stavby, aby v případě požáru mohli jeho uživatelé stavbu opustit nebo aby mohli být zachráněni jinými prostředky. Česká republika je zavázána přejímat evropské právní a technické normy, zásady požární bezpečnosti včetně požadavků na bezpečnou evakuaci osob jsou proto transformovány do českých právních předpisů, především do zákonů stavebního a zákona o požární ochraně a jejich prováděcích předpisů – vyhlášek a nařízení vlády. Požadavky předpisů EU, zákonů ČR a jejich prováděcích předpisů jsou závazné.

Prokázání bezpečné evakuace osob je jedním z cílových požadavků na požární bezpečnost stavby. Průkaz jejího splnění je možno provést konzervativně normovým postupem s použitím kodexu ČSN 73 08xx, popř. dalších ČSN, anebo od roku 2006 novodobým přístupem odlišným od normového - nazývaným **požárním inženýrstvím**. Legalizace a podmínky použití inženýrského přístupu jsou upraveny § 99 zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů. Inženýrský přístup je možno aplikovat na všechny cílové požadavky požární bezpečnosti stavby, anebo pouze na dílčí dominantní problém, např. evakuaci osob se zohledněním variantně řešených požárních scénářů, zadávání okrajových podmínek a sledování vybraných parametrů.

Předložená příručka je rovněž nástrojem k naplnění jednoho z hlavních cílů současné **Koncepce požární prevence v ČR do roku 2016**, zpracované Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru ČR, která počítá se zavedením systému pro posuzování projektů řešených požárním inženýrstvím.

## 3 TEORIE MODELOVÁNÍ POHYBU OSOB

### 3.1 CO JE SIMULACE

Modelování obecně je napodobování reálného děje nebo jeho části. Jde o selektivní aproximaci, tj. výběrové přiblížení realitě. Vybírají se pouze podstatné vlivy a ty podružné se zanedbávají. Reálné vztahy a závislosti se na základě pozorování transformují do matematických vztahů a algoritmů, které vytvářejí sofistikovaný matematický model.

Simulace obecně představuje proces napodobování reálného děje, přičemž se jedná o simplifikovanou aproximaci. Simulační model se může sestávat z několika submodelů, z nichž se každý stará o specifickou úlohu v procesu simulace reálného děje.

Mikrosimulaci lze také popsat jako dynamické a stochastické modelování individuálních pohybů v dopravním prostoru (v prostoru vymezeném pro pohyb). Každý jedinec je přemísťován v prostoru v malých časových krocích (< 1 s) v souladu s jeho fyzickými vlastnostmi (výška, šířka, rychlost pohybu), základními pravidly pohybu (vztah mezi rychlostí, dráhou, zrychlením apod.) a pravidly chování v interakci s jinými chodci, překážkami nebo vozidly.

### 3.2 POHYB A INTERAKCE

#### 3.2.1 Panický – nepanický pohyb

Většina softwarových nástrojů pro simulaci pěších předpokládá nepanické chování, tj. racionální a předvídatelné chování respektující fyzickou integritu jednotlivých osob. Takové chování lze očekávat při v situacích řízené nebo preventivní evakuace bez pocitu bezprostředního (okamžitého) ohrožení života evakuovaných osob. Typickým příkladem nepanického pohybu je také běžný pohyb lidí v terminálech, halách či v ulicích bez přítomnosti mimořádné situace.

Simulace panického chování je mnohem složitějším úkolem, zejména z důvodu dominance pudových a emočních složek rozhodování lidí. Více o panice jako takové pojednává kap. 5.2.

#### 3.2.2 Horizontální – vertikální pohyb

V simulacích pohybu pěších je často potřeba implementovat konstrukce a zařízení pro vertikální pohyb:

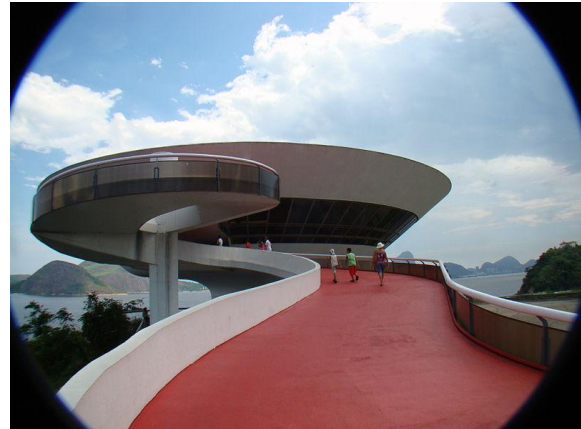
- Schody – umožňují překonání výškového rozdílu mezi patry nebo obecně mezi dvěma rozdílnými výškovými úrovněmi.



Jejich role je důležitá zejména při evakuaci. Simulace by měla zohledňovat rozdílnou rychlost pohybu pěších na schodišti a mimo něho pro různé kategorie pěších (např. věkové skupiny) a také rozdílné rychlosti při pohybu směrem nahoru a dolů.

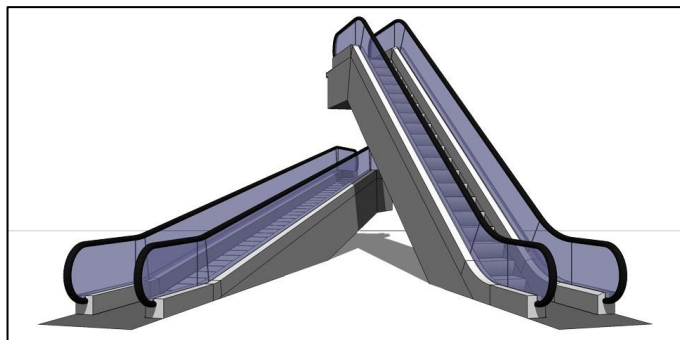
(foto: metroq)

- Rampy – podobně jako u schodišť by simulace měla zohledňovat rozdílné rychlosti pěších v závislosti na podélném sklonu rampy, kategorii (věku, pohlaví, omezení...) pěších a směru pohybu (nahoru, dolů). Kromě ramp jako takových je v mnoha případech potřebné také nastavení podélného sklonu (běžně ve sklonech  $> 2\%$ ) na komunikacích pro pěší (chodnicích, lávkách...)



(obrázek: wikimedia commons)

- Eskalátory a travelátory – umožňují přemístění chodce bez vynaložení vlastní energie. V reálném provozu část lidí stojí a nechá se vézt a část lidí se navíc přesouvá i vlastní silou. I tyto jevy některé simulační softwary (např. VISSIM) umožňují simulovat, analyzovat a vizualizovat.



(obrázek: revit)

- Výtahy – jejich simulace se neprovádí v evakuačních studiích, resp. při simulaci mimořádných událostí, kdy je jejich používání vyloučeno resp. zakázáno. Jejich simulace je ale smysluplná při simulacích běžného provozu, např. při optimalizacích pohybu pěších v administrativních budovách, nákupních střediscích apod.



(obrázek: mavenautomation)

Obrázek 1 – Ukázka horizontálního a vertikálního pohybu v simulaci (zdroj: PTV)

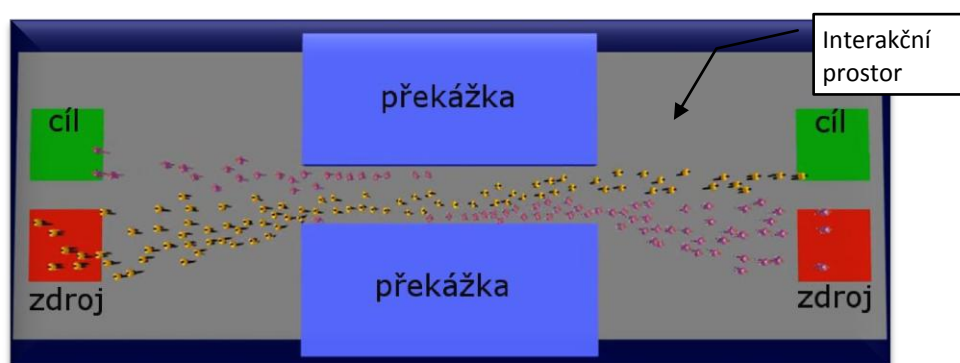


### 3.2.3 Liniový – prostorový pohyb

Obecně lze užívané přístupy k simulaci dopravního proudu pěších rozdělit na:

- Liniové vedení chodců  
Zpravidla bez vzájemné interakce chodec – chodec, ale s funkční interakcí vozidlo – chodec. Tento způsob lze využít pro simulaci jednoduchých přechodů pro chodce a ve všech případech, kdy vzájemná interakce mezi chodci je podružná.
- Definice ploch (prostoru) pro pohyb – interakčního prostoru se vzájemnou interakcí chodců (např. Helbingův model sociálních sil)  
Tento způsob simulace chodců definuje interakční prostor, ve kterém se chodci pohybují dle modelových algoritmů. Díky funkční interakci mezi chodci navzájem lze sledovat pohyb davu, vliv překážek, vzájemné křížování, evakuační procesy apod.

Obrázek 2 – Interakce chodců v plochách pro chodce (neliniové vedení chodců)



„Příjezdový“ model chodců neboli způsob, jakým chodci vstupují do modelové sítě lze rozdělit do dvou přístupů:

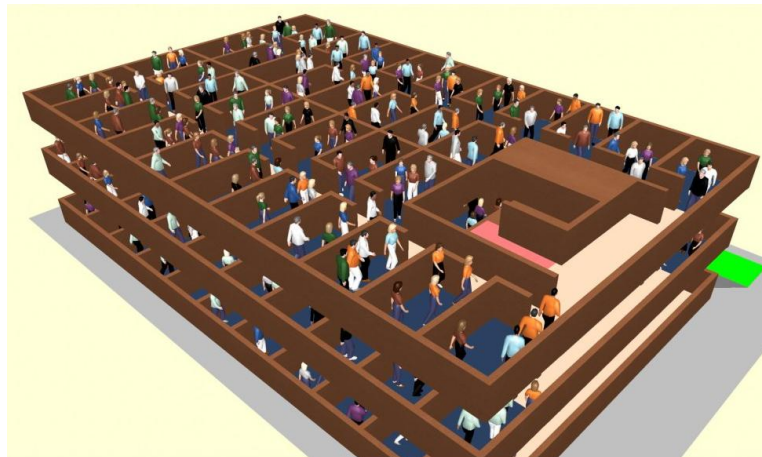
- Definice hodinové intenzity dle implicitního příjezdového modelu (stejně jako u vozidel). Časové rozdělení vstupu chodců do modelu tak řídí algoritmus implementovaný v softwaru.
- Dávkování reflektující reálné jevy  
Jde o případy, kdy dochází k nějakému druhu dávkování pěších, jako např. výstup skupiny pěších z vozidla a jejich následná chůze přes přechod pro chodce. Takových koncentrovaných „dávek“ může být v průběhu simulace několik nebo několik desítek/stovek. Jejich vliv na dopravní proud je pak jiný, než v případě náhodného rozdělení v průběhu simulovaného času.

### 3.2.4 Interakce s ostatními účastníky dopravního provozu

- Izolované modely nebo modely pouze s jedním dopravním módem

Evakuační simulační modely běžně pracují pouze s chodci, tedy jedním dopravním módem – chůzí, bez interakce s vozidly či jinými účastníky dopravního provozu. V takovém případě lze mluvit o izolovaném modelu nebo mono-modálním simulačním modelu.

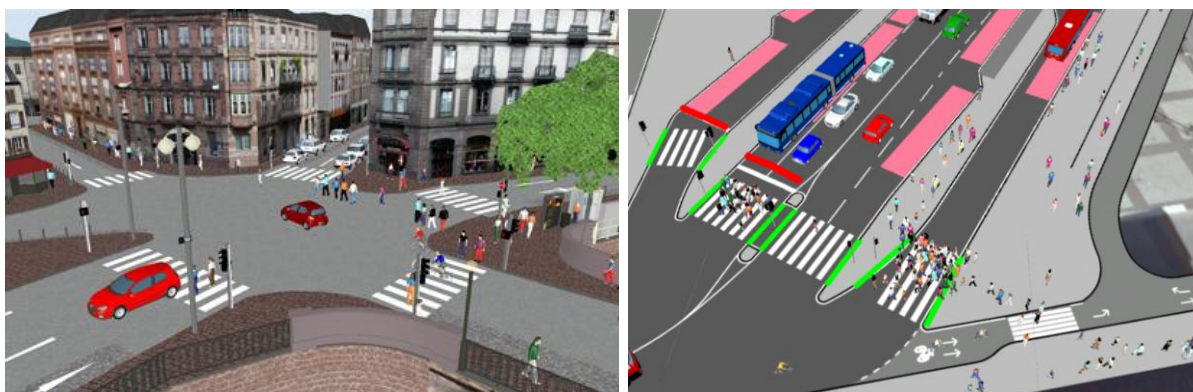
*Obrázek 3 – Ukázka izolovaného modelu – simulace evakuace budovy (zdroj: PTV, AF-CITYPLAN)*



- Komplexní multimodální modely

Simulační studie mohou zahrnovat kromě pěších také jiné účastníky dopravního provozu – cyklisty, osobní a nákladní vozidla, vozidla hromadné dopravy, kolejové vozidla a další. V takových případech lze mluvit o komplexních multimodálních simulačních modelech. Použitý software musí umožňovat kromě vzájemné interakce pěších také interakci s jinými účastníky či vozidly a jejich vzájemnou interakci (jako např. software VISSIM).

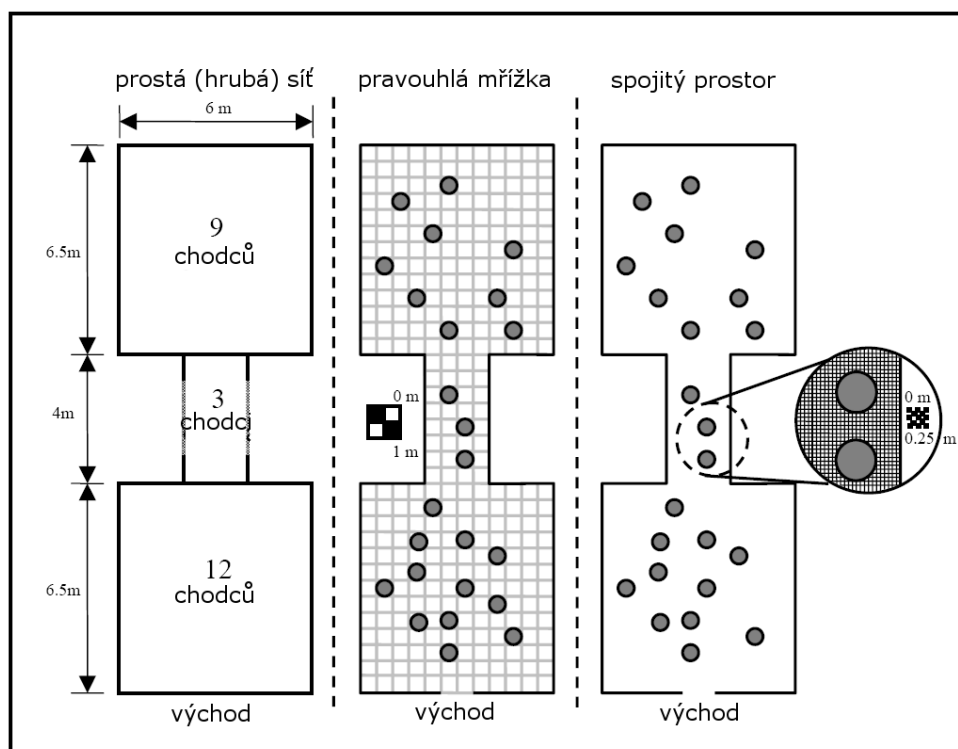
Obrázek 4 – Ukázky interakce s jinými účastníky dopravního provozu v simulaci – multimodální model (zdroj: vlevo: PTV, vpravo: AF-CITYPLAN)



### 3.3 ZNÁZORNĚNÍ UZAVŘENÉHO PROSTORU

Uzavřený prostor může být znázorněn různými způsoby, od nejjednodušších po složitější. Nejjednodušším způsobem je **prostá (hrubá) síť** (Obrázek 5).

Obrázek 5 – 3 typy rozlišení (podrobnosti) modelu (zdroj: [3])



V tomto typu modelu je prostor rozdělen do několika částí, např. místnost, chodba, schodiště. Osoby jsou charakterizováni především svojí rychlostí. Většina modelů hrubých sítí předpokládá osoby jako jednotnou masu, která se pohybuje mezi jednotlivými sektory uzavřeného prostoru a u které se neuvažuje s individuálním chováním. Sofistikovanější modely hrubých sítí uvažují s teorií front za účelem zjištění, které proudy osob mají přednost v úzkých hrdlech.



Modely prostých (hrubých) sítí jsou výhodné na redukci některých částí výpočtu např. doby cesty z počátečního místa k východu z budovy. Dále jsou vhodné na výpočet první aproximace maximální a minimální doby evakuace celé budovy.

Druhým typem znázornění uzavřeného prostoru je **pravoúhlá mřížka**. Hrubost této sítě bývá zpravidla 0,4 až 0,5 m, tedy plocha, kterou zabírá dospělá osoba. Tento typ znázornění je sice síťový, ale umožňuje mnohem podrobnější zobrazení vnitřního uspořádání prostoru a zobrazení každého jednotlivce včetně jeho vlastního pohybu a chování. Každá osoba má možnost znalosti prostředí a svůj pohyb přizpůsobuje této znalosti. V důsledku toho může daný typ znázornění mnohem lépe simulovat evakuaci a zobrazovat ji ve dvou- až tří- rozměrných vizualizacích.

Posledním typem zobrazení prostoru je **spojitý prostor**. Aplikace, které simulují pohyb osob ve spojitém prostoru, obsahují všechny funkce pravoúhlého mřížkového modelu uvedeného výše. Také rozdělují prostor do sítě, ale s mnohem jemnějším dělením až na milimetry. Lze tedy lépe vymodelovat vnitřní prostor (sloupy, nábytek, vstupní turnikety, atd.) a lépe modelovat pohyb osob v tomto prostoru. Nevýhodou tohoto podrobného zobrazení je vysoká náročnost na výpočtovou kapacitu. Proto doposud jen málo modelů používá spojitý prostor jako typ znázornění. Tyto modely by byly zvláště náročné pro velký počet typů chování a rozhodování jednotlivců, proto mají modely se spojitým prostorem většinou omezené škály typů chování jednotlivců.

### 3.4 PŘÍSTUP UŽIVATELE MODELU

Na evakuované osoby lze pohlížet z globální nebo individuální roviny. Pokud model pracuje s osobami na individuální úrovni (ve znázornění prostoru jako pravoúhlé mřížky nebo spojitého prostoru), může být charakteristika každého jednotlivce nebo skupiny určena uživatelem modelu. Tato charakteristika určuje pohyb a chování každé osoby v modelu. V současné době je chování jednotlivců ve většině modelů nezávislé na ostatních jednotlivcích (osoby mezi sebou nekomunikují, nepředávají si informace), s výjimkou vlivu hustoty davu a vyhýbání se jednotlivých osob.

Naopak, pokud je na evakuované osoby nahlíženo z globálního hlediska jako na jednotnou masu lidí, obvykle ve znázornění prostoru dle prosté (hrubé) sítě, je základním výstupem počet osob, které mohou z daného prostoru odejít za určitý čas. Neschopnost zahrnout další podmínky, jako jednotlivé charakteristiky osob, jejich reakci na evakuační signály a interakci mezi nimi, omezuje přesnost simulace chování osob během evakuace. Na druhou stranu, pokud uživatel modelu nemá informace o evakuovaných osobách, může být globální přístup výhodný.

Stejně tak může uživatel aplikovat globální nebo individuální pohled na simulovaný uzavřený prostor. Z globálního pohledu budou mít evakuované osoby neomezený přístup k informacím o prostorovém uspořádání budovy, takže budou znát optimální únikovou cestu. Při individuálním pohledu může zpracovatel rozlišovat mezi evakuovanými osobami s rozdílnými informacemi o rozložení únikových cest, chodeb, schodišť atd. Ti zase budou sledovat svoji cestu (ať už vzhledem ke znalosti prostředí nebo na základě ukazatelů v budově), ale nebudou schopni odhadnout potenciální kongesci dále během své cesty a

budou se držet plánované trasy až ke konkrétnímu místu kongesce. Zjednodušeně řečeno, při globálním přístupu zpracovatele je model založený na zdůvodněném výběru, při individuálním přístupu na omezené racionalitě.

### 3.5 RYCHLOST POHYBU JEDINCE

#### 3.5.1 Rovnice toku/hydraulická rovnice

Rovnice proudu nebo hydraulická rovnice je fundamentální rovnicí využívanou pro výpočet simulovaného pohybu chodců<sup>1</sup>. Je sestavena ze tří členů: rychlost, která je vyjádřena v metrech za sekundu, hustota, která je vyjádřena v osobách na metr čtverečný a intenzita, která je vyjádřena v osobách, které projdou cestou pro pěší dané šířky za jednotku času. Její obecná forma tedy je:

$$\text{Intenzita [os/m/s]} = \text{rychlost [m/s]} \times \text{hustota [os/m}^2\text{]}$$

Alternativně lze hustotu vyjádřit inverzně, tj. metrech čtverečných na 1 osobu. Pak má rovnice tvar:

$$\text{Intenzita [os/m/s]} = \frac{\text{rychlost [m/s]}}{\text{hustota [m}^2\text{/os]}}$$

Existují i odvozené tvary rovnice, které slouží ke stanovení intenzity v různém prostředí (schodiště dolů či nahoru apod.) a pro různé charakteristiky chodců. Existují různé aplikace, které k fundamentální rovnici přidávají koeficienty a specifické konstantní hodnoty. Zmínit lze např.:

- FPETool (Deal, 1995),
- EXIT89 (Fahy, 1994),
- EXITT (Levin, 1987).

