



**Metodika využití detekce pěších pro městské plánování  
a analýzu rizik**

## **Metodika využití detekce pěších pro městské plánování a analýzu rizik**

Zpracovali:

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D., Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D., Ing. Petra Okřinová

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební*

Ing. David Herman

*RCE systems s.r.o.*

Brno, 2019

**Výsledek vznikl v rámci řešení projektu TH02010372 Systém pro monitorování, vyhodnocování a řízení proudů chodců a cyklistů, podpořeného Technologickou agenturou ČR v rámci programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON.**

## OBSAH

1	Předmět metodiky, její určení a přínos pro praxi .....	5
2	Detekce pěších a cyklistů pomocí stereoskopických a monoskopických kamer .....	6
2.1	Počítačové vidění – obecné principy strojového učení .....	6
2.2	Stereoskopické systémy .....	7
2.2.1	Instalace a provoz .....	7
2.2.2	Výhody a nevýhody stereoskopického systému .....	8
2.3	Monoskopické systémy .....	8
2.3.1	Instalace a provoz .....	9
2.3.2	Výhody a nevýhody monoskopických systémů .....	10
2.4	Obecné zásady měření dopravního proudu pěších pomocí systému analýzy obrazu ....	10
2.4.1	Pohled na scénu .....	10
2.4.2	Povětrnostní a světelné podmínky .....	10
2.4.3	Doba měření .....	10
2.4.4	Reálná přesnost měření .....	11
3	Klíčové veličiny pěší dopravy .....	11
3.1	Intenzita pěšího proudu .....	11
3.2	Hustota pěšího proudu .....	11
3.2.1	Individuální prostor .....	12
3.2.2	Statická hustota skupiny osob .....	13
3.2.3	Dynamická hustota skupiny osob .....	14
3.3	Rychlost pohybu osob .....	15
3.3.1	Individuální rychlost pohybu dle dostupných standardů .....	15
3.3.2	Rychlost pohybu po rovině .....	15
3.3.3	Rychlost pohybu po schodech .....	16
3.4	Věkové složení .....	17
3.5	Rychlost, intenzita a hustota .....	18
3.6	Vybrané kvalitativní charakteristiky specifických druhů pěších .....	19
3.6.1	Osoba s omezenou schopností pohybu a orientace .....	19
3.6.2	Osoba s doprovodem .....	20
3.6.3	Vázaná skupina osob .....	20
4	Úroveň kvality pěší dopravy .....	21
4.1	Úroveň kvality pěší dopravy podle dalších standardů .....	23
5	Případové studie využití analýzy pohybu pěších a jeho simulace .....	24
5.1	Analýza pohybu osob na Masarykově třídě v Brně .....	26

5.1.1	Řešená lokalita .....	26
5.1.2	Model lokality .....	27
5.1.3	Přínosy aplikace.....	29
5.2	Revitalizace ul. Nádražní .....	30
5.2.1	Řešená lokalita .....	30
5.2.2	Model lokality .....	30
5.2.3	Přínosy aplikace.....	31
5.3	Přednádražní prostor Brno-Dolní nádraží.....	32
5.3.1	Řešená lokalita .....	32
5.3.2	Model lokality .....	32
5.3.3	Přínosy aplikace.....	33
5.4	Studie širších vztahů a rozptylových ploch .....	34
5.4.1	Řešená lokalita .....	34
5.4.2	Model lokality .....	35
5.4.3	Přínosy aplikace.....	36
	Seznam obrázků .....	38
	Seznam tabulek.....	40
	Literatura.....	41
	Seznam publikací, které předcházely metodice .....	43

## 1 PŘEDMĚT METODIKY, JEJÍ URČENÍ A PŘÍNOS PRO PRAXI

---

Cílem metodiky je podpořit zavedení pokročilých metod analýzy obrazu pro extrakci dat o pohybu zejména pěších a cyklistů v urbánních oblastech, a v návaznosti na to využití těchto dat v mikroskopických modelech pohybu pěších a cyklistů v těchto oblastech.

Metodika se ve své první části zaměřuje na aplikaci systémů pro detekci pěších a cyklistů prostřednictvím stereoskopických a monoskopických kamer a stanovuje obecné zásady měření dopravního proudu pěších pomocí systému analýzy obrazu.

V další části se věnuje klíčovým veličinám pěší dopravy, na které je nutné se v rámci detekce zaměřit, a dále veličinám detekovatelným obtížně či vůbec, nicméně rovněž zásadním pro pozdější zpracování. Na tuto část navazuje definice úrovně kvality pěší dopravy jako metriky původně určené pro motorovou dopravu, která se postupně rozšířila právě do pěší dopravy.

V poslední části jsou uvedeny čtyři případové studie: analýza pohybu osob v pěší zóně, revitalizace dvou přednádražních prostorů a studie širších vztahů a rozptylových ploch v okolí stadionu.