#### 3.5.2 Data rychlosti pohybu pěších

Rychlost chůze je funkcí lokální hustoty dopravního proudu. Obecně, s růstem hustoty klesá rychlost chůze chodce až po kritickou hodnotu, kdy se pohyb stává omezeným. Často se nesprávně uvádí, že pohyb se zastaví po dosažení kritické hodnoty. Studie však prokázaly, že tato interpretace není správná.<sup>2</sup> Například Helbing<sup>3</sup> vyhodnocoval videozáznamy chodců před vstupem na most Jamarat v Saudské Arábii v průběhu poutě do Mekky. Hustota chodců dosahovala extrémních hodnot i více než 10 osob na čtvereční metr, což odpovídá 0,1 m<sup>2</sup> na osobu. Autoři zaznamenali třinásobný pokles průtoku při překročení hustoty proudu 6 osob/m<sup>2</sup>, průměrná lokální rychlost však již zůstala konečná. Ve skutečnosti zde nebyla taková úroveň hustoty, při které by se lidé v davu zcela přestali hýbat. Rychlost pohybu pěších je proměnlivá (rozdílná) při nízkých hodnotách hustoty proudu. V realitě při nízké hustotě proudu jsou hlavními faktory ovlivňujícími

<sup>1</sup> Fruin (1971)

<sup>2</sup> Guidelines for Assessing Pedestrian Evacuation Software Application [working papers series], UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, ISSN 1467-1298

<sup>3</sup> Citováno podle Guidelines for Assessing Pedestrian Evacuation Software Application [working papers series], UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, ISSN 1467-1298

rychlost pěších charakteristiky jednotlivých chodců jako věk, mobilita nebo sociální vztahy. Např. rodina se bude pohybovat nejspíš rychlostí jejího nejpomalejšího člena. Rychlost chodce je ovlivňována také vlastnostmi prostředí. Hlavními zdroji informací o rychlostech pěších jsou podle [1] Hankin a Wright (1958), Fruin (1971), Predtechenskii a Milinskii (1978), Ando a kol. (1988), Pauls (1995), Nelson a Mowrer (2002).

### **3.6 SMĚR POHYBU JEDINCE**

Současná teorie modelování pěších nám nabízí několik možných přístupů:

#### **3.6.1 Funkcionálně-analogický přístup**

Tento postup využívá rovnici nebo set rovnic k determinaci pohybu založeného na funkci (např. magnetismus, rojení, dynamika kapalin), často adaptované na principu analogie z jiných vědních oborů.

#### **3.6.2 Modely dynamiky kapalin a plynů**

Tyto modely byly nejprve aplikovány k modelování dopravního proudu vozidel. Podle Castleho, pravděpodobně jako první využil Navier-Stokesovy rovnice a rovnice z Maxwell-Boltzmannovy teorie homogenních plynů k popisu pěších proudů Henderson. K realistické simulaci pohybu pěších je však nutno do modelu implementovat faktory lidského rozhodování a interakce. Helbing proto rozšířil Hendersonův přístup dynamiky kapalin právě k umožnění zohlednění těchto faktorů.

#### **3.6.3 Model sociálních sil**

Jelikož Helbing se nespokojil ani s rozšířením Hendersenova přístupu, navrhnul vlastní model sociálních sil. Využita byla teorie, která předpokládá, že pohyb pěších může být popsán tak, že chodci jsou subjektem sociálních polí nebo sil (Lewin, 1952). Helbingův tým pak tuto teorii rozvinul a vyvinul model, ve kterém je pohyb pěších založen na smyslových podnětech, podmíněný volbou směřování z množiny možností s cílem maximalizace užítku.

#### **3.6.4 Magnetický model**

Současně s předchozím modelem sociálních sil byl publikován i model magnetický (Okazaki, Matsushita, 1993) jako funkcionální analogie pohybu a chování chodců. Každý chodec a překážka (stěny, pilíře...) jsou v modelu pozitivně nabití, přičemž východ z budovy je nabitý negativně. Tím jsou chodci odpuzováni jeden od druhého a od překážek, ale jsou přitahováni směrem k východu z budovy. Pohyb chodců však nemůže být řízen čistě magnetickou silou, proto jsou do modelu implementovány i další vlivy.

### **3.7 BEHAVIORÁLNÍ PERSPEKTIVA SIMULOVANÝCH OSOB**

Reprezentace rozhodování osob se mezi jednotlivými aplikacemi liší, využívá se několik různých přístupů. Obecně možno přístupy k simulaci chování osob rozdělit do těchto kategorií:

### 1. Žádné chování

Aplikace tohoto typu se nesnaží simulovat chování při reakci chodců na podnět; zcela spoléhají v jejich přístupu na simulaci pohybu chodce v zájmu simulace evakuačního potenciálu dané struktury (budovy).

### 2. Implicitní chování

Některé aplikace nespécifikují chování chodců explicitně, ale implicitně pomocí pravidel a rovnic, které determinují pohyb chodce.

### 3. Chování založené na pravidlech

Tento typ aplikace explicitně zohledňuje rysy chování jednotlivých osob ve snaze o simulaci rozhodování osob podle předdefinovaných pravidel či reakcí. Rozhodování osoby při evakuaci může být rozděleno na před-evakuaci (např. délka času potřebného na přijetí nebo ověření a následnou reakci na evakuační povel) a evakuaci (např. vliv kongesce, kouře, předchozí znalosti budovy apod. na výběr trasy a rychlost chůze). Chodci s odlišnými vlastnostmi (např. věk, pohlaví, trpělivost/agresivita, mobilita atd.), mohou být simulováni v reakci na podnět různými způsoby. Jsou tři metody specifikace reakce chodce na rozhodnutí:

- Deterministicky: pravidla vyvolají stejné rozhodnutí, když dochází ke konfrontaci se stejnými podněty. Tato metoda má nevýhodu v nemožnosti přirozeného kolísání ve výsledcích prostřednictvím opakování;
- Stochasticky: Rozhodnutí jsou přijímána stochasticky na základě charakteristik chodců;
- Kombinovaně deterministicky a stochasticky: některé aplikace používají kombinaci stochastických a deterministických reakcí.

### 4. Umělá inteligence

V nedávné době byla v některých aplikacích implementována umělá inteligence za účelem simulace lidského chování nebo ve snaze přiblížit se lidskému chování v průběhu evakuace. Do dnešního dne byl tento přístup využitý pouze v několika aplikacích, podrobnosti o metodice jsou vzácné.

Pro aplikace, ve kterých je chování chodců explicitně simulováno (body 3 a 4) je důležité, aby uživatel rozuměl procesu rozhodování a efektům behaviorálních charakteristik v procesu rozhodování jako i důkazům, na nichž jsou užívaná pravidla založena. Pravidla a jejich váhy ovlivní reakci chodců a rychlost a směr, ve kterém se chodci pohybují. Obojí může mít signifikantní efekt na celkový evakuační čas.<sup>4</sup>

Při aplikacích, které chování chodců nesimulují explicitně (body 1 a 2), je velmi důležitá znalost přístupu k pohybu chodců a pravidel či rovnic, které pohyb určují.

---

<sup>4</sup> Guidelines for Assessing Pedestrian Evacuation Software Application [working papers series], UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, ISSN 1467-1298

## 4 VÝBĚR SIMULAČNÍHO NÁSTROJE

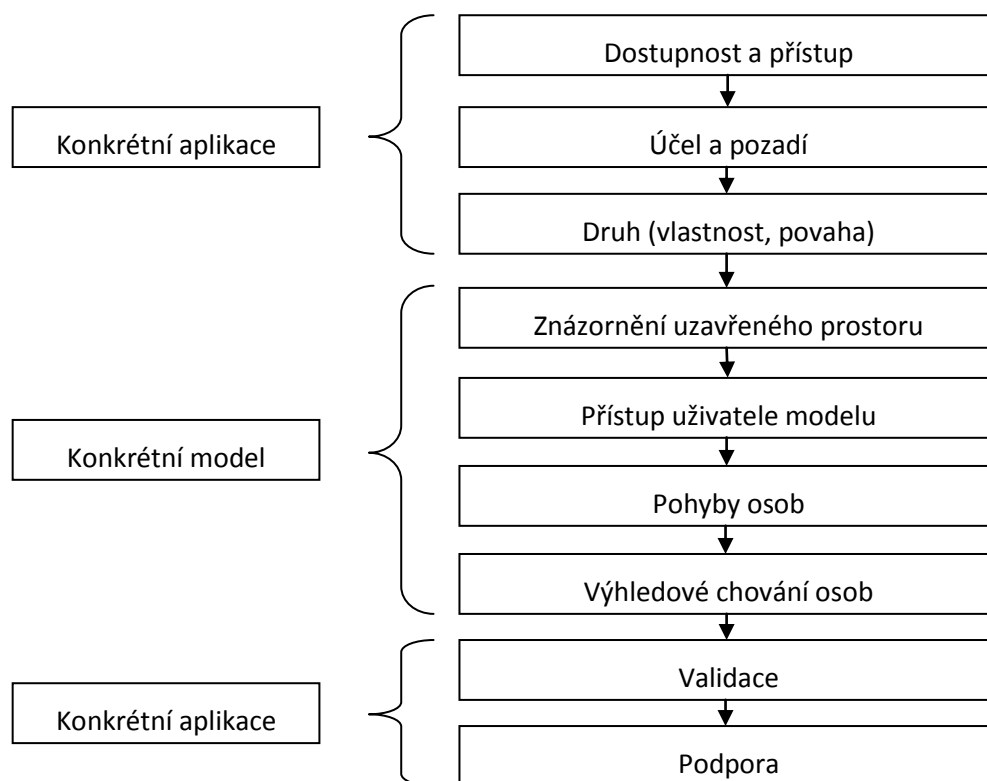
Níže uvedený postup vychází ze Směrnice pro posuzování softwarových aplikací pro evakuaci osob.

Aplikace pro evakuaci osob v sobě zahrnují různé modely simulace evakuace. Například různé definice uzavřeného prostoru (kontinuální nebo diskrétní), definice skupiny osob (homogenní nebo skupina unikátních jedinců), pohyb a chování jedinců (deterministické, pravděpodobnostní, nebo kombinace obou), atd. Navíc většina aplikací odráží i účel, pro který byly vytvořeny, zaměření vývojáře (inženýr, psycholog, architekt) a stav vývoje počítačové techniky. Existuje celá řada aplikací vyvinutých přímo pro evakuaci osob z budov.

S cílem pomoci potencionálním uživatelům v rozhodovacím procesu při výběru aplikace pro evakuaci osob publikovali Nelson a Mowrer několik otázek, které by měl budoucí uživatel zvážit. Kuligowski a Gwynne tyto otázky ještě doplnili a uvedli stručný výklad důležitosti těchto otázek. Otázky spadají do devíti hlavních tematických oblastí, které můžeme rozdělit na dva typy:

- 1) otázky, jejichž cílem je pochopit simulační model v dané aplikaci,
- 2) otázky týkající se obecných rysů a funkcí aplikace.

Obrázek 6 - Tematické oblasti pro výběr vhodné aplikace



Pořadí, ve kterém jsou jednotlivá témata uvedena, určuje pořadí, ve kterém by měla být uživatelem zvažována. Dodržením uvedeného pořadí je možné snížit nadbytečné úsilí při volbě správné aplikace.

## 4.1 ÚČEL A POZADÍ APLIKACE

Při výběru vhodné aplikace je třeba zjistit, zda daná aplikace vyhovuje zadaným kritériím. Některé aplikace na simulaci evakuace osob z budov mohou být specializované pro konkrétní typy budov (např. věžáky, rodinné domy, atd.) a nejsou vhodné pro ostatní typy. Toto kritérium může být těžké posoudit, zvláště pokud se aplikace vyvíjela v čase.

V neposlední řadě je vhodné zjistit původ a pozadí aplikace. Aplikace může být vytvořená jednotlivcem - programátorem, nebo týmem specialistů v různých oborech (programování, psychologie, matematika, technika). Zkušenost vývojářů má nemalý vliv na schopnost aplikace postihnout většinu různých aspektů evakuace. I když může být zjišťování původu aplikace náročné, v každém případě se vyplatí komunikace se stávajícími vývojáři.

## 4.2 DRUH APLIKACE

Nejdříve je vhodné si ujasnit obecný druh aplikace. Zjednodušeně lze rozdělit na dva druhy. První simuluje pouze pohyb osob, druhý typ se snaží určitým způsobem zahrnout do simulace i jejich chování a z něj vycházející pohyb. První typ uvažuje jako základní parametry rychlost a hustotu osob a předpokládá jednotné reakce v jejich chování (např. okamžitá změna pohybu při vyhlášení evakuace, nulová interakce). Druhý typ předpokládá, že každý jednotlivec je simulován se specifickým chováním, a to jak rychlostí chůze, tak reakční dobou na vnější podněty, možnosti samostatného výběru evakuační cesty a s tím související znalost, resp. neznalost evakuované budovy, potřebou kontaktovat další osoby v evakuovaném prostoru atd.

Zatímco každá aplikace obsahuje pohyb osob, mírou sofistikovanosti jejich chování se jednotlivé aplikace výrazně odlišují. Samozřejmě je možné uvažovat s modelem, který částečně simuluje chování a implementovat ho do jednoduchého modelu pohybu osob.

## 4.3 SEZNAM SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ

Seznam softwarových nástrojů podle evacmod.net:

### Evakuační modely:

- |  |  |
|--|--|
| 1. <a href="#">AENEAS</a>  | 11. EARM   |
| 2. <a href="#">ALLSAFE</a>   | 12. <a href="#">EESCAPE</a>                        |
| 3. <a href="#">ASERI</a>   | 13. <a href="#">EGRESS</a>                         |
| 4. BFires V1 / BFires-II   | 14. Egress Complexity Model                        |
| 5. BGRAF   | 15. EgressPro                                      |
| 6. BuildGEM  | 16. ENTROPY  |
| 7. <a href="#">BUMMPEE</a>   | 17. <a href="#">EPT (Evacuation Planning Tool)</a> |
| 8. <a href="#">Cube Avenue</a>                                       | 18. <a href="#">E-Scape</a>                        |
| 9. <a href="#">CRISP</a>   | 19. <a href="#">ESM</a>                            |
| 10. <a href="#">DBES (Distributed Building Evacuation Simulator)</a> | 20. <a href="#">EVACNET4 / EVACNET+</a>            |
|  | 21. <a href="#">EVACSIM</a>                        |

22. [EvacuationNZ](#)
23. [Evi](#)
24. [EXIT89](#)
25. [EXITT](#)
26. [Exodus](#)
27. [F.A.S.T](#)
28. [FDS+Evac](#)
29. [FIRECAM](#)
30. [Firescap](#)
31. [FlowTech](#)
32. [FPETool](#)
33. [GridFlow](#)
34. [Helios](#)
35. [Legion](#)
36. [MA&D \(Micro Analysis & Design\)](#)
37. [Magnetic Model](#)
38. [MASCAM](#)
39. [MASSEgress](#)
40. [MASSIVE Software](#)
41. [MASSMotion](#)
42. [Myriad II](#)
43. [Nomad](#)
44. [PathFinder](#)
45. [PEDFLOW](#)
46. [Pedestrian Dynamics](#)
47. [PedGo](#)
48. [PedRoute / Paxport](#)
49. [PedSim](#)
50. [S-Cape](#) (external PDF)
51. [SGEM](#)
52. [SimPed](#)
53. [Simulex](#)
54. [SimWalk](#)
55. [SMART Move](#)
56. [SpaceSensor](#)
57. [STEPS](#)
58. Takahashi's Fluid Model
59. TIMTEX
60. [TSEA: Transient Simplified Egress Analysis](#)
61. [UAF \(Urban Analytical Framework\)](#)
62. [VISSIM](#)
63. [WayOut](#)
64. [ZET](#)

### **Modely pro vertikální pohyb (výtahy)**

1. [BTS \(Building Traffic Simulator\)](#)
2. [ELEVATE](#)
3. [ELVAC](#)

## 5 PSYCHOLOGICKÉ ASPEKTY EVAKUACE

Informace uvedené v kapitole jsou kromě vlastních zdrojů autorů také výběrem z referátu Psychologické aspekty přežití<sup>5</sup> a veřejných informačních zdrojů.

Případy, kdy je nutná evakuace, jsou vyvolány mimořádnými událostmi. Podle zákona č. 239/2000 o integrovaném záchranném systému se rozumí mimořádnou událostí „škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy a také havárie, které ohrožují život, zdraví a majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.“ Z psychologického hlediska se jedná o takovou událost, která přesahuje běžnou lidskou zkušenost, je náhlá, nepředvídatelná a neovladatelná. Tedy hraniční situaci, kdy není zprvu jasné, je-li vůbec v možnostech člověka ji zvládnout.

### 5.1 DAV

Málokdy se v krizi vyskytuje izolovaný jedinec, častěji se jedná o podmínky, kdy situace zasáhne celou skupinu. V takových situacích hromadné psychické zátěže podléhá jednotlivec ještě vlivu působení sociálního ovzduší skupiny. Každý člen skupiny přináší do situace svou svéráznou roli, přičemž sám jakoby své individuální charakteristiky ztrácí. V takovém společenství se prosazují psychologické mechanismy sugesce a nápodoby. Skupinové chování může nabývat povahy tzv. davu.

„Dav“ charakterizuje sociální psychologie jako specifický společenský útvar, seskupení lidí, mající silný emocionální náboj, které sdružuje společný objekt nebo činnost. K jeho vzniku dochází spontánně, náhle, nečekaně. Dav se stává sevřenou a jednotnou skupinou, která je schopna mimořádného hrdinství a obětavosti, nebo naopak bezohlednosti a brutality.

Podle psychologického slovníku<sup>6</sup> je dav náhodné nebo úmyslné dočasné shromáždění většího počtu osob ve stejném prostoru, které spojuje postoj k určitému problému, osobě či skupině. Dav není sociální skupinou v sociologickém smyslu slova, ale sociálním agregátem. Přítomnost v davu má vliv na chování jednotlivců (tzv. davové nebo též kolektivní chování), silně se zde projevuje princip nápodoby, dav je velmi sugestibilní a má sklon k hysterickému chování. Jednání jedinců je ovlivněno anonymitou a poklesem sociální a racionální kontroly.

### 5.2 PANIKA

Náhlé hromadné zděšení vyvolává úzkostné a impulzivní reakce – tzv. paniku. Je to projev vysoce aktivizovaného pudu sebezáchovy, vedoucí k okamžitému a chaotickému úniku z předpokládaného nebezpečí. Připomíná to reflex stádnosti, popisovaný u zvířat, kdy ohrožení existence vede ke zdánlivě

---

<sup>5</sup> MEZNÍKOVÁ, Marie. *Psychologie chování člověka za mimořádných situací*. HZS JČK České Budějovice, Konference „Červený kohout“ 2005

<sup>6</sup> GEIST, Bohumil. *Psychologický slovník*. Praha: Vodnář, 2000. ISBN 80-86226-07-7. s. 55



stejněsměrnému úniku z místa ohrožení. Ve skutečnosti však každý jedinec prchá na úkor druhých, sice se drží udaného směru, ale usiluje o vlastní přežití bez ohledu na ostatní příslušníky stáda. To je projev biologického zákona boje o život, zákona vítězství silnějšího. Pokud se v takové situaci najdou silní jedinci, kteří stav bezradnosti zvládnou, najdou aktivní obranu a reagují tudíž pro ostatní přijatelným způsobem, stávají se příkladem, který také skupina následuje a k panice nemusí dojít.

Panika je sociálně psychologický jev, který se dá charakterizovat spontánním, nekorigovaným chováním lidí, u kterých došlo k porušení duševní rovnováhy. Typickými příznaky paniky jsou:

- rychlé zmnožování iracionálních (č. rozumem nepochopitelných) složek ve strategii chování,
- umocňování emocionální složky rozhodování,
- nekoordinovanost interakčních, komunikačních a informačních vazeb,
- snížení rozumové kontroly chování,
- tendence k extrémním reakcím.

V simulačních softwarech pro pohyb pěších je běžně napodobňováno pouze chování ve stavu bez paniky, kdy zachovalá míra racionality chování umožňuje jeho dostatečně spolehlivé napodobení pomocí matematického aparátu. Nicméně existují práce a postupy simulující panické chování – v této oblasti doporučujeme např. práce Helbinga<sup>7</sup>, Farkase a Vicseka.<sup>8</sup>

### 5.3 ZVYKLOSTI A VLIVY PROSTŘEDÍ

Obecně mají chodci tendenci využívat nejkratší možné trasy a to i mimo vyznačené či zpevněné chodníky. V reálném prostředí však dochází k výběru trasy u pěších nejen na základě objektivních fyzikálních charakteristik (délka trasy, profil trasy), ale i na základě subjektivního hodnocení trasy v závislosti na atraktivitě resp. estetice okolního prostředí či okolních vizuálních vněmů, příp. z pohledu subjektivně vnímané bezpečnosti trasy. Dochází k tomu v případech, kdy je k výběru více tras a jejich průběh není přímo vidět.

Některé studie prokázali, že atraktivní trasa se jeví uživatelům kratší a „rychlejší“, než ve skutečnosti je, a naopak neatraktivní trasa se jeví delší či „pomalejší“, než ve skutečnosti je. Roli hrají také zvyklosti uživatelů, které nemusí být při hodnocení trasy nezávislou osobou resp. tvůrcem simulace zřejmé. Proto, jedná-li se o simulaci existující lokality nebo řešení z ní vycházející, je potřebné provést na místě pozorování a sběr dat o dopravních proudech pěších a místních vlivových faktorech.

---

<sup>7</sup> D. Helbing et.al, Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407, 487-490 (2000)

<sup>8</sup> Eötvös University, Budapest

## 6 SBĚR A PŘÍPRAVA DAT

Sběr experimentálních dat, která chceme využít při tvorbě modelu pohybu osob a jeho následné simulaci, je v současné době stále zejména časově velmi náročný úkol, jehož realizace není zdaleka tak samozřejmá, jako v případě sběru dat např. pro modely dopravy.

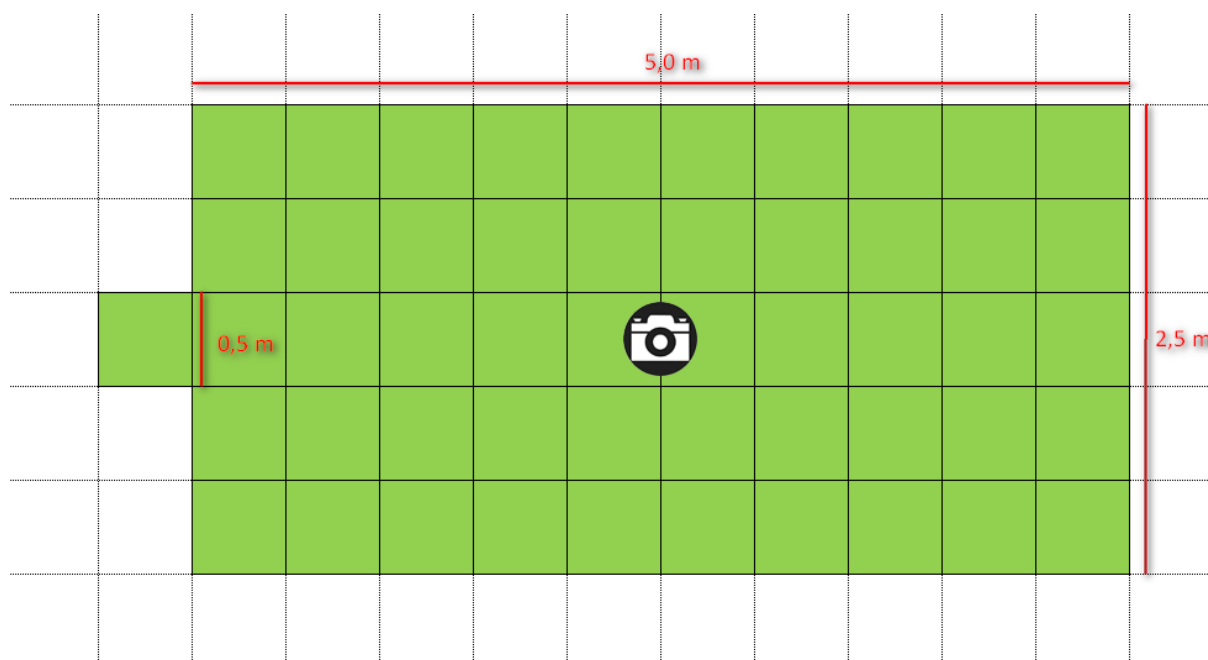
Primárním zájmem tvůrce modelu by mělo být použití takového simulačního nástroje, ke kterému již existují validační testy (např. RIMEA nebo Guidelines of International Maritime Organization 1238). Jestliže je přesto nezbytné získat experimentální data přímo z terénu, typicky v situaci, kdy legislativní prostředí předepisuje pro danou situaci nerealistické parametry pohybu osob, jsme odkázáni prakticky výhradně na komplikovanou metodu analýzy obrazu. Právě tímto způsobem je možné s dostatečnou přesností analyzovat dynamické charakteristiky jednotlivých osob způsobem, který se velmi blíží podobné a běžně prováděné analýze dopravního proudu na pozemních komunikacích. Jiné metody, např. pomocí GPS nebo bezdrátových technologií, jsou podstatě méně přesné a vhodné spíše pro sběr statistických dat.

V následující části je popsán příklad laboratorního experimentu, který slouží pro extrakci trajektorie pohybu osob v prostoru. Výsledky validace modelu na základě získaných dat již přesahují zaměření kapitoly, a proto nejsou podrobně popisovány.

### 6.1 KONFIGURACE EXPERIMENTU

Jako příklad sběru experimentálních dat lze použít virtuální místnost o rozměrech 2,5 m x 5,0 m s jedním symetricky umístěným únikovým východem o šířce 0,5 m. Uspořádání prostoru v celočíselných násobcích délky bývá vhodné zejména při plánované aplikaci výsledků v nástrojích, které používají diskrétní dělení prostoru. Rozměr 0,5 m bývá navíc v některých nástrojích považován jako elementární, dále nedělitelný, z hlediska osobního prostoru jednotlivce v evakuovaném prostoru. Můžeme sice předpokládat, že ve skutečně kritických situacích je hustota osob ještě vyšší, znamená to ovšem už téměř znehybnění davu – při vyšší hustotě je už pohyb osob výrazně omezen nebo zcela vyloučen a není možné studovat jeho dynamiku. Modelování takových situací, kdy hustota převyšuje 4 osoby na m<sup>2</sup>, navíc některé nástroje ani neumožňují.

Obrázek 7 – Uspořádání experimentu při pohledu seshora. Součástí experimentu je rovněž kamera umístěna v geometrickém středu evakuovaného prostoru u stropu.



## 6.2 VHODNÉ VYBAVENÍ

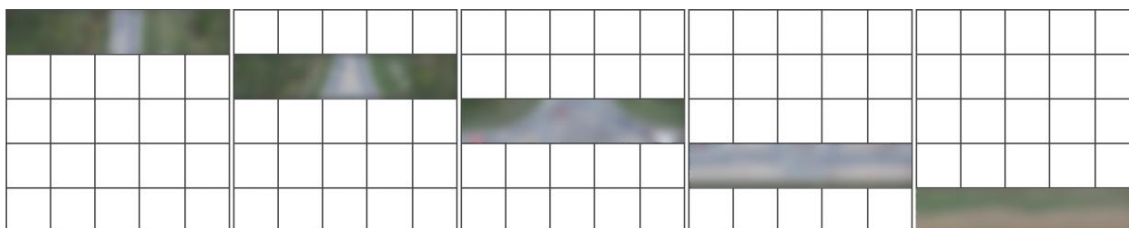
Klíčovým parametrem pro technologii automatického zpracování obrazového záznamu je nikoliv rozlišení snímače nebo jeho citlivost, nýbrž použitý princip „virtuální závěrky“. Zatímco u klasické digitální zrcadlovky je při pořizování jednotlivých fotografií závěrkou myšlena skutečná fyzická překážka před snímačem, která umožní světlu dopadat na detektor po pevně stanovenou dobu, u videozáznamu se jedná o závěrku čistě virtuální. Na snímač fotoaparátu nebo videokamery fyzicky dopadá světlo po celou dobu záznamu, nicméně jeho buňky jsou během každého snímku aktivní pouze v pevně stanovených intervalech, odpovídajících času závěrky. Pro lepší názornost můžeme provést jednoduchý orientační výpočet, kdy v případě klasické fotografie se závěrkou o rychlosti  $1/250$  s je u videozáznamu stejné scény s frekvencí 50 Hz snímač aktivní po 20 % celkového času. Teoreticky jsme tak u běžných kamer limitováni snímkovací frekvencí, protože je nutné poskytnout snímači stanovený čas k vytvoření jednoho snímku.

Pokud chceme na pořízených snímcích videozáznamu softwarově analyzovat pohybující se objekty, v našem případě vozidla, musíme se zabývat typem virtuální závěrky přístroje. V případě dnes rozšířenějšího snímače CMOS virtuální závěrka funguje způsobem, kdy jsou různé části snímače aktivní v různém okamžiku a expozice tak probíhá po jednotlivých řádcích, jak je vidět na obr. X. V případě snímače CCD je jeho celá plocha zcela neaktivní, nebo naopak snímá kompletní scénu.

Obrázek 8 – CCD senzor je po většinu času zcela neaktivní, obrazovou informaci vyčítá naráz pro celou plochu čipu.



Obrázek 9 – CMOS senzor vyčítá obrazovou informaci postupně po jednotlivých řádcích, může tak dojít k deformaci sledovaného objektu.



Snímače typu CMOS jsou dnes výrazně rozšířenější v širokém spektru produktů od mobilních telefonů po relativně nákladné kamery. Důvodem je efektivnější práce s obrazem, která klade nižší nároky na hardware kamery a umožňuje vyšší snímkovací frekvenci. Nese s sebou negativní efekty, které ovšem nemají na drtivou většinu jiných aplikací měřitelný dopad. Výraznou slabinou CMOS detektorů jsou situace, kdy chceme snímat objekty, které se napříč scénou pohybují tak rychle, že na dvou po sobě následujících načtených řádcích změní na obou řádcích polohu. Potom se bude tvar objektů, které vznikly složením řádkového záznamu informace na snímači, měnit. Tato skutečnost zůstane většinou pro běžné oko nepostřehnutelná, nicméně pro přesné softwarové zpracování hraje významnou roli a jedná se v současnosti o neodstranitelnou vadu.

Lze nicméně konstatovat, že pro snímkování pohybu osob v prostoru je deformace jejich obrazu způsobená funkcí CMOS čipu většinou zanedbatelná.

Jako příklad vhodného vybavení lze uvést současné mobilní kamery primárně pro sportovní užití, které umožňují záznam v HD rozlišení alespoň s frekvencí 30 snímků za sekundu. Výhodou kamery bývá vedle vysoké frekvence záznamu také volitelný úhel záběru a nízká hmotnost a malé rozměry, což dává možnost instalace na širokou škálu povrchů bez nutnosti složité konstrukce upevnění.

Obrázek 10 – Příklad vhodné kamery pro následnou analýzu obrazu, kterou lze umístit prakticky kamkoliv.



### 6.3 ZKRESLENÍ OBRAZU

Častým požadavkem, vyplývajícím z prosté geometrie uspořádání experimentu, je sférické zkreslení obrazu. Na obr. X je příklad sférického zkreslení, které je výsledkem úhlu záběru  $127^\circ$  z výšky 4 metrů nad povrchem. Takovou deformaci je nutné před nebo v průběhu extrakce trajektorie osob z obrazu softwarově opravit, případně aplikovat vhodný matematický postup pro přepočítání trajektorie.

Obrázek 11 – Příklad sférického zkreslení při záběru z výšky 4 metrů a úhlu záběru  $127^\circ$ .



### 6.4 ROZPOZNÁVÁNÍ POLOHY OBJEKTU

Velmi důležitou součástí automatické obrazové analýzy a extrakce trajektorie je potlačení pozadí pohybujících se osob, nebo naopak jejich jednotné barevné odlišení od samotného pozadí. Obecně platí, že barevné odlišení osob pomocí např. vhodně zvolené pokrývky hlavy, je v současné době výrazně jednodušší postup, který je dostupný širšímu spektru uživatelů.

Množina osob bývá označena pomocí barevného štítku, přičemž osoby jsou snímány do sekvence rozměrově totožných barevných pixmap. V každé pixmapě jsou nezávisle na ostatních vyhledány pixely, které splňují vybrané kritérium. Kritériem je přítomnost barvy pixelu v souřadném kvádru v RGB prostoru složek barvy, přičemž kvádr je orientovaný tak, aby jeho strany byly kolmé na souřadné osy RGB prostoru.

Určení jeho tvaru a polohy se provádí na základě nutnosti pokrytí barev vybraných pixmap štítků. Kvádr má tedy rozměry a polohu právě takovou, aby každá barva z pixmap štítků ležela uvnitř něj.

Obrázek 12 – Pixmapa se štítky ve formě červených kšiltovek



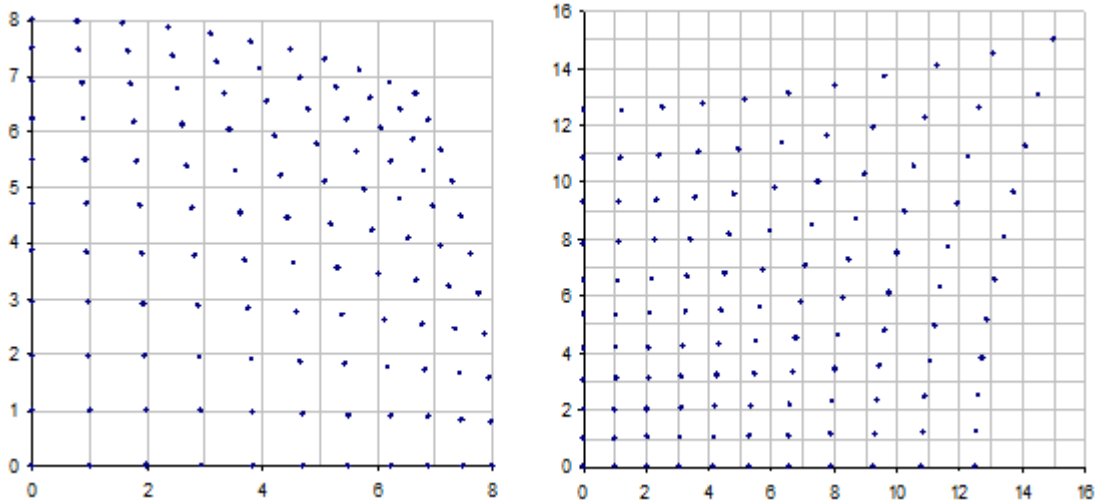
Jakmile jsou pixely vyhledány, dojde k jejich sloučení do skupin. Pixel patří do dané skupiny tehdy, sousedí-li s pixelem ze skupiny alespoň jednou svojí stranou. Skupiny jsou poté podrobeny kritériu minimální velikosti. Není-li skupina dostatečně velká, nebude dále zpracovávána. Pro každou skupinu je poté vypočteno těžiště v rovině pixmapy. Výsledkem popsané analýzy jediné pixmapy je tedy množina těžišť. Máme nyní k dispozici množiny těžišť v každé pixmapě. Následujícím úkolem je nalezení odpovídajících těžišť v po sobě jdoucích pixmapách. Tím získáme trajektorie těžišť. Kritériem pro výběr odpovídajících těžišť je minimum jejich vzájemné vzdálenosti v rovině pixmapy.

Závěrem se provádí transformace polohy těžišť pro vyrovnání distorze způsobené snímáním videokamerou. Transformace má následující tvar:

$$\begin{aligned}x^* &= (x - x_0)k + x_0, \\y^* &= (y - y_0)k + y_0, \\k &= \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + d^2}{d^2},\end{aligned}$$

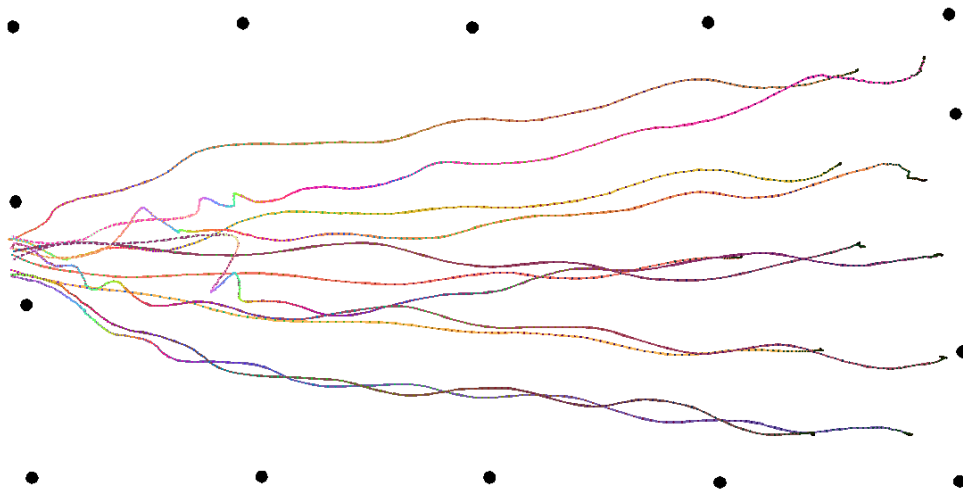
kde  $x, y$  jsou souřadnice pixelu před transformací,  $x^*, y^*$  jsou souřadnice pixelu po transformaci,  $x_0, y_0$  jsou souřadnice kolmého průmětu kamery a  $d$  je charakteristická vzdálenost kamery. Na ilustračním obrázku X je vidět mřížka po transformaci (vlevo) a po inverzní transformaci (vpravo).

Obrázek 13 – Ilustrace distorze a její inverze



Výsledkem aplikace daného postupu je pak množina trajektorií znázorněná na obrázku X. Jednotlivé trajektorie na obrázku představují zaznamenané polohy osob na jednotlivých po sobě jdoucích snímcích. Z výsledků je patrné, že tímto způsobem je možné trajektorie osob analyzovat s vysokou přesností.

Obrázek 14 – Barevně odlišené trajektorie jednotlivých osob na záznamu



## 6.5 VYBRANÉ METODY DETEKCE OSOB

### 6.5.1 AUTOMATICKÁ EXTRAKCE TRAJEKTORIE OSOB Z VIDEOZÁZNAMU

Jak už bylo uvedeno dříve, pro pochopení a modelování dynamiky pěších je velmi důležité vhodným způsobem získávat empirická data, přičemž manuální analýza pohybu pěších je časově extrémně náročná a v tomto případě poskytuje také velmi nepřesné výsledky v čase i prostoru.

Jeden z předních nástrojů pro detekci pohybu osob automaticky formou extrakce jejich polohy z videozáznamu je nástroj PeTrack, který je vyvíjen v Jülich Supercomputing Centre. Nástroj pracuje na analogickém principu jako experiment v předchozí kapitole. Osoby v rámci videa jsou vybaveny značkami

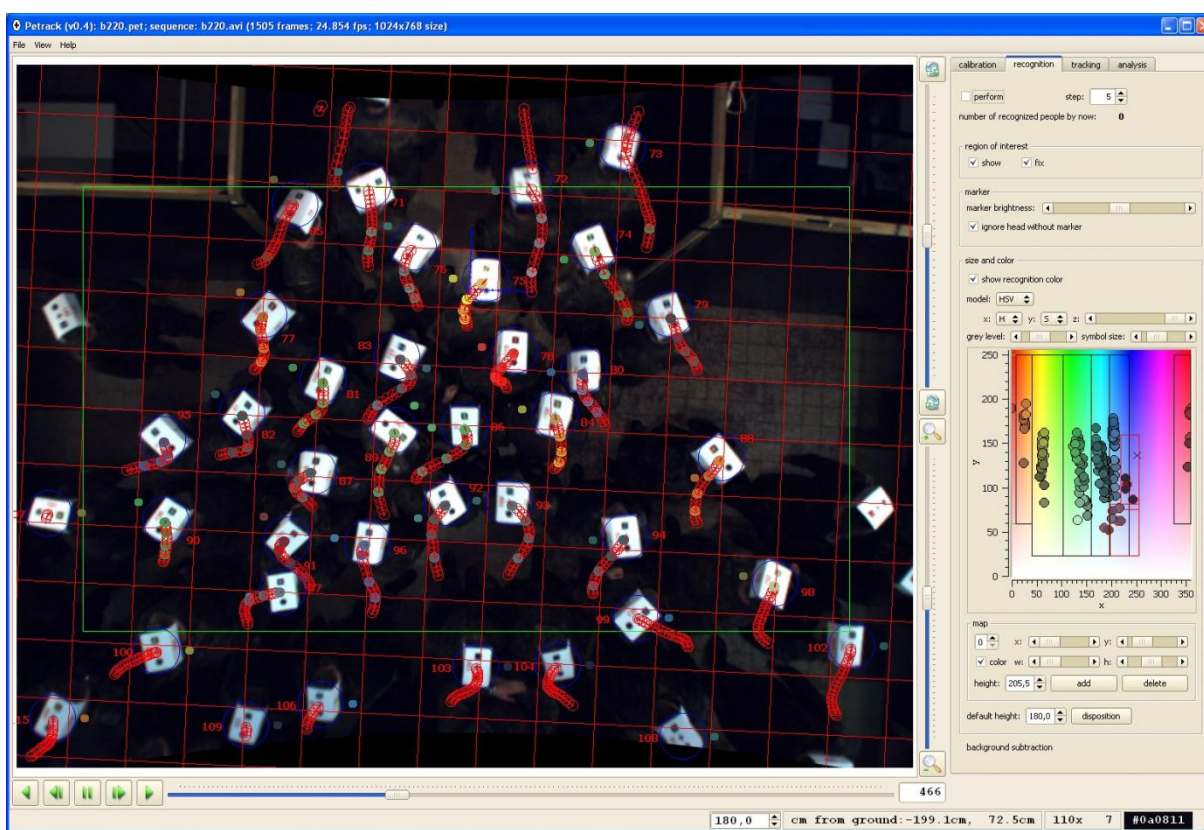
(markery), čímž je umožněna automatická detekce trajektorie tohoto markeru v rámci videozáznamu a extrakce důležitých veličin, jakými jsou rychlost, intenzita nebo hustota pěšího proudu.

Nástroj je rovněž schopen pracovat s širokoúhlými objektivy a vysokou hustotou chodců, je schopen korekce zkreslení objektivu i perspektivy, způsobené výškou pohybujících se osob.

Zpracování videa v uvedeném nástroji vyžaduje základní znalosti optiky a geometrie, přesto je relativně snadné. Uživatel musí nejprve provést kalibraci, která je schopna korigovat soudkovité zkreslení pořízeného záznamu vlivem použitého objektivu a zkreslení perspektivou vlivem nenulové výšky osob vůči pozadí – zjednodušeně řečeno jsou hlavy osob blíže detektoru než podlaha a tento efekt má přirozeně nejsilnější vliv na okraji záznamu.