Metodika je určena zejména pro pracovníky z řad státní správy a samosprávy, kteří odpovídají za návrh a provoz systémů spojených se sběrem dopravních dat a jejich vyhodnocením, a současně pro pracovníky z řad projektantů pozemních komunikací, kteří chtějí navrhované změny stávajících řešení nebo řešení zcela nová podrobit kapacitnímu nebo jinému typu posouzení před jeho realizací.

Novost metodiky spočívá v propojení informací o analýze obrazu, která se dnes prosazuje zejména v podobě extrakce dat prostřednictvím strojového učení, a informací o agentních modelech pěší dopravy, které se v současnosti rychle rozšiřují z původní domény požární bezpečnosti do oblastí ryze provozních a spojených s efektivitou využití veřejných prostranství, jejich kapacitou a obecně vnímání veřejného prostoru jako takového.

## 2 DETEKCE PĚŠÍCH A CYKLISTŮ POMOCÍ STEREOSKOPICKÝCH A MONOSKOPICKÝCH KAMER

---

Měření dopravního proudu pěších je z historického hlediska problematickou a nákladnou záležitostí. Tato situace se v posledních letech mění díky rychlému rozvoji metod počítačového vidění, které umožňuje měřit dopravní proud chodců stejně efektivně a přesně, jako dopravní proud vozidel, kde jsou již dlouhou dobu k dispozici spolehlivé automatické systémy. Navíc je možné přímo měřit rychlost a hustotu pěšího proudu, případně interakce mezi jednotlivými osobami. Metody počítačového vidění jsou také relativně jednoduché na instalaci a provoz hardwaru, často je možné využít stávající digitální kamerové systémy. V praxi se můžeme setkat se dvěma základními systémy, a sice se systémem monoskopickým, který využívá standardní kamery a systémem stereoskopickým, které pracuje na mírně odlišném principu.

### 2.1 POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ – OBECNÉ PRINCIPY STROJOVÉHO UČENÍ

Strojové učení je velice stará disciplína a první pokusy s umělými neuronovými sítěmi (tehdy spíše v teoretické rovině), které se pro počítačové vidění používají nejčastěji, sahají do meziválečného období. První neuronové sítě ovšem nebyly schopné pracovat se všemi logickými operátory a na dlouhý čas upadly v zapomnění. Do popředí dostaly jiné metody strojového učení (např. rozhodovací stromy nebo podpůrné vektory...), samotné neuronové sítě se opět začaly vracet na scénu v 80. letech minulého století jako tzv. hluboké neuronové sítě, které byly tvořeny více vrstvami neuronů. S masivním nárůstem výpočetního výkonu v posledních dekádách se pak neuronové sítě a další formy strojového učení stali přístupným nástrojem, s jehož pomocí je možné řešit jinými metodami nevládnutelné úkoly.

Umělé neuronové sítě (ANN) bývají často označovány jako umělá inteligence, avšak toto označení je zavádějící. Z matematického pohledu se jedná o vícerozměrné (v řádech tisíců nebo milionů) polynomy, s jejichž pomocí aproximujeme na základě vstupních dat pravděpodobný výsledek. Z praktického hlediska se jedná o „černou skříňku“ (jejíž obsah ovšem v žádném případě není triviální), které předkládáme vstupní hodnoty a k nim odpovídající výstupní hodnoty (tzv. trénovací dataset). Tento proces se nazývá trénováním ANN a v případě analýzy obrazu jsou zapotřebí řádově desítky tisíc vzorků, které je potřeba ručně upravit a roztřídit. Následně na jiném souboru vzorků (testovací dataset) měříme spolehlivost klasifikace (detekce). Pokud s výsledky nejsme spokojeni, je zapotřebí ANN nebo jiný komponent systému upravit a proces zopakovat dokud nedostaneme uspokojivé výsledky.

**Jakmile je ANN natrénovaná, není možné zpětně určit, jak přesně zpracování a detekce v obrazových informacích probíhá a pro uživatele se tedy ANN jeví jako zmíněná „černá skříňka“.**