V následujícím kroku jsou nastaveny parametry rozpoznávání (detekce) osob vybavených markery včetně vyznačení oblasti jejich detekce a nastavení citlivosti. V posledním kroku uživatel provádí analýzu a vizualizaci výsledků.

Obrázek 15 – Výsledek automatické extrakce trajektorie osob z nástroje PeTrack



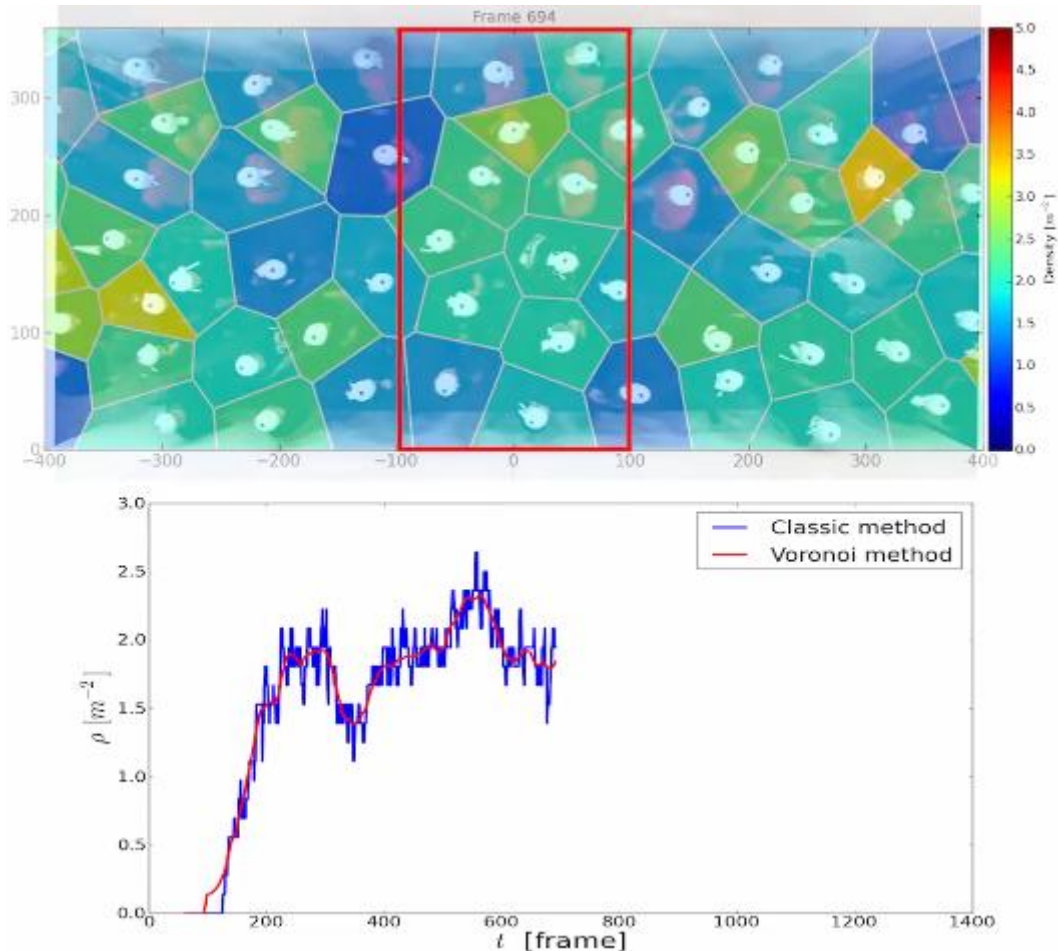
Autoři nástroje v současné době pracují na automatické analýze trajektorie osob prostřednictvím stereoskopického videozáznamu, což umožní extrakci trajektorie osob také v reálném pěším proudu, kde ze zřejmých důvodů markery nelze používat.

Určitou analogií uvedené extrakce je tzv. Voroniová metoda. Jde opět o analýzu videozáznamu, nicméně na rozdíl od předcházející metody vymezuje v analyzovaných snímcích kolem sledovaných osob oblasti, v rámci kterých jsou sledovány klíčové dynamické veličiny a považovány uvnitř těchto oblastí v daném



okamžiku za konstantní. Nevýhodou této metody je komplikovanější analýza spojená s potřebou automatického vymezení uvedených oblastí a jejich průběžná aktualizace, výhodou je naopak plynulejší průběh sledovaných veličin v čase.

Obrázek 16 – Srovnání měření hustoty pěšího proudu v čase Voroniovou a klasickou metodou



## 6.5.2 DALŠÍ VYBRANÉ METODY DETEKCE POHYBU OSOB

- **M. Fetiaron a kol., *Evaluation of pedestrian data collection methods within a simulation framework* (2010)**  
 Popsány tři druhy sběru dat: řízené experimenty, automatický sběr (GPS, mobilní telefony, osobní navigace) a manuální sběr dat formou dotazníků.
- **Spasov, *Algorithm for map-aided autonomous indoor pedestrian positioning and navigation* (2007)**  
 Popsány metody určení lidské polohy prostřednictvím GNSS, bezdrátových sítí a GPS.
- **M. Korougi a kol., *A method of personal positionin based on sensor data fusion of wearable camera and self contained sensor* (2003)**  
 Popsána metoda určení pohybu osob prostřednictvím kombinace nositelné kamery a GPS záznamu.
- **K. Wendlandt a kol., *Indoor localization with probability density functions based on Bluetooth* (2005)**  
 Určení polohy osob v budově prostřednictvím statistické analýzy signálu BT mobilního telefonu.

## 7 STAVBA MODELU, SÍŤ A DOPRAVNÍ CHOVÁNÍ

Faktory vstupující do výpočtu se dělí do dvou kategorií: geometrie a populace. Jsou definované jednak modelovými vlastnosti a dále prostřednictvím uživatelských vstupních dat. Modely, které se nasazují na evakuační analýzy, musí splňovat následující požadavky a jejich vstupní data musí odpovídat naměřeným hodnotám.

### 7.1 GEOMETRIE

Tato kategorie popisuje prostorové uspořádání a geometrii budov resp. únikových a evakuačních cest, jejich omezení a částečně nedostupnost. Geometrii budovy je nutno zohlednit ve všech důležitých detailech jako rozvržení v úrovních a podlažích a parametrech či vlastností překážek, stěn, schodů, ramp, dveří a východů.

### 7.2 POPULACE

Složení populace je provedeno s ohledem na věk, fyzické atributy a reakční čas. Statistické složení populace je identické pro všechny scénáře s výjimkou reakční doby a výchozí pozice osob. Jsou-li k dispozici data o složení populace, měli by být použity v koordinaci s příslušnými orgány. Kapitola obsahuje tyto podkapitoly:

#### 7.2.1 Minimální požadavky na vlastnosti a složení populace

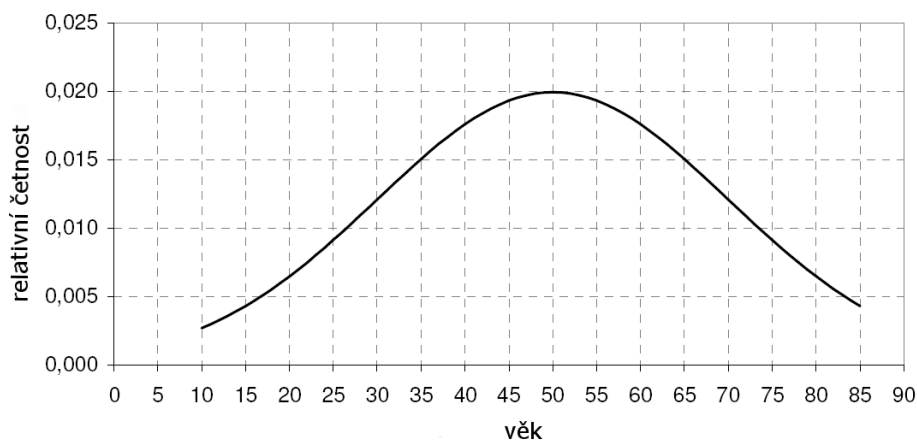
1. Každá osoba je v simulaci reprezentovaná samostatně.
2. Základní pravidla pro rozhodování a pohyb jsou pro všechny osoby stejné a jsou popsány dokumentovaným, univerzálním algoritmem.
3. Výkonnost každé osoby nebo skupiny osob je stanovena sadou osobních parametrů. Některé tyto parametry se projevují na chování osob stochasticky.
4. Pohyb každé jednotlivé osoby je zobrazován.
5. Osobní parametry se liší mezi jednotlivci v populaci.
6. Časový rozdíl mezi akcemi dvou osob v simulaci (tedy doba, během níž reagují všechny osoby) má být vyjádřen časově vysoce přesně a v poměru k celkovému evakuačnímu času má být mikroskopicky malý. Aktualizace všech akcí je označována jako update.
7. Při výběru analyzovaných scénářů má být zohledněna objektu adekvátní populace, volba únikových a záchranných cest a případně působení vlivů prostředí. Simulace mohou být provedeny s následujícími zjednodušeními:
  - Osoby se pohybují podél únikových a záchranných tras.
  - Jelikož bezpečný únik představuje základní cíl evakuační analýzy, mohou vlivy prostředí jako např. kouř, teplo, jedovaté látky nebo statika budovy být použity ke stanovení maximálního povoleného celkového času evakuace.

- Skupinové chování je implicitně zohledněno tím, že definované skupiny osob využijí stejné únikové trasy. Explicitní skupinové chování, jako např. zdržování se u sebe ve skupině se v analýze nezohlední.
8. Při vypuštění/odpadnutí jednoho nebo několika zjednodušení může být přípustný celkový evakuační čas upraven po konzultaci s příslušnými orgány.

## 7.2.2 Věkové rozdělení populace

Nejsou-li k dispozici statistická data, má být použita následující standardní populace. Skládá se z 50 % mužů a 50 % žen, kterých věk je dle obrázku níže normálně rozdělen mezi minimální a maximální hodnotou. Střední hodnota věku je 50 let, standardní odchylka 20 let. Minimální věk dosahuje 10 let, maximální 85 let.

Obrázek 17 – Rozdělení věku standardní populace podle RIMEA, 50 % mužů a 50 % žen (zdroj: RIMEA)



## 7.2.3 Reakční doba

Individuální reakční doba je doba mezi spuštěním alarmu a počátkem evakuace konkrétní osoby. Reakční doba zahrnuje rozpoznání signálů (informací), poskytnutí a přijetí instrukcí a provedení všech ostatních činností před počátkem vlastní evakuace.

Jsou-li známy podrobnosti evakuačního konceptu, mohou být reakční doby stanoveny např. podle směrnice RIMEA [2] – viz tabulky níže. V ostatních případech směrnice RIMEA doporučuje stanovení senzitivity evakuačního konceptu na základě tří scénářů se třemi rozděleními reakčních dob:

- Rychlá evakuace  
Všem osobám je přiřazená reakční doba 0 sekund. To vlivem současné reakce všech osob způsobí vysoký počet osob na evakuačních a záchranných trasách.
- Plynulá evakuace  
Osobám je přiřazená rovnoměrně reakční doba od 0 do 60 sekund a reagují tedy v průběhu jedné minuty.
- Pomalá evakuace  
Osobám je přiřazená rovnoměrně rozdělená reakční doba. Hodnoty mohou být převzaty z tabulek níže. Rozdělení reakčních dob může variovat dle typu budovy a způsobu využití.

Rozdělení jednotlivých reakčních dob odpovídá mírně upravené tabulce z výzkumu Pursera. Reakční doba je rozdělena mezi minimální a maximální hodnotou rovnoměrně nebo normálně a závisí od charakteristik osob, typu poplašného systému, komplexity budovy a způsobu ochrany proti požáru.

*Tabulka 1 – Kategorizace dle typu budovy a charakteristik osob (zdroj: RIMEA)*

Kategorie	Bdělost	Obeznamenost	Hustota	Způsob využití
A	bdělý	obeznamen	nízká	kanceláře, průmysl
B	bdělý	neobeznamen	vysoká	obchody, restaurace, shromažďovací prostory
C(a)	spící	obeznamen	nízká	bydlení
C(b)	opatrován (hlídán)	opatrován (hlídán)	nízká	bydlení
C(c)	spící	neobeznamen	nízká	hotely, ubytovny
D	v lékařské péči	neobeznamen	nízká	lékařská péče
E	dopravován	neobeznamen	vysoká	dopravní zařízení

*Tabulka 2 – Kategorizace dle typu požárního systému (zdroj: RIMEA)*

Kategorie	Požární systém
A1	Automatický požární alarm s okamžitým varováním postižených oblastí.
A2	Dvoustupňový automatický systém hlášení požáru s okamžitým varováním centrály a následným varováním postižených oblastí (s časovým prodloužením).
A3	Žádný nebo jen lokální automatický hlásič požáru.

*Tabulka 3 – Kategorizace dle komplexity budovy (zdroj: RIMEA)*

Kategorie	Komplexita budovy
B1	Jednoduchý, otevřený půdorys, jednopodlažní, východy viditelné a vedoucí přímo ven z budovy.
B2	Jednoduchý půdorys, více místností podlaží. Stavba převážně vyhovuje normativním požadavkům.
B3	Velká budova, komplexní půdorys.

*Tabulka 4 – Kategorizace dle způsobu řízení požární bezpečnosti (zdroj: RIMEA)*

Kategorie	Způsob řízení požární bezpečnosti
M1	Velké množství dobře vyškolených požárních hlídek. Bezpečnostní systém a postupy nezávisle ověřené.
M2	Dobře vyškolené požární hlídky. Bezpečnostní systém nebyl testován.
M3	Jsou splněny minimální standardy.

Na základě výše uvedené kategorizace můžou být odvozeny následující minimální a maximální hodnoty pro rozdělení individuálních reakčních dob:

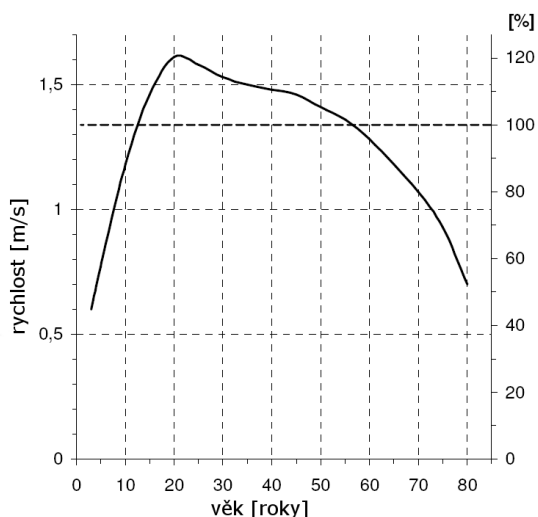
Tabulka 5 – Minimální a maximální hodnoty rozdělení individuálních reakčních dob dle výše uvedené kategorizace (zdroj: RIMEA)

Scénář	$t_{\text{Reakt, min}}/\text{min}$	$t_{\text{Reakt, max}}/\text{min}$
<b>Kategorie A: bdělý, obeznámený, nízká hustota</b>		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0,5	1
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	2
M3 B1 – B2 A1 – A3	10	20
B3: přidá se 0,5 min k $t_{\text{Reakt, min}}$ vzhledem k obtížnější orientaci		
<b>Kategorie B: bdělý, neobeznámený, vysoká hustota</b>		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2
M2 B1 A1 – A2	1	3
M3 B1 A1 – A3	10	20
B2: přidá se 0,5 min k $t_{\text{Reakt, min}}$ vzhledem k obtížnější orientaci		
B3: přidá se 1 min k $t_{\text{Reakt, min}}$ vzhledem k obtížnější orientaci		
<b>Kategorie C(a): spící, obeznámený, nízká hustota</b>		
M2 B1 A1	5	10
M3 B1 A3	10	>20
<b>Kategorie C(b): bydlení s dohledem, nízká hustota</b>		
M1 B2 A1 – A2	10	20
M2 B2 A1 – A2	15	25
M3 B2 A1 – A3	15	25
<b>Kategorie C(c): spící, neobeznámený, nízká hustota</b>		
M1 B2 A1 – A2	15	20
M2 B2 A1 – A2	20	25
M3 B2 A1 – A3	20	25
B3: přidá se 1 min k $t_{\text{Reakt, min}}$ vzhledem k obtížnější orientaci		

#### 7.2.4 Neomezovaná rychlost v rovině

O průměrných rychlostech chůze typického městského obyvatelstva v závislosti na věku existují různé publikace. RIMEA doporučuje využívat hodnoty podle Weidmanna. Rychlost chůze mužů je v průměru o 10,9 % vyšší než u žen. Průměrná rychlost u mužů pak činí 1,41 m/s a u žen 1,27 m/s.

Obrázek 18 – Rychlost chůze v rovině v závislosti na věku podle Weidmanna<sup>9</sup>



Tabulka 6 – Rychlost chůze v rovině podle Weidmanna<sup>5</sup>

Skupina obyvatel	rychlost chůze v rovině [m/s]	
	minimum	maximum
do 30 let	0,58	1,61
30 - 50 let	1,41	1,54
nad 50 let	0,68	1,41
osoby s omezenou pohyblivostí	0,46	0,76

7.2.4.1.1 Neomezovaná rychlost na schodech

Tabulka 7 – Rychlost chůze po schodech, zdroj: Fruin<sup>10</sup>

Skupina obyvatel	průměrné rychlosti na schodech			
	schody dolů		schody nahoru	
	(1)	(2)	(1)	(2)
do 30 let	0,76	0,81	0,55	0,58
30 - 50 let	0,65	0,78	0,50	0,58
nad 50 let	0,55	0,59	0,42	0,42
osoby s omezenou pohyblivostí	0,42		0,32	

(1) – poměr stoupání 17,8/28,6 cm

(2) – poměr stoupání 15,2/30,5 cm

<sup>9</sup> Weidmann U., *Transporttechnik der Fußgänger*, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.

<sup>10</sup> J. Fruin, *Pedestrian planning and design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.

Rychlost chůze po schodech zkoumal Fruin. Rozlišoval přitom mezi vnitřními a vnějšími schodišti. Průměrné rychlosti zobrazuje tabulka výše (viz Tabulka 7).

Simulační modely musí dostatečně přesně zohledňovat výše uvedené tendence. Zjednodušeně možno na schodišti počítat s rychlostí tak, že rychlost horizontálních komponentů schodiště v obou směrech odpovídá polovině rychlosti na rovině.

#### 7.2.4.1.2 Hustota osob v základním rozdělení

Počáteční rozdělení osob určuje, v jaké hustotě mají být rozmístěny osoby na počátku simulace. Jsou-li k dispozici konkrétní data vstupující do analýzy, má být zveřejněn jejich zdroj. Jinak platí hodnoty uvedené v tabulce níže (viz Tabulka 8).

Tabulka 8 – Směrné hodnoty hustoty osob po základní rozdělení populace (zdroj: RIMEA)

typ budovy	hustota osob	zdroj
nákupní centrum	0,18 – 0,36	NFPA <sup>11</sup>
kancelářská budova	0,11	NFPA
sklad	0,04	NFPA
veletrh	1,00	MVStättV <sup>12</sup>
shromažďovací prostory	2,00	MVStättV
sekce pro diváky ke stání	4,70	EN 13200-1 <sup>13</sup>

### 7.3 DEFINICE/VOLBA TRASY V SIMULACI

Staticky - výběr zdroje, cíle a event. průchozích bodů trasy

Dynamicky – ponechání výběru trasy na rozhodovacím algoritmu a průběžné rozhodování chodců o trase na základě vývoje front

### 7.4 SIMULACE FRONT

K tvorbě front dochází při nedostatečné kapacitě daného místa vzhledem k aktuální intenzitě dopravního proudu nebo z důvodu nuceného zdržení chodců (přepážky, kasy, výdejní místa, pasová kontrola apod.). Při nedostatečné kapacitě místa dochází k tvorbě neorganizované fronty, kdy každý jedinec hledá svoji nejkratší trasu. U nuceného zdržení dochází zpravidla k tvorbě organizované fronty (např. jednořadý zástup). Oba způsoby simulační softwarů umožňují simulovat.

Neorganizovaná fronta je na simulaci složitější a její průběh se může výrazně lišit v závislosti od míry agresivity jednotlivých účastníků. Přístup jednotlivých simulačních softwarů k této problematice je různý a

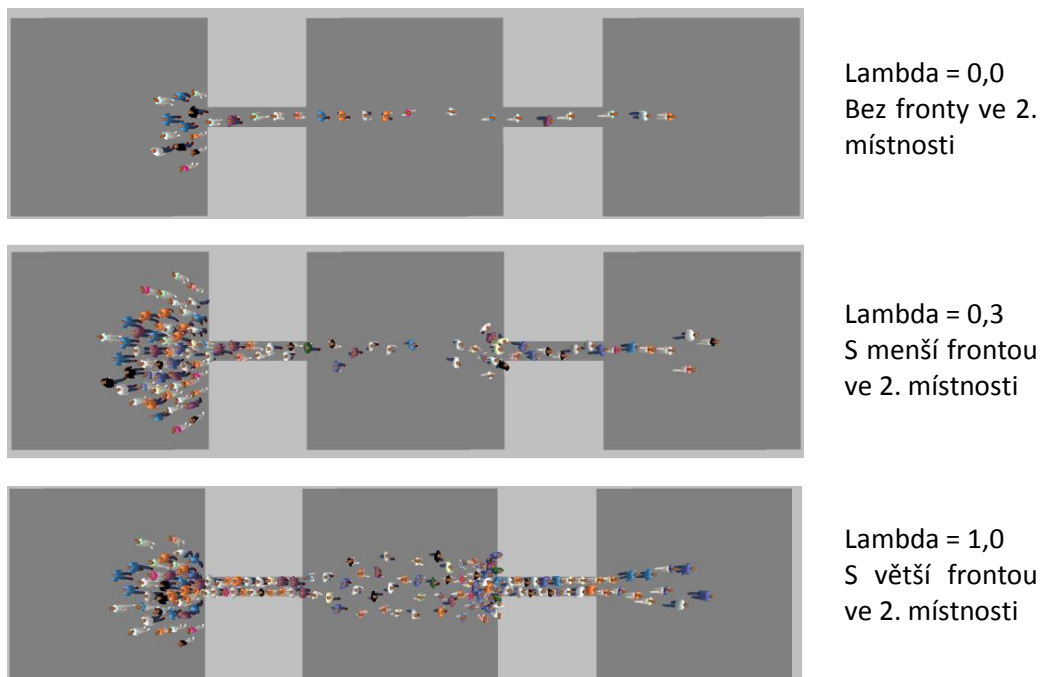
<sup>11</sup> National Fire Protection Association

<sup>12</sup> Muster-Versammlungsstättenverordnung, Fassung Juni 2005

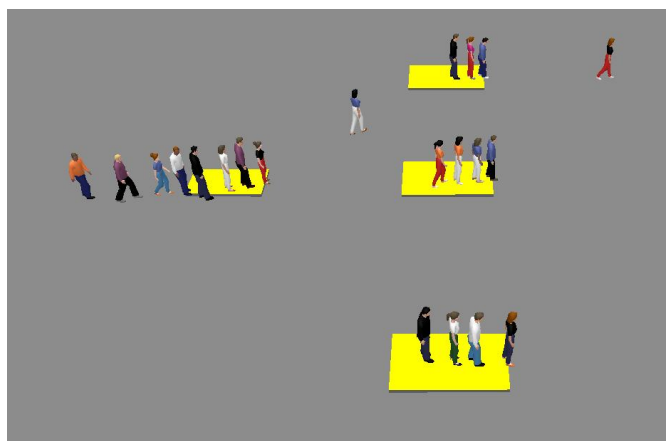
<sup>13</sup> Zuschaueranlagen Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen – Anforderungen, Dezember 2003

může vést tudíž k různým výsledkům. Při interpretaci výsledků je proto nezbytné popsat výchozí předpoklady, okrajové podmínky a nastavení jednotlivých parametrů ovlivňujících chování lidí.

Obrázek 19 – Průběh tvorby neorganizované fronty v závislosti od volby modelového parametru lambda ovlivňujícího chování chodců (obrázky: T. Kretz, VISSIM software)



Obrázek 20 – Simulace organizované fronty – jednořadý zástup u odbavovacích míst (obrázky: AF-CITYPLAN, VISSIM software)





## 8 KONTROLA A VERIFIKACE MODELU

Každý simulační software vyžaduje verifikaci. Podle směrnice RIMEA existují minimálně 4 formy verifikace:

1) Kontrola komponentů;

Jde o základní kontrolu, jestli jednotlivé komponenty softwaru fungují tak jak mají (jak se předpokládá). Zahrnuje to provedení řady elementárních simulačních testů, jejichž účelem je přesvědčit se, že ty nejdůležitější stavební kameny modelu fungují v souladu s předpoklady. Tyto elementární testy byly sestaveny tvůrci směrnice RIMEA a jejich popis je součástí přílohy.

2) Funkční verifikace;

Zahrnuje zkoušku, jestli model disponuje schopností pokrýt celou oblast možností nevyhnutných pro simulaci. Tento požadavek je specifický pro každou úlohu. Ke splnění funkční verifikace musí vývojář modelu (softwaru) srozumitelným způsobem představit celou oblast možností modelu a inherentních předpokladů. Dále musí dát k dispozici návod pro správné použití těchto možností. Tyto informace mají být součástí dostupné technické dokumentace softwaru.

3) Kvalitativní verifikace;

Třetí forma validace modelu se týká prověření předpokládaného lidského chování s odbornými očekáváními. Přestože se jedná jen o kvalitativní formu ověřování, je důležitá, protože ukazuje, jestli jsou vestavěné modely chování schopny produkovat realistické chování.

4) Kvantitativní verifikace.

Kvantitativní ověření zahrnuje srovnání modelových předpovědí se spolehlivými údaji evakuačních cvičení. V této době vývoje nejsou k dispozici dostatečně spolehlivé experimentální údaje, které by umožňovali důkladné kvantitativní ověření evakuačních modelů. Dokud takové údaje nebudou k dispozici, první tři způsoby verifikačního procesu lze považovat za dostatečné.

(Proces je popsán také v dokumentu ISO/TR 13387-8:1999.)

## 9 ANALÝZA ALTERNATIV, VÝSLEDKY A JEJICH INTERPRETACE

### 9.1 ÚROVEŇ KVALITY DOPRAVY CHODCŮ

Určit úroveň kvality dopravy lze výpočtovou metodou, nebo pomocí simulačního software. České státní normy, ani technické podmínky oproti stanovení úrovně kvality pro motorovou dopravu danou problematiku v podobě určení úrovně kvality pohybu chodců vůbec neobsahují.

V zahraničních materiálech lze najít několik metodik, zabývajících se kvalitou pohybu chodců, jako například:

- metoda dle HBS,
- metoda dle HCM,
- metoda dle Fruina,
- metoda dle Widemanna,
- metoda Pushkarev-Zupan,
- metoda Tanaboriboon-Guyana,
- metoda Teknomo.

Kvalita pohybu chodců se ve většině případů určuje na základě výpočtu hustoty chodců [počet chodců / m<sup>2</sup>] resp. potřebné plochy pro pohyb chodce [m<sup>2</sup>/chodce]. Metoda dále rozlišuje tři druhy ploch, po kterých se pěší proudy pohybují. Jedná se o:

- Chodníky (Walkways);
- Schody a rampy (Stairways);
- Čekací plochy (Queuing).

Pro každý typ jsou odlišné intervaly hustot pro určování kvality pohybu pěších proudů.

V následující tabulce jsou uvedeny intervaly pro určování úrovně kvality chodců, které jsou používány v jednotlivých metodikách (dle Fruina, HBS, HCM). V metodě dle Fruina se za kritickou hustotu na chodnících považuje hodnota 2,153 chodců na m<sup>2</sup>, oproti tomu v německé směrnici HBS je to hodnota 1,80 chodců na m<sup>2</sup> a v americké příručce HCM dokonce 1,33 chodce na m<sup>2</sup>.

Dle zahraničních materiálů je nejpropracovanější metodou určování kvality pohybu chodců (LOS) metoda dle **John J. Fruina**.

Tabulka 9 – Určování kvality pohybu chodců – porovnání metodik [hustota – chodců/m<sup>2</sup>]

LOS: FRUIN			
Chodníky (Walkways)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	0,308	■ (255, 0, 0, 255)
	0,308	0,431	■ (255, 0, 255, 25)
	0,431	0,718	■ (255, 0, 255, 0)
	0,718	1,076	■ (255, 255, 255, 255)
	1,076	2,153	■ (255, 255, 128, 255)
	2,153	MAX	■ (255, 255, 0, 0)
Schodiště (Stairways)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	0,538	■ (255, 0, 0, 255)
	0,538	0,718	■ (255, 0, 255, 25)
	0,718	1,076	■ (255, 0, 255, 0)
	1,076	1,538	■ (255, 255, 255, 255)
	1,538	2,691	■ (255, 255, 128, 255)
	2,691	MAX	■ (255, 255, 0, 0)
Čekací plochy (Queuing)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	0,828	■ (255, 0, 0, 255)
	0,828	1,076	■ (255, 0, 255, 25)
	1,076	1,538	■ (255, 0, 255, 0)
	1,538	3,588	■ (255, 255, 255, 255)
	3,588	5,382	■ (255, 255, 128, 255)
	5,382	MAX	■ (255, 255, 0, 0)
LOS: HBS (německá norma)			
Chodníky (Walkways)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	0,100	■ (255, 0, 0, 255)
	0,100	0,250	■ (255, 0, 255, 25)
	0,250	0,400	■ (255, 0, 255, 0)
	0,400	0,700	■ (255, 255, 255, 255)
	0,700	1,800	■ (255, 255, 128, 255)
	1,800	MAX	■ (255, 255, 0, 0)
Čekací plochy (Queuing)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	1,000	■ (255, 0, 0, 255)
	1,000	1,500	■ (255, 0, 255, 25)
	1,500	2,000	■ (255, 0, 255, 0)
	2,000	3,000	■ (255, 255, 255, 255)
	3,000	6,000	■ (255, 255, 128, 255)
	6,000	MAX	■ (255, 255, 0, 0)
LOS: HCM (americká norma)			
Chodníky (Walkways)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	0,179	■ (255, 0, 0, 255)
	0,179	0,270	■ (255, 0, 255, 25)
	0,270	0,455	■ (255, 0, 255, 0)
	0,455	0,714	■ (255, 255, 255, 255)
	0,714	1,333	■ (255, 255, 128, 255)
	1,333	MAX	■ (255, 255, 0, 0)
Čekací plochy (Queuing)	LowerBound	UpperBound	Color
	MIN	0,833	■ (255, 0, 0, 255)
	0,833	1,111	■ (255, 0, 255, 25)
	1,111	1,667	■ (255, 0, 255, 0)
	1,667	3,333	■ (255, 255, 255, 255)
	3,333	5,000	■ (255, 255, 128, 255)
	5,000	MAX	■ (255, 255, 0, 0)

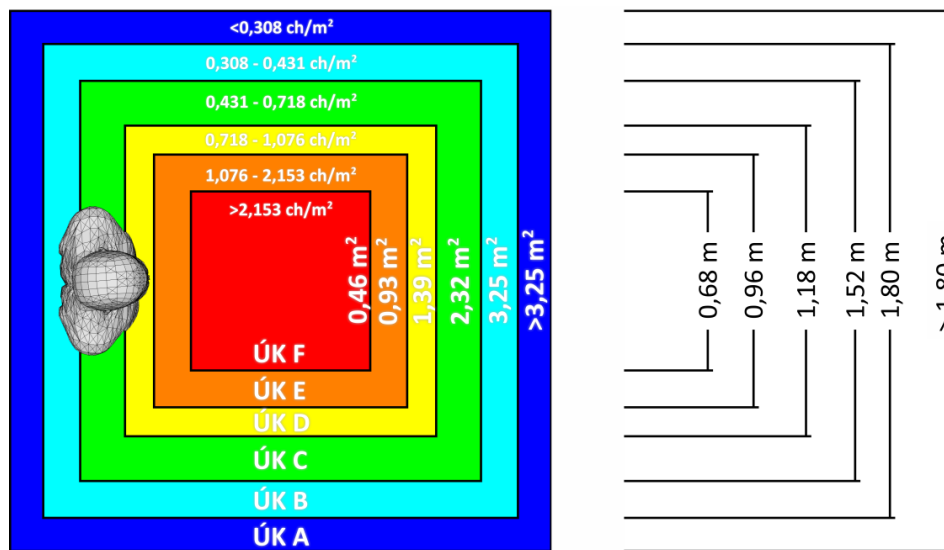
## Určení kvality pohybu chodců dle Fruina

Metoda přímo neurčuje, který stupeň kvality pohybu chodců se považuje za vyhovující, vždy záleží na dané situaci, nicméně při přihlédnutí k ekvivalentnímu určování úrovně kvality dopravy pro vozidla lze usoudit, že lze jako vyhovující označit hranici mezi stupni C a D, vždy záleží na konkrétním posuzovaném místě, jeho funkci při užívání chodci a zatížení okolních komunikacích.

Tabulka 10 – Úroveň kvality pohybu chodců pro chodce (LOS) dle FRUINA

Kvalita pohybu chodců pro chodce (LOS) dle FRUINA <b>pro chodníky</b>					
[chodců/m <sup>2</sup> ]		[m <sup>2</sup> /chodce]		barva	Kvalita pohybu chodců (LOS)
spodní hranice intervalu	horní hranice intervalu	spodní hranice intervalu	horní hranice intervalu		
MIN	0,308	MAX	3,25		A
0,308	0,431	3,25	2,32		B
0,431	0,718	2,32	1,39		C
0,718	1,076	1,39	0,93		D
1,076	2,153	0,93	0,46		E
2,153	MAX	0,46	MIN		F
Kvalita pohybu chodců pro chodce (LOS) dle FRUINA <b>pro schody a rampy</b>					
[chodců/m <sup>2</sup> ]		[m <sup>2</sup> /chodce]		barva	Kvalita pohybu chodců (LOS)
spodní hranice intervalu	horní hranice intervalu	spodní hranice intervalu	horní hranice intervalu		
MIN	0,538	MAX	1,86		A
0,538	0,718	1,86	1,39		B
0,718	1,076	1,39	0,93		C
1,076	1,538	0,93	0,65		D
1,538	2,691	0,65	0,37		E
2,691	MAX	0,37	MIN		F
Kvalita pohybu chodců pro chodce (LOS) dle FRUINA <b>pro čekací plochy</b>					
[chodců/m <sup>2</sup> ]		[m <sup>2</sup> /chodce]		barva	Kvalita pohybu chodců (LOS)
spodní hranice intervalu	horní hranice intervalu	spodní hranice intervalu	horní hranice intervalu		
MIN	0,828	MAX	1,21		A
0,828	1,076	1,21	0,93		B
1,076	1,538	0,93	0,65		C
1,538	3,588	0,65	0,28		D
3,588	5,382	0,28	0,19		E
5,382	MAX	0,19	MIN		F

Obrázek 21 – Znázornění plochy potřebné pro dosažení jednotlivých úrovní kvality pohybu chodců



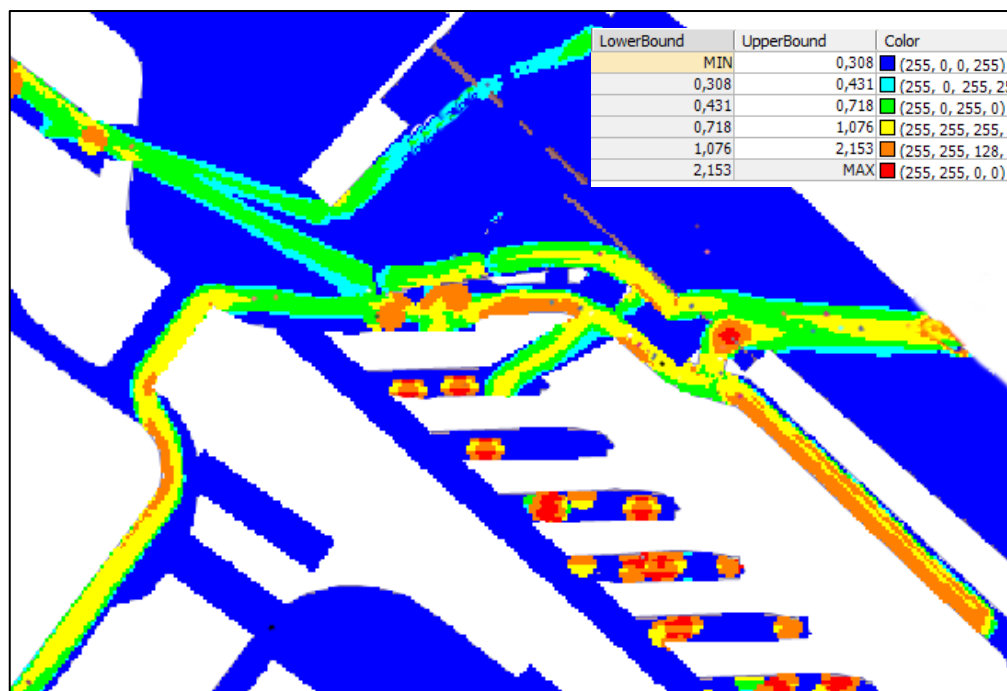
Tabulka 11 – Popis kvality pohybu chodců

Úroveň kvality pohybu	Popis úrovně kvality pohybu	Schéma
ÚK A	Chodec se může volně pohybovat všemi směry, bez konfliktů s ostatními chodci	
ÚK B	Chodec se může volně pohybovat všemi směry, příležitostně dochází k ovlivnění změny směru chůze z důvodu ovlivnění jiným chodcem	
ÚK C	Dochází k častějšímu ovlivnění chodců a dochází k nedobrovolnému snížení rychlosti chůze, obtížná chůze v protisměru.	
ÚK D	Většina chodců v pěším proudu je ovlivněna ostatními účastníky, dochází ke snížení rychlosti i úpravě dráhy, dochází k přerušování a promíchávání účastníků pěšího proudu.	
ÚK E	Všichni chodci v pěším proudu se pohybují dle ostatních účastníků, dochází k výraznějším poklesům rychlosti, pěší proud se pohybuje jako celek, dochází k občasnému zastavování pěšího proudu.	
ÚK F	Kritická hustota, dochází k neustálým konfliktům mezi jednotlivými chodci, zpomalování pěšího proudu a jeho častému zastavování, dochází k neustálému přeskupování chodců.	

\*TRB (Dopravní vědecká rada), 1994; upraveno FRUIN, 1971

Na následujícím obrázku je zobrazena ukázka určení kvality pohybu chodců v mikrosimulačním programu PTV VISSIM. Jedná se o přestupní terminál mezi vlakovým a autobusovým nádražím.

Obrázek 22 – Určení kvality pohybu chodců (LOS) v programu PTV VISSIM – hustota chodců [chodců/m<sup>2</sup>]



## 9.2 EVAKUAČNÍ ANALÝZA

Náplň kapitoly vychází ze směrnice RIMEA [2]. Kapitola evakuační analýza popisuje začlenění celkového evakuačního času (v evakuační simulaci) v kontextu infrastruktury požární ochrany a specifického posouzení rizika prostřednictvím autora evakuačního konceptu. Skládá se z těchto kroků (následující podkapitoly):

### 9.2.1 Popis ovlivňujících faktorů a okrajových podmínek

1. Definice geometrického modelu;
2. Definice složení a rozdělení populace;
3. Popis konceptu evakuačních a záchranných cest;
4. Určení událostí aktivujících evakuaci;
5. Definice tvorby úseků;
6. Definice bezpečných oblastí;
7. Popis poplašného systému;
8. Popis organizačních opatření.

### 9.2.2 Posuzované scénáře

- Počáteční rozdělení/rozmístění osob
- Uspořádání únikových a záchranných tras – základní evakuační stav
- Flexibilita únikových a záchranných tras – přidavné evakuační stavy
- Výpočet maximální kapacity

### 9.2.3 Nakládání s celkovým evakuačním časem podle směrnice RIMEA

1. Celkové evakuační časy prognózované modelem, stejně jako reálně měřené celkové evakuační časy jsou náhodné veličiny.
2. Pro každý simulační proces mají být výchozí pozice osob určeny nově, stochasticky.
3. Pro každý simulační proces mají být demografické parametry osob, odpovídající složení populace v daném scénáři, určeny nově stochasticky.
4. Pro každý scénář má být proveden přiměřený počet simulačních procesů (minimálně 10). Pro stanovení statisticky spolehlivé výpovědi může být zapotřebí vyšší počet simulačních procesů, v závislosti na statistickém rozdělení celkového evakuačního času.
5. Výsledky všech simulačních procesů je nutno srozumitelně zdokumentovat. Je potřebné doložit grafické zobrazení rozdělení (histogram), minimální, maximální a signifikantní celkový evakuační čas, jako i standardní odchylku.
6. Přípustný celkový evakuační čas je potřeba dohodnout v předstihu s příslušnými úřady. Jeho stanovení probíhá na základě stanovení času, ve kterém je možná evakuace bez vlivů akivační události, nebo dle právních a normativních ustanovení. Vypočtený celkový evakuační čas musí být nižší.
7. Pro přípustné celkové evakuační časy nejsou žádné právní nebo normativní požadavky. Hodnoty, které jsou k dispozici, se vztahují na určitou část průběhu evakuačního procesu, např. na proud osob přes dveře východů.
  - a) V Evropské unii je v prostorách určených pro diváky stanoveno 8 minut, pro sekce pro diváky v budovách 2 min. Jedná se zde ale o vzorové hodnoty, které neobsahují kritérium akceptace.
  - b) V Německu jsou stanoveny pro tribuny v interiéru 2 minuty a pro tribuny v exteriéru 6 minut. Jsou to hodnoty pro fiktivní dobu toku (bez kongesce, čistý čas průchodu).
  - c) Ve Švýcarsku jsou jako doporučené hodnoty trvání evakuace stanoveny hodnoty 3 až 5 minut pro stadiony s uzavřenou střechou a prostory s větším počtem lidí. Pro stadiony s otevřenou střechou je doporučeno 8 minut.

### 9.2.4 Identifikace kongescí

V rámci evakuační analýzy musí být možné kongesce identifikované, popsány a hodnocené. Signifikantní kongesce vzniká tehdy, když lokální hustota 4 osoby na metr čtvereční je překročena déle než po 10 % celkového času evakuace.

### 9.2.5 Korekční opatření

V případě, že pro nově zřizovanou budovu překračuje vypočtený evakuační čas přípustný celkový evakuační čas, musí být na stavbě provedena korekční opatření. Korekční opatření mohou představovat:

- změny geometrie;
- stavební opatření;
- technické opatření;

- organizační opatření.

Je nepřijatelná jakákoliv změna demografických parametrů v evakuační analýze za účelem dosažení požadovaného evakuačního času.

V případě, že vypočtený evakuační čas pro stávající budovu překračuje přípustný celkový evakuační čas, musí být průběh evakuace v budově prověřen s cílem snížení celkového evakuačního času pomocí sady vhodných opatření.

Evakuační analýza má být s pozměněnými okrajovými podmínkami (korekčními opatřeními) prováděna tak dlouho, dokud nebude dosaženo přípustné nebo akceptovatelné doby evakuace.

V případě, že navržené opatření nevedou k akceptovatelnému času evakuace, je nutno přistoupit k redukci počtu osob v budově.

### 9.2.6 Dokumentace

Na žádost příslušných úřadů musí být vysvětleny či sledovány tyto body:

1. Musí být popsány předpoklady, které byly v simulaci učiněny. Předpoklady, obsahující zjednodušení, která vybočují z těch, která byla popsána v kap. 7, nemají být přijaty.
2. Dokumentace evakuační analýzy má obsahovat následující součásti:
  - a) Proměnné, použité v modelu k popisu pohybu osob, jako např. rychlost chůze;
  - b) Funkční vztah mezi parametry a jejich vlivem na pohyb;
  - c) Způsob aktualizace, tj. posloupnost, v jaké se osoby během simulace pohybují (paralelně, náhodně sekvenčně, řízeně sekvenčně nebo jinak);
  - d) Zobrazení schodišť, dveří, shromažďovacích míst a jiných zvláštních prostorových elementů a jejich vliv na proměnné v průběhu simulace a příslušné parametry, které vliv kvantifikují;
  - e) Detailní uživatelský manuál, který popisuje druh modelu a příslušné předpoklady. Kdykoli k dispozici má být Směrnice pro použití programu a interpretaci výsledků;
  - f) Verze programu, která byla pro evakuační analýzu použita.
3. Výsledky analýzy mají být dokumentovány v tomto rozsahu:
  - a) Detaily výpočtů;
  - b) Celkový evakuační čas a jeho rozdělení;
  - c) Zjištěné oblasti s kongescemi.

### 9.2.7 Počet simulačních procesů

Výsledky mikroskopické simulace jsou do jisté míry závislé na generátoru náhodných čísel implementovaném do simulačního softwaru, který zjednodušeně řečeno rozhoduje o tom, kdy přesně daný chodec vstoupí do modelu, jaká bude jeho požadovaná rychlost a příp. další charakteristiky. Je totiž rozdíl (vzhledem k výsledkům simulace), jestli do sítě vstoupí 5 chodců současně nebo s nějakým časovým odstupem a jestli tento odstup bude rovnoměrný nebo ne. Existuje tedy velké množství kombinací (při stejném celkovém množství chodců) a jejich dopady se ve výsledcích simulace budou navzájem lišit. Od



průměrných hodnot ze všech simulačních procesů však bude odchylka při dobře fungujícím modelu pouze malá. **Je však nutno provést dostatečný počet simulačních procesů s rozdílným nastavením generátoru náhodných čísel k zajištění spolehlivých výsledků.** Provedení více simulačních procesů rovněž dává možnost poukázat na možnou míru odchylek od průměrných hodnot v extrémních případech (nejlepší a nejhorší hodnoty).

Ke stanovení potřebného počtu simulačních procesů lze využít stejných postupů, jaké se používají pro simulaci dopravního proudu vozidel. Využívají se při tom tyto statistické veličiny:

- Směrodatná odchylka (výběrová)

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

kde:

$x$  = hodnota proměnné měřitelné v simulaci (např. zdržení)

$\bar{x}$  = průměrná hodnota proměnné (z jednotlivých simulačních procesů)

$N$  = počet simulačních procesů

- Požadovaná úroveň spolehlivosti  
Požadovaná úroveň spolehlivosti je pravděpodobnost, že skutečná hodnota leží v cílovém intervalu spolehlivosti. Obvyklým přístupem je volba 95procentní úrovně spolehlivosti. Platí, že vyšší úroveň spolehlivosti vyžaduje více simulačních procesů.
- Požadovaný interval spolehlivosti  
Interval spolehlivosti je rozsah hodnot, ve kterém může ležet skutečná hodnota. Výběr intervalu spolehlivosti závisí především na účelu, pro který budou použity výsledky simulace. Pokud jsou např. testovány dvě velmi podobné alternativy, k jejich rozlišení je vhodné volit velmi malý interval spolehlivosti. Jsou-li testovány alternativy s většími rozdíly, je možné tolerovat větší interval spolehlivosti. Platí, že menší interval spolehlivosti vyžaduje větší počet simulačních procesů k dosažení dané úrovně spolehlivosti.

Znát přesně potřebný počet simulačních procesů ke stanovení statisticky spolehlivé výsledné průměrné hodnoty (nebo jiné statistické veličiny) není možné předem (před spuštěním simulace), nicméně je možné to zjistit na základě několika simulačních procesů. Požadovaný minimální počet simulačních procesů lze stanovit řešením rovnice:

$$IS_{1-\alpha\%} = 2 * t_{(1-\frac{\alpha}{2}), N-1} \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$IS_{(1-\alpha)\%}$  = (1-alfa) % interval spolehlivosti, kde alfa odpovídá pravděpodobnosti, že skutečná průměrná hodnota neleží v intervalu spolehlivosti

$t_{(1-\alpha/2), N-1}$  = studentovo t-rozdělení pro pravděpodobnost oboustranné chyby (v součtu alfa) s N-1 stupni volnosti, kde N odpovídá počtu opakování

$s$  = směrodatná odchylka modelových výstupů

Pro praktický postup je potřeba provést např. 5 simulačních procesů, stanovit výběrovou směrodatnou odchylku sledované veličiny (např. zdržení) a určit potřebný počet simulačních procesů dle tabulky. *Tabulka 12* uvádí řešení výše uvedené rovnice pro různé úrovně a intervaly spolehlivosti. Pro ilustraci: je-li směrodatná odchylka zdržení 1,5 s a požadovaný interval spolehlivosti je 3 s, pro 95procentní úroveň spolehlivosti bude zapotřebí 8 simulačních procesů ke stanovení zdržení s přesností  $\pm 1,5$  s.

*Tabulka 12 – Minimální počet simulačních procesů dle úrovně spolehlivosti a požadovaného rozsahu*

požadovaný rozsah (=interval spolehlivosti/směrodatná odchylka)	požadovaná úroveň spolehlivosti	minimální počet simulačních procesů
0,5	99%	130
0,5	95%	83
0,5	90%	64
1	99%	36
1	95%	23
1	90%	18
1,5	99%	18
1,5	95%	12
1,5	90%	9
2	99%	12
2	95%	8
2	90%	6

Příklad:

Je potřebné určit počet simulačních procesů pro simulovanou síť. Simulační model je vyladěn, kalibrován a připraven k vyhodnocování. Postup je následující:

- 1) Výběr vhodné proměnné:  
Časové zdržení v síti, měřeno v sekundách v průběhu špičkové hodiny
- 2) Provedení 5 simulačních procesů, každý se stejným celkovým dopravním zatížením ale s jiným nastavením generátoru náhodných čísel (vždy jiné „random seed number<sup>14</sup>“)
- 3) Volba úrovně a intervalu spolehlivosti:  
Úroveň spolehlivosti: 95 %  
Interval spolehlivosti: 10
- 4) Výpočet směrodatné odchylky měřené proměnné

simulační proces č.	průměrná hodnota časového zdržení v síti	výběrová směrodatná odchylka
1	838	10,2

<sup>14</sup> „Startovací číslo“ sloužící k vytvoření sekvence pseudonáhodných čísel.

2	849
3	866
4	850
5	855

5) Stanovení minimálního počtu simulačních procesů

Požadovaný rozsah =  $10 / 10,2 \approx 1 \Rightarrow 23$  simulačních procesů

Závěr: Ke stanovení průměrného zdržení v síti s přesností  $\pm 5$  sekund a s úrovní spolehlivosti 95 % je zapotřebí 23 simulačních procesů.

### 9.2.8 Výstupy simulačních softwarů

- **Popisná interpretace**

Kvalitativní a výběrový kvantitativní popis výsledků jednotlivých variant a jednotlivých sledovaných veličin a sumární popis výsledků formou slovního popisu.

- **Tabelární interpretace**

Obvykle je využívána pro kvantitativní srovnání jednotlivých variant s nulovou variantou nebo s variantou současného stavu a případné vzájemné srovnání variant. Umožňuje použití absolutních a relativních hodnot.

- **Grafická interpretace**

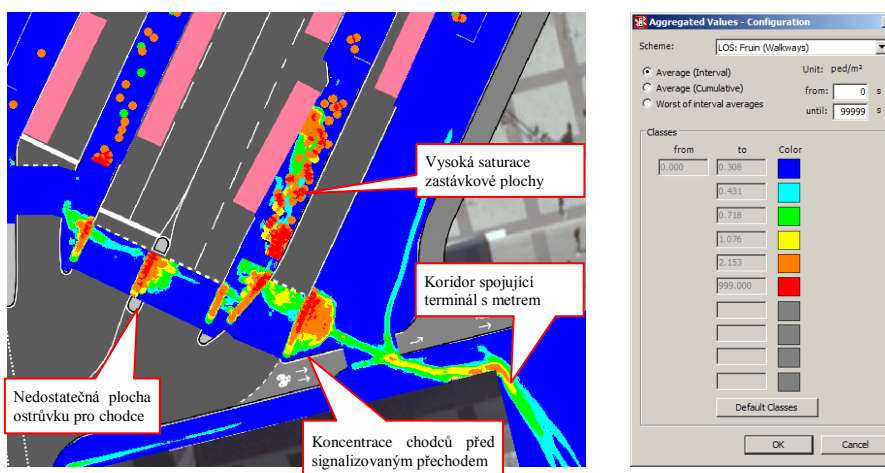
Grafy, obrázky, schémata, diagramy reprezentující výsledky jednotlivých variant anebo srovnávací grafiky.

- **Dynamická interpretace**

Animované obrázky a grafy (např. dynamické zobrazení změn rychlostí v síti).

Videosekvence – obvykle dynamický pohled na simulaci dopravního proudu, tj. reálný pohyb vozidel, cyklistů a chodců v zájmovém území se zaměřením se na důležité části a aspekty dané varianty (např. ilustrace délky kolony nebo vlivu chodců na plynulost dopravy).

Obrázek 23 – Ukázka evaluační mapy ploch pro pohyb pěších, minutový průměr, LOS podle Fruina, (zdroj: AF-CITYPLAN)



## 10 DOPORUČENÁ STRUKTURA SIMULAČNÍHO POSUDKU

1. Titulní list, základní informace o zakázce
  - Název zakázky, druh zakázky (evakuační studie, simulační studie, bezpečnostní posudek...).
  - Datum zpracování.
  - Objednatel, zpracovatel, identifikační číslo.
  - Doplňující údaje (přílohy, rozsah...).
2. Zadání, popis úlohy
  - Popis co je předmětem analýzy a eventuálně také co předmětem již není.
  - Jaké otázky mají být zodpovězeny a eventuálně jaké otázky zodpovězeny být nemají.
  - Popis problému a cílů analýzy.
3. Popis objektů a prostorů
  - Způsob a čas využívání prostorů, není-li zřejmý.
  - Popis ploch a prostorů (popis objektu, geometrie apod.).

Pro evakuační studie také:

- Popis organizované protipožární ochrany.
  - Počet východů a jejich rozměry.
  - Značení únikových cest, definice bezpečných oblastí.
  - Popis protipožární infrastruktury.
4. Popis použitého softwaru a modelu
    - Název, výrobce, verze.
    - Použitý model/modely.
    - Kritické hodnoty (maximální hustota pěších, rychlosti...).
  5. Popis posuzovaných scénářů
    - Popis předpokladů a okrajových podmínek.
    - Počet simulačních procesů.
    - Zvolené předpoklady pro populaci v simulaci a odůvodnění (nutno zmínit zvláštnosti a specifika jako např. pohybové omezení apod.).
    - Počet osob a jejich rozmístění v objektu.
    - Popis zvolených a/nebo potřebných zjednodušení v simulačním modelu s odůvodněním.
    - Střední hodnoty hustoty, rychlosti, rozdělení četnosti.
    - Přiřazení osob k východům s odůvodněním (zejména u evakuačních studií).
  6. Výsledky a jejich interpretace
    - Představení výsledků a jejich interpretace
      - Celkový evakuační čas, zobrazení průběhu evakuace v časových krocích (min. 10) v jednotlivých částech simulovaného objektu/prostoru.
      - Grafické zobrazení (snímky) průběhu hustoty (časové a prostorové maxima).

- Zvláštnosti a mimořádnosti v průběhu simulace (např. výskyt front).

Pro evakuační studie také:

- Srovnání právními a technickými předpisy.
- Srovnání s předepsanými či očekávanými hodnotami.

## 7. Závěr

- Závěrečné hodnocení a shrnutí.
- Eventuální doporučení.

## 11 REJSTŘÍK

aplikace	17, 19, 20, 21, 22, 31
CCD	27, 28
CMOS	27, 28
dav	14, 17, 24, 26
distorze	30, 31
eskalátor	13
evakuace	9, 10, 11, 12, 15, 17, 20, 21, 22, 24, 34, 35, 47, 48, 52, 57, 58, 59, 61, 32, 63, 65
experiment	26, 27, 31, 33, 41, 62, 65
Fruin	39, 42, 44, 45, 51
Helbing	14, 18, 19, 25, 60
kongesce	9, 17, 18, 20, 47, 48, 57, 58, 75, 77, 78
mřížka	17, 30
optimalizace	7
panika	7, 9, 12, 24, 25
reakční doba	10, 22, 34, 35, 36, 66, 67, 68, 71
simulace	8, 11, 14, 15, 48, 49
RIMEA	10, 35, 36, 37, 39, 41, 46, 47, 66, 72, 74, 78
rovnice	18, 19, 49
úniková cesta	8, 9, 17, 34, 35, 46, 52, 58, 63,
výtah	13, 23, 59, 62, 65

## 12 LITERATURA

- [1] Evacmod.net: Evacuation Modelling Portal [online]. Dostupné z: <http://www.evacmod.net/>;
- [2] RIMEA: Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen [online]. Version: 2.2.1. 2009, 28 s. Dostupné z: <http://www.rimea.de/downloads/richtlinien/r2.2.1.pdf>;
- [3] Castle, Christian J. E.: Guidelines for Assessing Pedestrian Evacuation Software Application [working papers series], UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, 2007, ISSN 1467-1298;
- [4] Weidmann U., *Transporttechnik der Fußgänger*, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.

## 13 PŘÍLOHY

- [1] Popis vybraných simulačních softwaru
- [2] Simulační testy podle RIMEA



## PŘÍLOHA 1 – POPIS VYBRANÝCH SIMULAČNÍCH SOFTWAREŮ

Tato příloha uvádí stručnou charakteristiku 3 vybraných softwarových nástrojů.

### 1) VISSIM/VISWALK

#### a) *Hodnocení softwaru dle evacmod.net*

- Metoda modelování
  - Model chování  
Kromě pohybu chodců k určenému cíli zahrnuje také provádění akcí. Může také zahrnovat rozhodování chodců a/nebo akce, které jsou prováděny vlivem podmínek v budově.
  - Model pohybu  
Chodci se pohybují od jednoho bodu k jinému bez započtení lidského chování. Užitečné pro zobrazení ploch s kongescí, křižování nebo úzkých hrdel v simulované budově.
  - Model pohybu se zaměřením na optimalizaci času v evakuaci  
Zaměřen na optimalizaci času v evakuaci.
  - Parciální model chování  
Primárně pohyb jednotlivce vypočítával, ale již simuluje i chování. Možná chování mohou být implicitně reprezentována distribucí před-evakuačního času mezi jednotlivci, jedinečnými charakteristiky jednotlivců, chováním při předbíhání a zavedením kouře a vlivů kouře na jedince. Nesimuluje explicitně behaviorální akce a rozhodování.
- Účel
  - Umí simulovat jakýkoli typ budovy
- Síť/struktura (prostorová reprezentace)
  - Kontinuita  
Kontinuální: aplikuje 2-D (kontinuální) rovinu do půdorysné struktury, což umožňuje osobám v prostoru procházet z jednoho místa na druhé v celé budově. Osoby nejsou vázány na určitou buňku, ale často jsou zde pravidla, která omezují minimální vzdálenost mezi osobami.
- Perspektiva modelu/chodce – jak model nahlíží na chodce
  - Individuálně  
Model sleduje pohyb osob v simulaci a umí poskytnout informace o těchto osobách (např. jejich pozice v prostoru a v čase v průběhu evakuace).
- Perspektiva modelu/chodce – jak chodec nahlíží na budovu
  - Globálně:  
Osoby automaticky znají nejlepší (např. nejrychlejší, nejkratší, atd.) cesty k východu a zdá se, že mají "vševědoucí" rozhled v budově.
  - Individuálně:

Obyvatelé nevědí vše o únikových trasách budovy a rozhodují o svých trasách na základě uživatelem definovaných kritérií (např. všichni cestující mohou znát hlavní vchod na začátku evakuace, ale jen někteří jsou si vědomi ostatních východů), informací z podlaží, osobní zkušenosti a v některých modelech na základě informací od okolních osob.

- Chování
  - Implicitní chování  
Simuluje chování implicitně přiřazením určitého reakčního zpoždění nebo vlastnostmi osob, které ovlivňují pohyb po celou dobu evakuace.
  - Podmíněné chování (podle pravidel)  
Chování odráží modely, které přiřazují jednotlivé akce osobě nebo skupině osob na základě místních podmínek, např. strukturální nebo environmentální podmínky evakuace (např. "jestliže..., pak..." formulace nebo pravidla).
  - Pravděpodobnostní  
Reprezentuje to, že mnoho pravidel nebo modelů na bázi podmínek je stochastických, umožňujících variace ve výstupech při opakování určitých simulací.
- Pohyb
  - Uživatelská volba  
Uživatel přiřazuje rychlost, intenzitu a hodnoty hustoty pro vybrané prostory budovy.
  - Vzdálenost mezi chodci  
Každý jednotlivec je obklopen 360° „bublinou“, která vyžaduje dodržování minimální vzdálenosti od ostatních jedinců, překážek a součástí budov (stěny, rohy, zábradlí apod.).
  - Potenciál  
Každé buňce v prostoru je dána určitá číselná hodnota nebo potenciál od určitého bodu v budově, který přesune jednotlivce v určitém směru daným prostorem. Jednotlivci sledují potenciální mapu a usilují se snížit svůj potenciál s každým krokem nebo buňkou, do které se přemísťují. Potenciál trasy může být změněn proměnnými, jako je trpělivosti jedince, atraktivita východu, znalost prostoru budovy atd. (jsou obvykle specifikované uživatelem).
  - Podmíněnost  
S podmínkovými modely je pohyb po budově závislý na podmínkách prostředí, stavební konstrukci, ostatních evakuovaných osob a/nebo situaci požáru. Při pouze takovém určení není kladen velký důraz na kongesci uvnitř prostoru.
- Vliv a šíření požáru
  - Neumí zpracovat data o šíření požáru, všechny simulace spouští jako „cvičení“ nebo bez-požárový mód (viz také doplnění developera v následující kapitole).
- CAD
  - Ano, umožňuje vložení CAD výkresů.
- Vizualizace
  - 2D
  - 3D

- Validace
  - Validace dle požadavků předpisů.
  - Validace dle literatury o předchozích experimentech (intenzity apod.).
- Protiproud
  - Ano, umožňuje modelovat protiproud.
- Použití výtahu
  - Ano, umožňuje simulovat evakuaci budovy s využitím výtahů.
- Výběr trasy:
  - Optimální  
Osoby se pohybují po nejrychlejší trase (trase, která zabere nejméně času).
  - Nejkratší  
Osoby si zvolí nejkratší trasu pohybu.
  - Uživatelská  
Osoby si zvolí trasu definovanou uživatelem modelu.
  - Podmíněná  
Osoby si zvolí trasu na základě podmínek v budově.
- Skupiny
  - Ne, neumožňuje simulaci skupin v evakuaci.
- Toxicita
  - Ne, neumí simulovat omezení schopností nebo úmrtí osob vlivem toxických látek.
- Handicapovaní/pomalí chodci
  - Ano, umožňuje přiřazení nižších neomezovaných rychlostí pohybu osob, které se mohou pohybovat pomaleji.
- Zdržení/před-evakuační čas
  - Ano, umožňuje simulaci času, který evakuovaní čekají před započítáním vlastní evakuace.
- Blokování východů
  - Ano, osoby mohou blokovat východy.
- Stav požáru ovlivňuje chování
  - Ne, chování osob v důsledku požáru nelze měnit.

### ***b) Hodnocení softwaru dle developera***

Historie VISSIMu byla započata na počátku 90tých let jako software pro simulaci vozidel a hromadné dopravy. V současnosti je globálně nepoužívanějším dopravně plánovacím nástrojem. V raném stádiu mohli být chodci simulováni podobným stylem jako vozidla, tj. s možností pohybu po liniových prvcích (pruzích). Byla také k dispozici skupina parametrů za účelem přiblížení se dynamice chodců. Tato rychlá a jednoduchá forma simulace chodců je stále k dispozici, ale v roce 2008 byla integrovaná také plnohodnotná simulace pěších s využitím modelu sociálních sil. Tato je k dispozici v samostatném programu VISWALK nebo jako přídatný modul pro VISSIM.

## Simulační model

Simulační model softwaru VISSIM/VISWALK je postaven na modelu sociálních sil, který byl implementován v úzké spolupráci s Andersem Johanssonem a Dirkem Helbingem. Společnost PTV vyvinula a integrovala rozšíření modelu pro specifické chování (jako např. ve světelně signalizovaných a jiných křižovatkách, pro nástup a výstup z vlaku apod.).

### Chování v přítomnosti požáru

V dotazníku evacmod je k modelu uvedeno, že nedisponuje žádnou specifickou funkcí pro pohyb osob v oblasti s požárem. To je správně do té míry, že taková funkce není dosud k dispozici pro uživatele přes uživatelské rozhraní. Se zaměřením na požáry v silničních tunelech vyvinula společnost PTV AG ve spolupráci se skupinou profesora Paula Pauliho na univerzitě ve Würzburgu (katedra psychologie) pro výzkumný projekt SKRIBT několik modelových rozšíření pro chování při požáru. Tato funkcionalita je aktuálně nabízena pouze formou konzultací se společností PTV.

## 2) Pathfinder

### a) *Hodnocení softwaru dle evacmod.net 15*

- Metoda modelování
  - Model chování

Kromě pohybu chodců k určenému cíli zahrnuje také provádění akcí. Může také zahrnovat rozhodování chodců a/nebo akce, které jsou prováděny vlivem podmínek v budově.
- Účel
  - Umí simulovat jakýkoli typ budovy.
- Síť/struktura (prostorová reprezentace)
  - Kontinuita

Kontinuální: aplikuje 2-D (kontinuální) rovinu do půdorysné struktury, což umožňuje osobám v prostoru procházet z jednoho místa na druhé v celé budově. Osoby nejsou vázány na určitou buňku, ale často jsou zde pravidla, která omezují minimální vzdálenost mezi osobami.
- Perspektiva modelu/chodce – jak model nahlíží na chodce
  - Individuálně

Model sleduje pohyb osob v simulaci a umí poskytnout informace o těchto osobách (např. jejich pozice v prostoru a v čase v průběhu evakuace).
- Perspektiva modelu/chodce – jak chodec nahlíží na budovu
  - Individuálně:

Uživatelé objektu nevědí vše o únikových trasách budovy a rozhodují o svých trasách na základě uživatelem definovaných kritérií (např. všichni cestující mohou znát hlavní vchod na začátku evakuace, ale jen někteří jsou si vědomi ostatních východů), informací z podlaží, osobní zkušenosti a v některých modelech na základě informací od okolních osob.
- Chování
  - Implicitní chování

Simuluje chování implicitně přiřazením určitého reakčního zpoždění nebo vlastnostmi osob, které ovlivňují pohyb po celou dobu evakuace.
- Pohyb
  - Korelace hustoty

Přiřazuje rychlost a tok pohybu chodců (jednotlivců či skupiny) na základě koncentrace jejich proudu v prostoru. Při stanovení pohybu v závislosti hustotě nabízí model tři zdroje pohybu osob, jež se obvykle využívají v evakuačních modelech.
  - Vzdálenost mezi chodci

---

<sup>15</sup> Informační šablonu vytvořila Erica Kuligowski

Každý jednotlivec je obklopen 360° „bublinou“, která vyžaduje dodržování minimální vzdálenosti od ostatních jedinců, překážek a součástí budov (stěny, rohy, zábradlí apod.).

- Vliv a šíření požáru
  - Neumí zpracovat data o šíření požáru, všechny simulace spouští jako „cvičení“ nebo bez-požárový mód.
- CAD
  - Ano, umožňuje vložení CAD výkresů.
- Vizualizace
  - 2D
  - 3D
- Validace
  - Validace dle požadavků předpisů.
  - Validace dle cvičné požární evakuace nebo různých zkoušek/studií pohybu osob.
  - Validace dle literatury o předchozích experimentech (intenzity apod.).
  - Validace s jinými evakuačními modely.
- Protiproud
  - Ano, umožňuje modelovat protiproud.
- Použití výtahu
  - Ano, lze simulovat evakuace objektu prostřednictvím výtahů.
- Výběr trasy:
  - Různá
- Toxicita
  - Ne, neumí simulovat omezení schopností nebo úmrtí osob vlivem toxických látek.
- Handicapovaný/pomalí chodci
  - Ano, umožňuje přiřazení nižších neomezovaných rychlostí pohybu osob, které se mohou pohybovat pomaleji.
- Zdržení/před-evakuační čas
  - Ano, umožňuje simulaci času, který evakuovaní čekají před započítáním vlastní evakuace.
- Blokování východů
  - Ano, osoby mohou blokovat východy.
- Stav požáru ovlivňuje chování
  - Ne, chování osob v důsledku požáru nelze měnit.

#### **b) Hodnocení softwaru dle developera**

PathFinder 2012 je agentní evakuační simulátor, který nabízí přehledné uživatelské rozhraní jak pro zadávání vstupních parametrů, tak pro prezentaci a zpracování výsledků ve 3D vizualizačním nástroji. Údaje o geometrii simulovaného prostoru je možné do modelu importovat z programů PyroSim, FDS nebo z grafického formátu DXF.

### **Vysvětlivky k částem:**

*Metoda modelování (model chování):* Osoby mohou být ještě před zahájením evakuace z objektu přednastaveny k provádění „činností“ vztahující se ke korekci veškerého pohybu či případného zdržení. Při evakuaci již není využíván systém reagující na podmínky, jež se mohou objevit během pohybu osob modelem.

*Výběr trasy (Různá):* PathFinder 2012 využívá pro výběr únikové cesty algoritmu označovaného „místně nejrychlejší“. V aktuálním prostoru (např. místnosti) umí osoby analyzovat velikost front, využití fronty a vzdálenost k dalším dveřím, které jim poskytuje nejrychlejší celkový čas pro dosažení jejich současnému určenému cíli(ům).

*Validace:* Již PathFinder 2009 zahrnoval plně validační a verifikační manuál. Tento dokument je stále aktualizován (naposledy v roce 2012 - PathFinder 2012).

### 3) Exodus

#### a) *Hodnocení softwaru dle evacmod.net*

- Metoda modelování  
Jde o tzv. behaviorální model, kdy modelované osoby provádějí úkony za účelem dosažené předem specifikovaného cíle.
- Účel  
Je schopen modelovat jakýkoliv typ budovy.
- Síť/struktura (prostorová reprezentace)  
Reprezentace prostřednictvím sítě tzv. uzlů (nodes). Každý uzel o rozměru 0,5m x 0,5m může být v jednom okamžiku obsazen pouze jednou osobou.
- Perspektiva modelu/chodce – jak model nahlíží na chodce  
Model sleduje pohyb všech osob samostatně a je schopen poskytovat samostatně informace o osobách v průběhu simulace (např. intoxikace zplodinami v průběhu hoření).
- Perspektiva modelu/chodce – jak chodec nahlíží na budovu  
Individuální: každý jednotlivec má vlastní znalosti o budově a únikových východech.
- Chování  
Kombinace chování na základě vnějších podmínek a stochastických vlastností. Individuální chování jednotlivých osob závisí na lokálních podmínkách v budově (např. přítomnost překážek) v kombinaci s pravděpodobnostním (stochastickým) rozhodováním v určitých situacích.
- Pohyb  
Pohyb je realizován na základě potenciálové mapy. Pro každou osobu je modelovaná síť ohodnocena potenciálem, jehož hodnota se s rostoucí vzdáleností od únikového východu plynule mění. Tím je zajištěna volba optimální trasy, kdy se chodec snaží svůj potenciál co nejrychleji snižovat (ekvivalent s gravitačním nebo elektrostatickým modelem). Potenciálová mapa je kromě vzdálenosti ovlivňována celou sadou dalších parametrů (obtížnost trasy, překážky, viditelnost, hustota chodců apod.) Pokud je cílová buňka obsazena, osoba v určitých situacích vyčká na její uvolnění.
- Vliv a šíření požáru  
Je možné importovat data o šíření požáru z externích modelů. Primárním zdrojem jsou výstupy z modelu SMARTFIRE stejného výrobce, je ovšem možné importovat i další (např. výstup z modelu CFAST).
- CAD  
Ano, je možný import výkresů ve formátu DXF pro rychlejší konstrukci geometrie.
- Vizualizace  
Vizualizace primárně 2D, je možné sledovat i 3D výstup pro prezentaci výsledků.
- Validace  
Validace je možná na základě vlastních provedených experimentů, na základě výsledků v literatuře (některé referenční experimenty) a oproti jiným modelům.
- Protiproud



Ano, umožňuje modelovat protiproud.

- Použití výtahu

Ne, pouze jako experimentální verze formou konzultací, která není nabízena veřejně.

- Výběr trasy

Nejkratší trasa, uživatelsky definovaná trasa, trasa zvolená na základě vnějších podmínek.

- Skupiny

Ano, umožňuje simulovat evakuaci ve skupinách.

- Toxicita

Ano, je možné simulovat vliv toxických látek na osoby.

- Handicapovaný/pomalí chodci

Ano, umožňuje simulovat evakuaci handicapovaných osob.

- Zdržení/před-evakuační čas

Ano, zahrnuje zdržení před vlastním započítáním evakuace.

- Blokování východů

Ano, je možné uzavírat východy.

- Stav požáru ovlivňuje chování

Ano, chování osob je ovlivněno expozicí vysokými teplotami.

#### ***b) Hodnocení softwaru dle developera***

Software EXODUS je vyvíjen na University of Greenwich od 80. let minulého století v rámci Fire Safety Engineering Group pod vedením prof. Edwina Galeya. V současné době patří mezi špičkové nástroje pro modelování a simulaci velmi široké škály situací.

#### **Simulační model**

Základ modelu představuje chování osob na základě heuristik se stochastickým vlivem za účelem dosažení konkrétního cíle (únikového východu). Jde tak o obdobu v současnosti velmi rozšířeného agent-based modelování.

#### **Chování v přítomnosti požáru**

Model zahrnuje také velmi důležité vlivy požáru a toxických látek na evakuované osoby. Je zde možnost přímého propojení se samostatnou aplikací pro modelování požáru na bázi CFD (produkt SMARTFIRE), kdy dojde nejprve k výpočtu rozložení teploty a koncentrací škodlivých látek v čase, následně jsou tato data použita jako jeden ze vstupů v produktu EXODUS a slouží pro průběžný výpočet dopadů těchto jevů na evakuované osoby.

## PŘÍLOHA 2 – SIMULAČNÍ TESTY PODLE RIMEA

RIMEA (Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen) je německá směrnice pro mikroskopické evakuační analýzy. Vznikla v rámci projektu RIMEA s přispěním expertů z Německa, Rakouska a Švýcarska a je nadále je podporována a vyvíjena stejnojmenným sdružením.

### 1) Test 1

Má prokázat, že simulovaná osoba projde 2 metry širokou a 40 metrů dlouhou chodbou při definované rychlosti v odpovídajícím čase. Z nastavení nepřesností na 40 cm (rozměry těla), 1 s (pro reakční dobu) a 5 % pro rychlost, při typické rychlosti chodce 1,33 m/s vyplývá následující požadavek: rychlost by měla být nastavena mezi 4,5 a 5,1 km/h. Cestovní čas by měl při nastavených 1,33 m/s ležet v rozmezí 26 až 34 sekund.

Měření probíhá na 40m úseku mezi bílou a černou plochou (viz obrázek níže). Nastavení časového kroku 0,1 s může vést ke zkrácení či prodloužení délky cesty. Z naměřeného minimálního času cesty a daného časového kroku simulace může dojít ke změně rychlosti až o 0,010 m/s (0,036 km/h).

#### Předpoklady

Délka chodby:	40 m
Rozložení rychlosti:	1,25 až 1.42 m/s
Počet běhů simulace:	jeden běh, 1000 měření
Časový krok simulace:	0,1 sekundy [Implicitní: maximální přesnost měření času]

Obrázek 24 – Situace



Tmavě červená plocha: místo generování chodců

Bílá: zahájení měření času

Černá: konec měření cestovního času

Tmavě zelená plocha: cílová oblast

Tmavě šedá: chodba

Světle šedá: pasivní okolí

### 2) Test 2

Má prokázat, že simulovaná osoba projde schodištěm o šířce 2 metry a délce 10 metrů (měřeno podél sklonu) při definované rychlosti v odpovídajícím čase.

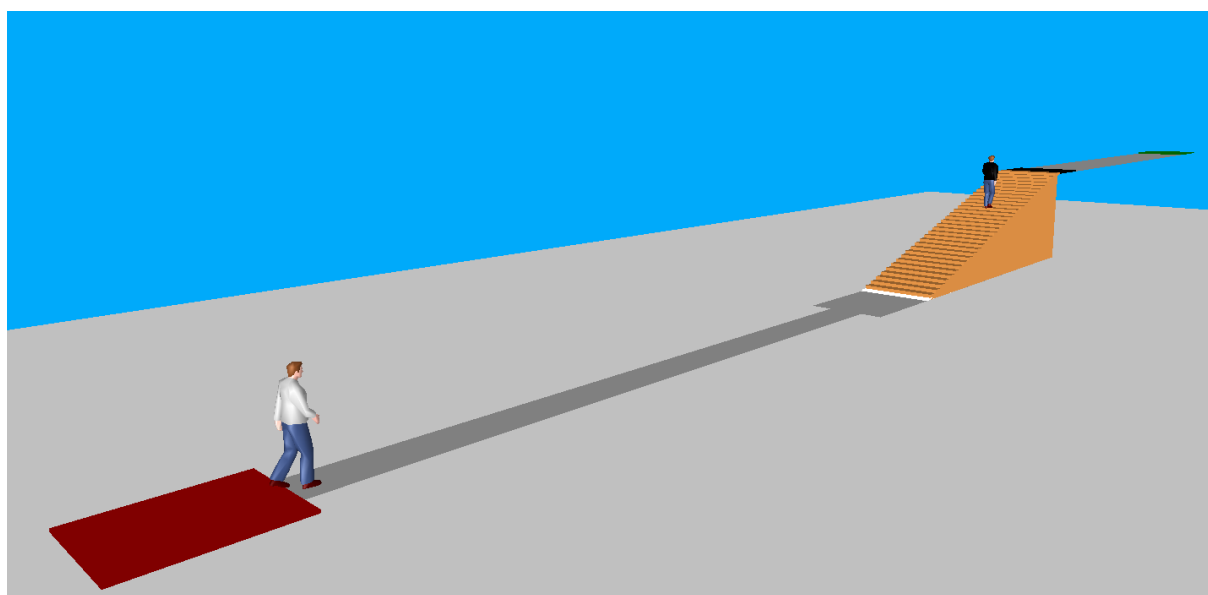
Předpoklady testu č. 1 (nastavení nepřesností na 40 cm (rozměry těla), 1 s (pro reakční dobu) a 5 % pro rychlost, při typické rychlosti chodce 1,33 m/s vyplývá následující požadavek: rychlost by měla být nastavena mezi 4,5 a 5,1 km/h. Cestovní čas by měl ležet v rozmezí 7,04 až 8 sekund.) platí v odpovídajících hodnotách.

#### Předpoklady

Délka schodiště: [m]	10 (horizontálně 9,56 m a vertikálně 2,93 m)
Rozložení rychlosti:	1,25 až 1.42 m/s
Počet běhů simulace:	jeden běh, 1000 měření
Časový krok simulace:	0,1 sekundy [Implicitní: maximální přesnost měření času]

Měření probíhá na 40m úseku mezi bílou a černou plochou (viz obr. 2). Nastavení časového kroku 0,1 s může vést ke zkrácení či prodloužení délky cesty. Z naměřeného minimálního času cesty a daného časového kroku simulace může dojít ke změně rychlosti až o 0,010 m/s (0,036 km/h).

Obrázek 25 – Situace 3D



Obrázek 26 – Situace 2D



Tmavě červená plocha: místo generování chodců

Bílá: zahájení měření času

Černá: konec měření cestovního času

Tmavě zelená plocha: cílová oblast

Tmavě šedá: chodba

Světle šedá: pasivní okolí

Hnědá: schodiště

### 3) Test 3 - schodiště dolů

Má prokázat, že simulovaná osoba projde schodištěm o šířce 2 metry a délce 10 metrů (měřeno podél sklonu) při definované rychlosti v odpovídajícím čase. Předpoklady testu č. 1 platí v odpovídajících hodnotách.

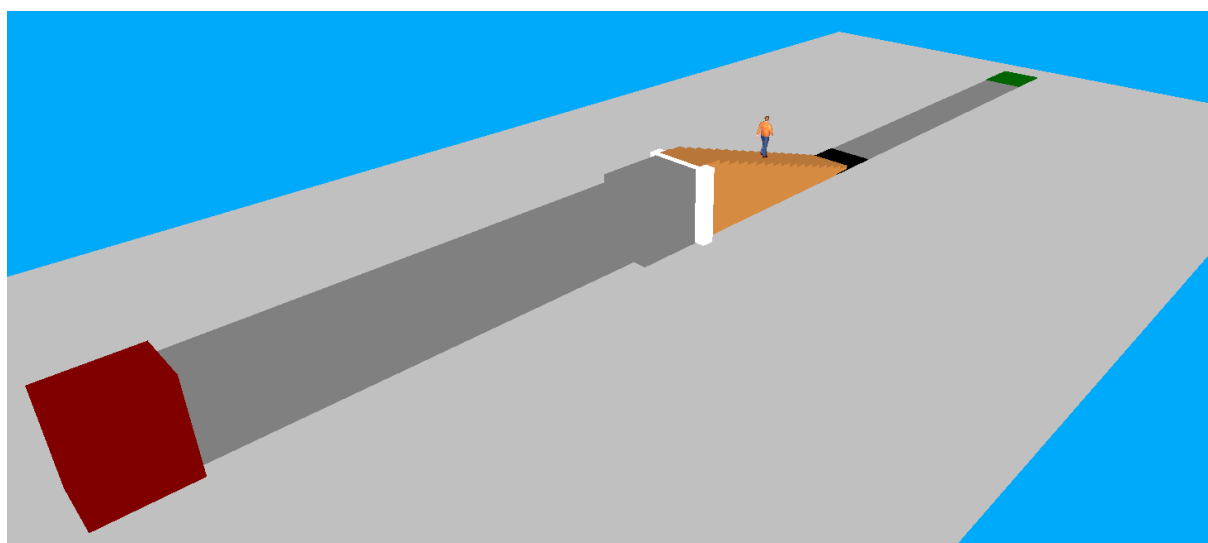
Předpoklady testu č. 1 (nastavení nepřesností na 40 cm (rozměry těla), 1 s (pro reakční dobu) a 5 % pro rychlost, při typické rychlosti chodce 1,33 m/s vyplývá následující požadavek: rychlost by měla být nastavena mezi 4,5 a 5,1 km/h. Cestovní čas by měl ležet v rozmezí 7,04 až 8 sekund.) platí v odpovídajících hodnotách.

Předpoklady

Délka schodiště: [m]	10 (horizontálně 9,56 m a vertikálně 2,93 m)
Rozložení rychlosti:	1,25 až 1.42 m/s
Počet běhů simulace:	jeden běh, 1000 měření
Časový krok simulace:	0,1 sekundy
	[Implicitní: maximální přesnost měření času]

Měření probíhá na **10 m úseku mezi bílou a černou** plochou (viz obr. níže). Nastavení časového kroku 0,1s může vést ke zkrácení či prodloužení délky cesty. Z naměřeného minimálního času cesty a daného časového kroku simulace může dojít ke změně rychlosti až o 0,010 m/s (0,036 km/h).

Obrázek 27 – Situace 3D



Obrázek 28 – Situace 2D



Tmavě červená plocha: místo generování chodců

Bílá: zahájení měření času

Černá: konec měření cestovního času

Tmavě zelená plocha: cílová oblast

Tmavě šedá: chodba

Světle šedá: pasivní okolí

Hnědá: schodiště

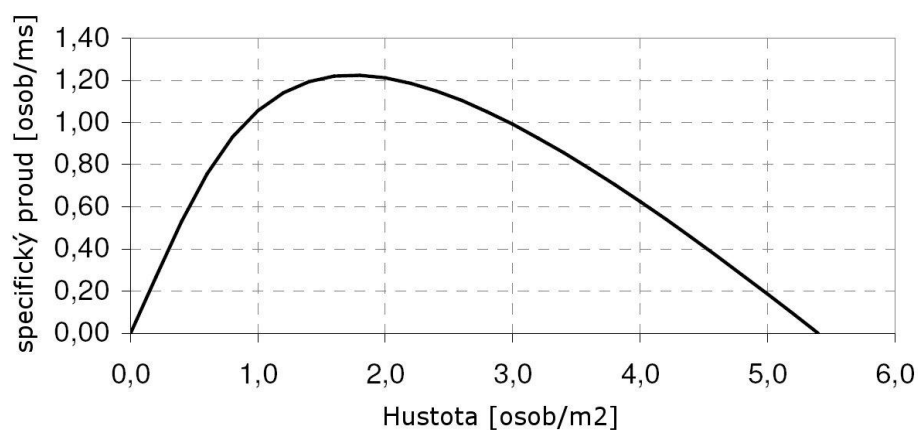
#### 4) Test 4

Specifický proud je počet osob, které projdou určitým profilem se světloú šířkou 1 metr za 1 sekundu. Jednotkou je osob/m.s. Specifický proud je závislý především na hustotě osob (jednotka: osob/m<sup>2</sup>) a dá se vypočítat následující rovnicí:

$$\Phi_{s,\max} = \rho \cdot 1,34 \cdot \left( 1 - e^{-1,913 \cdot \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{5,4} \right)} \right)$$

Výše uvedené rovnici odpovídá fundamentální diagram na obrázku níže.

Obrázek 29 – Fundamentální diagram podle Weidmanna<sup>16</sup>



Jako směrná data slouží následující maximální proudy. Hodnota maximálních možných specifických proudů se může lišit dle populace.

---

<sup>16</sup> Weidmann U., *Transporttechnik der Fußgänger*, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.

Tabulka 13 – Specifický proud na schodech, v chodbách a dveřích<sup>17</sup>

druh konstrukce	maximální specifický proud [osob/m.s]
schody dolů	1,10
schody nahoru	0,88
chodby, dveřní otvory	1,30

Pro 4 metry širokou chodbu s periodickými okrajovými podmínkami a minimální délkou 30 m je možné zobrazit vztah proud-hustota v závislosti na parametrech. Proud a hustota mají být přitom stanoveny pro celou chodbu. Periodické okrajové podmínky znamenají, že osoby, které chodbu na jejím konci opustí, do ní na opačném konci bez časové prodlevy vstoupí.

Tento teoretický předpoklad je nutný k odvození fundamentálního diagramu. Fundamentální diagram by měl být vypočten pro okruh s vnitřním průměrem od 20 do 200 m. Pak by mělo být pro hustotu 4 osoby/m<sup>2</sup> zdokumentováno, jak se mění hodnota proudu v tomto rozsahu poloměru. Přitom musí být provedeno pro alespoň 5 různých výpočtů s poloměry rovnoměrně rozdělenými v tomto rozsahu.

Předpoklady

Délka x šířka chodby: [m]	1000 x 10
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50let 4 % s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	jeden běh, 1 000 měření
Počet chodců	5 000, 10 000, 20 000, 30 000, 40 000, 50 000, 60 000
Simulace:	1 běh pro každý „počet chodců“, vyhodnocování každých 60s

Požadovaná hustota je dosažena načtením určitého počtu chodců do plochy 10 000 metrů čtverečních. Chodci jsou načtení během první sekundy simulace.

Obrázek 30 – Situace



<sup>17</sup> SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition NFPA 1995.

Obrázek 31 – Detail situace



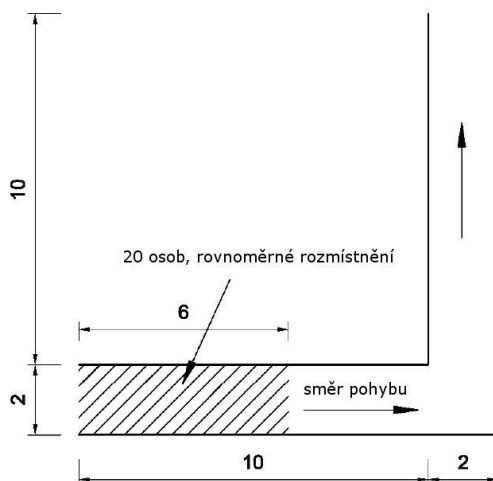
5) Test 5

10 osob v místnosti velikosti 8 m x 5 m s jedním východem šířky 1 m, který se nachází ve středu 5 m dlouhé stěny. Nastav reakční dobu následovně: rovnoměrně rozložená mezi 10 s a 100 s. Ověř, že každá osoba vystartuje v odpovídajícím časovém okamžiku.

6) Test 6

20 osob, které se pohybují na trase s levým rohovým odbočením, úspěšně překonají roh chodby bez křížování stěn.

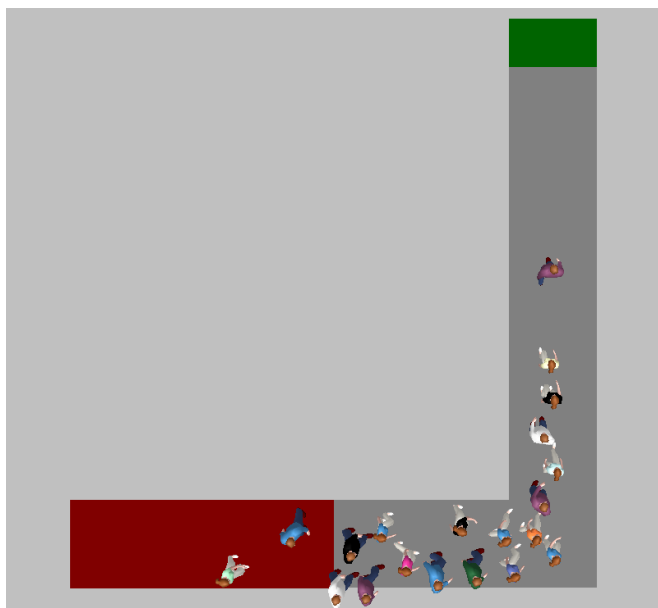
Obrázek 32 – Schéma testu č. 6



Předpoklady

Počet osob:	20
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50let 4 % s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	10

Obrázek 33 – Obrázek ze simulace



## 7) Test 7

Vyber dle tabulky níže jednu ze skupin skládající se z dospělých osob a přiřdi rychlosti v populaci 50 osob. Ukaž, že rozdělení rychlostí v simulaci je srovnatelné s rozdělením v tabulce níže:

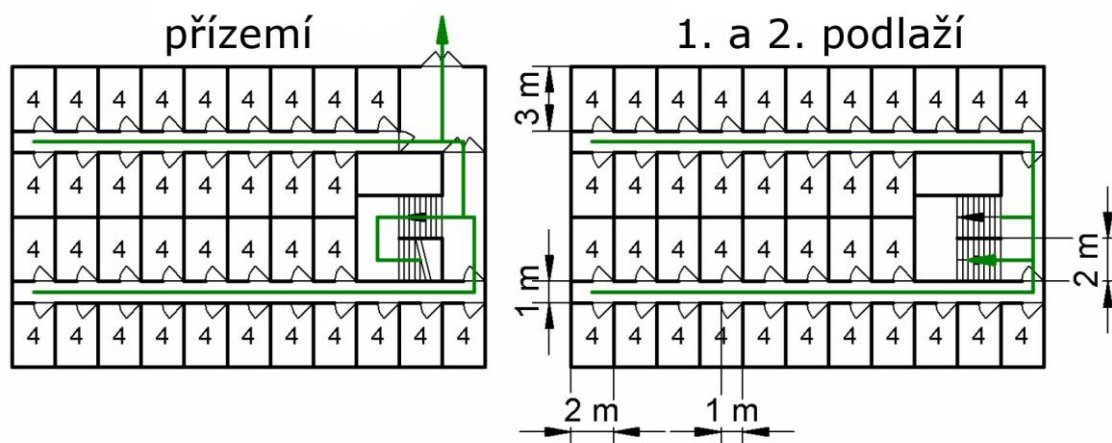
skupina osob	rychlost chůze v rovině [m/s]	
	minimum	maximum
do 30 let	0,58	1,61
30 až 50 let	1,41	1,54
nad 50 let	0,68	1,41
osoby s omezenou mobilitou	0,46	0,76

## 8) Test 8

**Parametrová analýza** slouží k zobrazení důsledků/působení parametrů použitých v simulaci. Pro testovací třípodlažní půdorys uvedený níže **má být zobrazeno, jak se mění celkový evakuační čas, když se mění jednotlivé parametry osob**. Toto má být opakováno pro každý jednotlivý parametr, přičemž ostatní parametry budou konstantní. Vyšetřovaný parametr má přitom být nastaven jedenkrát pro všechny osoby stejný a (např. rychlost všech osob 1 m/s) a jedenkrát statisticky rovnoměrně rozdělen kolem střední hodnoty. Výsledky mají být znázorněny v grafech (tyto je možné odeslat na stránky projektu RIMEA, kde budou volně k dispozici).



Obrázek 34 – Schéma testu č. 8



Druhé patro se liší od prvního absencí schodiště směrem nahoru.

#### Předpoklady

Počet osob:	448 (4 v každé místnosti)
Rozložení rychlosti (populace):	50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	1 běh, 10 měření

#### 9) Test 9 - Opuštění velké plochy

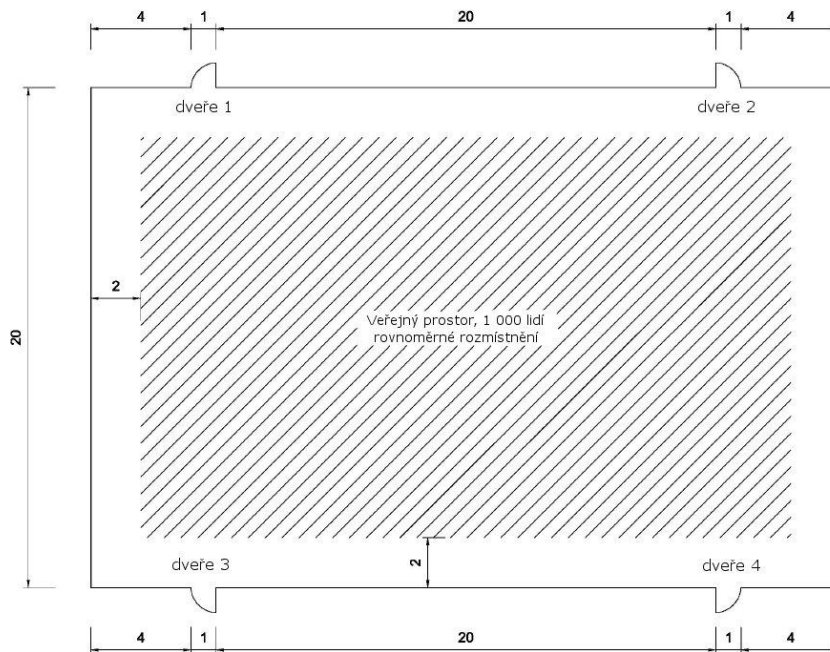
Veřejný prostor se čtyřmi východy a 1 000 osobami rovnoměrně rozmístěnými v prostoru. Vyber populaci dospělých osob z tabulky č. 1 s okamžitou reakcí a rozděl v ní rychlosti 1 000 osobám.

Krok č. 1: Zaznamenej čas, ve který opustí místnost poslední osoba.

Krok č. 2: Dveře č. 1 a 2 uzavři a opakuj krok č. 1.

Očekávaným výsledkem je přibližně zdvojnásobení času potřebného k opuštění prostoru.

Obrázek 35 – Schéma testu č. 9



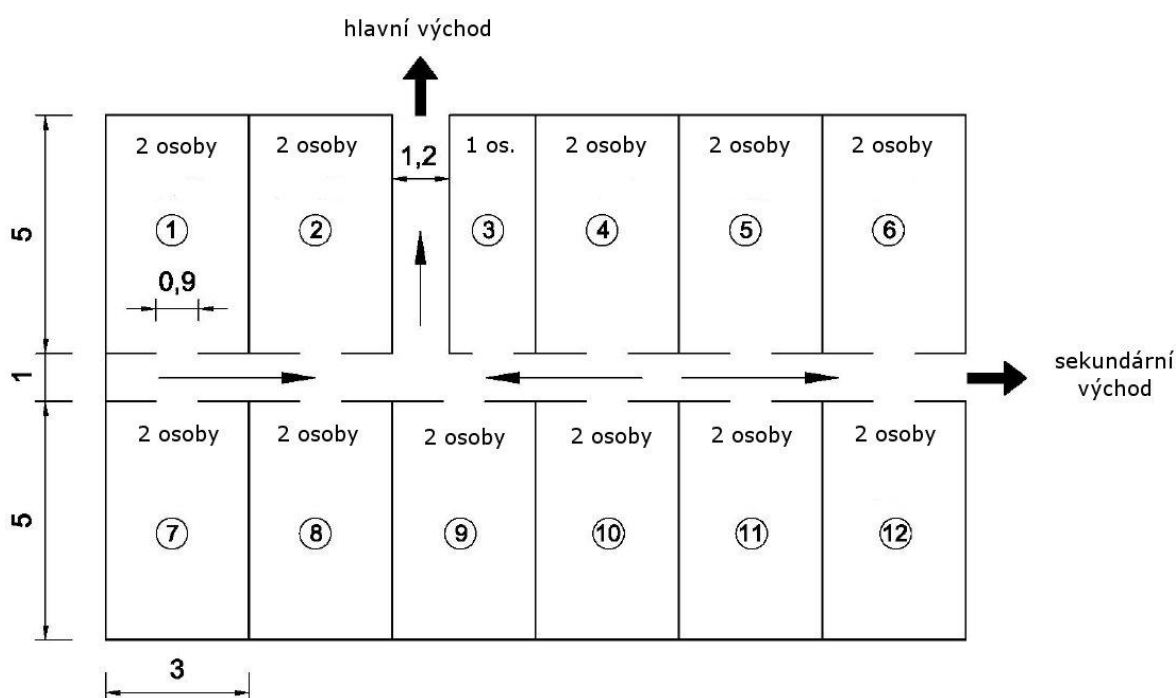
Předpoklady

Počet osob:	1000
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50let 4 % s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	100 - pro každý případ

10) Test 10

Sestav sekci chodby dle obrázku níže s populací dospělých osob z tabulky RIMEA s okamžitou reakcí a rozděl rychlosti v populaci 23 osob. Osoby v místnostech 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 a 10 jsou přiřazeny hlavnímu (primárnímu) východu, všechny ostatní osoby sekundárnímu východu.

Obrázek 36 – Schéma testu č. 10



Očekávaným výsledkem je, že všechny přiřazené osoby jdou k odpovídajícímu východu.

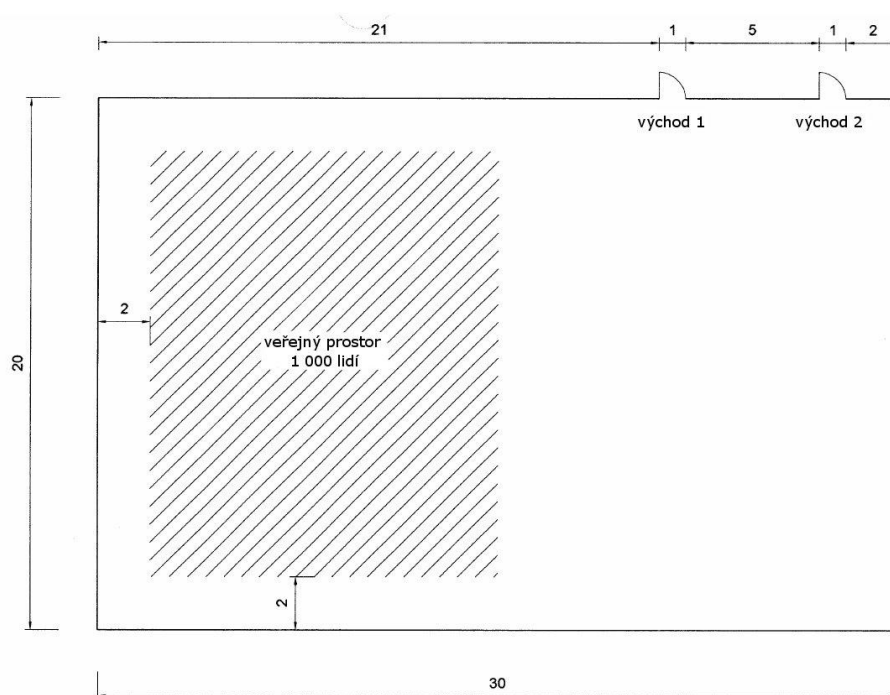
#### Předpoklady

Počet osob:	23
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50let 4 % s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	3

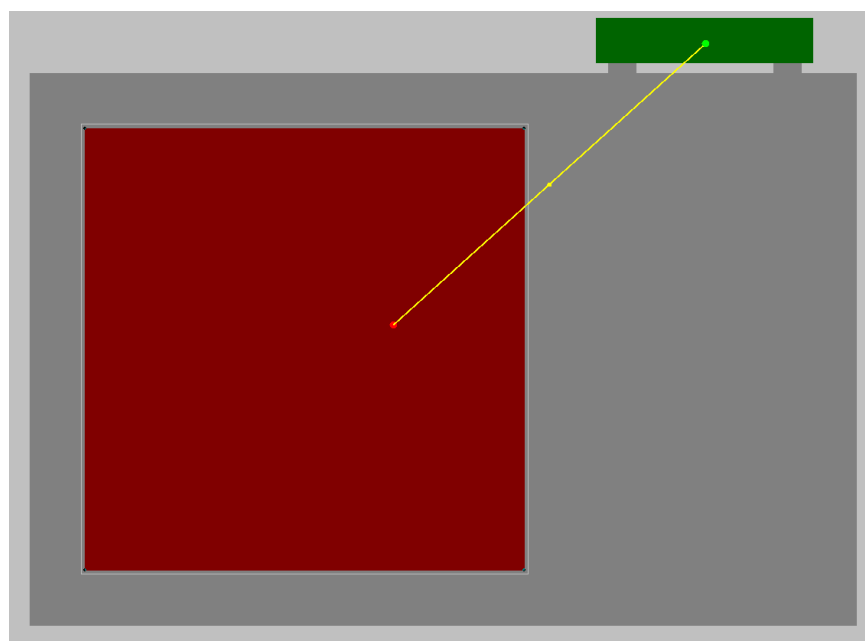
#### 11) Test 11

Veřejný prostor disponuje dvěma východy (viz obr. níže). Zvol populaci dospělých osob z tabulky RIMEA s okamžitou reakcí a rozděl rychlosti v populaci 1000 osob. Místnost má být zleva obsazena maximální možnou hustotou. Očekávaným výsledkem je, že osoby sice upřednostňují bližší východ č. 1 a v této oblasti vznikají kongesce, ale jednotlivé osoby použijí i alternativní východ č. 2.

Obrázek 37 – Schéma testu č. 11



Obrázek 38 – Schéma testu č. 11



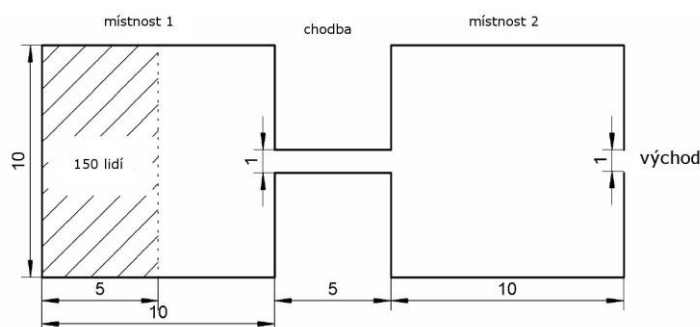
### Předpoklady

Počet osob:	1 000
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50let 4% s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	1 běh, 11 měření

### 12) Test 12

Sestav místnost, která je prostřednictvím chodby spojená s jinou místností (viz obr. níže) a vyplň dle předlohy populací 150 dospělých osob. Reakční čas je 0 s.

Obrázek 39 – Schéma testu č. 12



Jelikož proud osob je omezen chodbou, může ke kongesci docházet pouze v místnosti č. 1 a v místnosti č. 2 nikoliv.

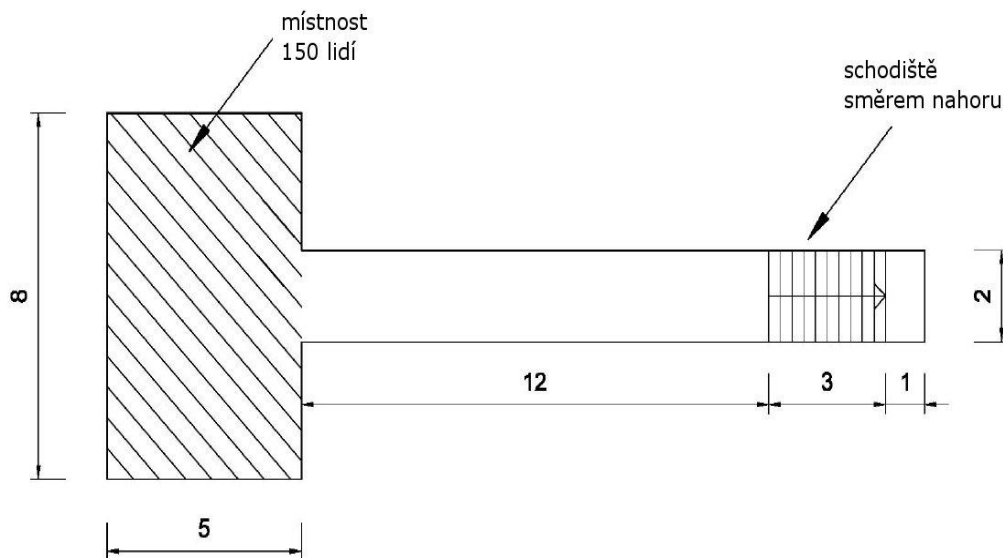
### Předpoklady

Počet osob:	150
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50let 4 % s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50 % žen
Počet běhů simulace:	1 běh 10 měření

13) Test 13

Sestav místnost, která je chodbou spojena se schodištěm (viz obr. níže), obsazena populací dospělých osob (dle předlohy) z tabulky RIMEA, s okamžitou reakcí a rozděl rychlosti v populaci 150 osob. Očekávaným výsledkem je, že u východu z místnosti vznikne kongesce, která vytvoří plynulý proud osob v chodbě. Navíc se očekává kongesce na počátku schodiště, která by s časem měla růst, jelikož proud osob na schodišti je slabší než v chodbě.

Obrázek 40 – Schéma testu č. 13



Předpoklady

Počet osob:	150
Rozložení rychlosti (populace):	Všechny rychlosti podle Weidmanna: 32 % pod 30 let 32 % 30-50 let 32 % nad 50 let 4 % s omezenou pohyblivostí 50 % mužů, 50% žen
Počet běhů simulace:	10 - pro každý případ

Ve VisWalku se daná požadovaná rychlost na rampách a schodech aplikuje „šikmo“ (podél sklonu). To znamená, že chodec je v horizontální (půdorysní) projekci pomalejší. Tím vzniká před schodištěm kongesce, jejíž rozměr závisí na podélném sklonu schodiště. V tomto testovacím příkladu je horizontální délka dána, ale není dán výškový rozdíl mezi podlažími, simulace jsou provedeny pro výškový rozdíl 0, 1, 2 a 3 metry. Vedle toho může být schodišti nebo rampě (a každé jiné ploše) přiřazeno některé z obecně definovaných odlišujících se rozdělení požadované rychlosti.

## 14) Test 14

### „Výběr trasy“

Zdrojová (v obrázku znázorněna červeně) a cílová (v obrázku znázorněna zeleně) plocha jsou navzájem propojeny dvěma schodišti a chodbou v přízemí (tj. o podlaží níže) a také chodbou (delší) ve stejném podlaží. Vyberou si chodci kratší trasu přes jiné podlaží nebo delší trasu ve stejném podlaží? (zdokumentuj: „dlouhá“, „konfigurovatelná“, „krátká“, nebo „smíšená“).

*Obrázek 41 – Obrázek situace.*