**Principy strojového učení lze shrnout do následujících bodů:**

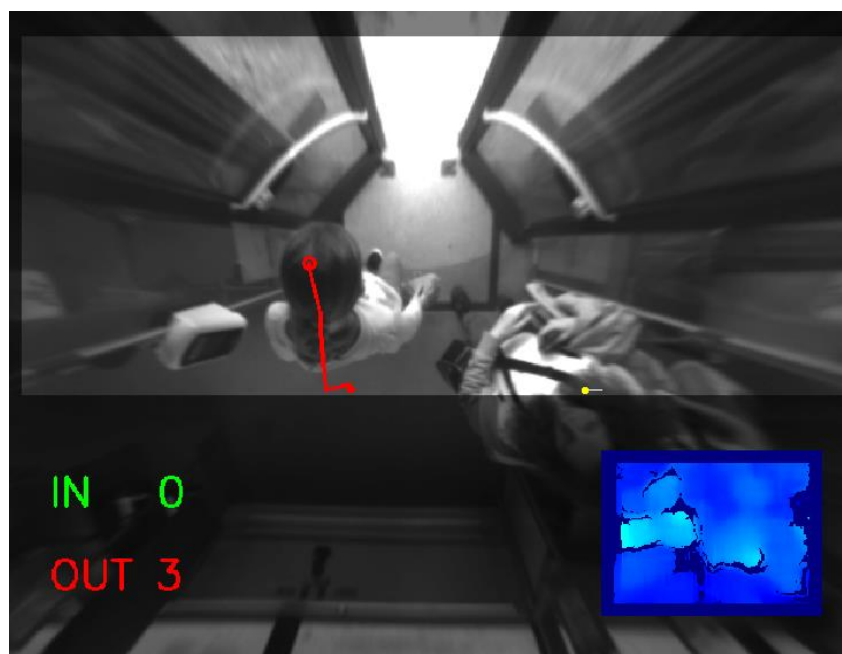
- učení velkých hlubokých neuronových sítí je složitý proces, při němž jsou využívány různé techniky - síť je například na počátku učena na složitější problém, aby se naučila generalizovat, a pak optimalizována na konkrétní úlohu; optimalizovaná síť na danou

úlohu pak může být dále adaptována na konkrétní nasazení při ztrátě obecnosti (dochází k větší specializaci)

- v případě obrazu se používají již předpřipravené architektury sítí, které jsou dále dolad'ovány / síť je možné „rozřezat“ na jednotlivé části a ty učit na dílčí problémy (například extrakce příznaků/deskriptorů, kompozice deskriptorů a klasifikace apod.)
- v obraze se používají sítě pro detekci a klasifikaci (rychlé), dále pak pro segmentaci (pomalé - ale pixelově přesné)
- obrazové sítě pracují zpravidla nad jedním snímkem, nikoliv nad sekvencí.

## 2.2 STEREOSKOPICKÉ SYSTÉMY

Tyto systémy využívají dvojici kamer, pomocí kterých sestavují tzv. hloubkovou mapu scény (Obr. 2.1). Tuto mapu si můžeme představit jako reliéf, kde výstupky reprezentují detekované chodce nebo cyklisty.



Obr. 2.1: Příklad záběru stereoskopického detekčního systému – vpravo dole je zobrazena hloubková mapa scény.

### 2.2.1 Instalace a provoz

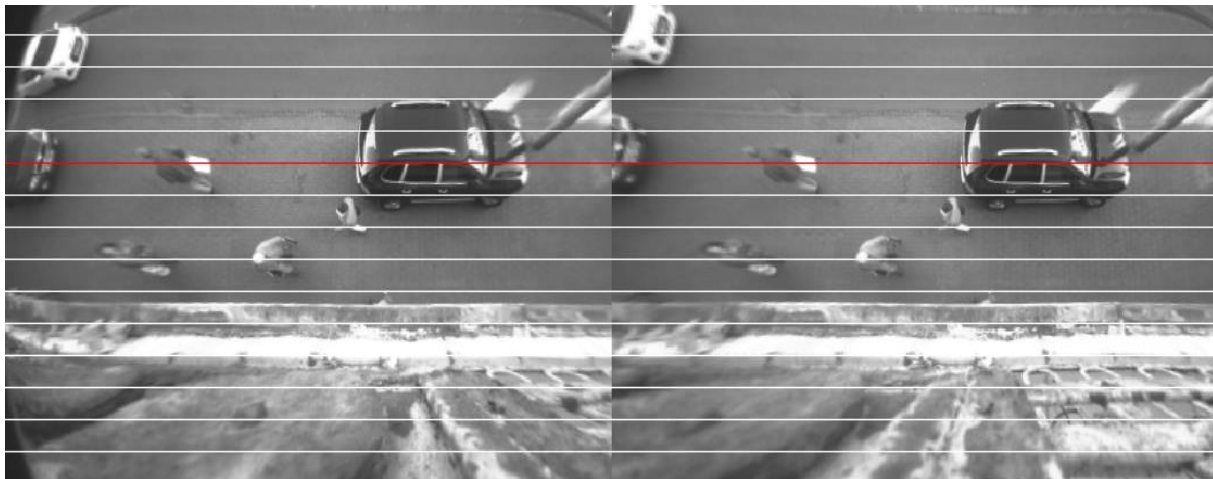
Instalační pokyny jsou závislé na konkrétním dodavateli systému. Stereoskopické systémy je, ale zpravidla nutné instalovat tak, aby optická osa kamer byla kolmá ke sledovanému povrchu (přípustná odchylka je obvykle několik jednotek stupňů). Instalační výška je závislá na použitém objektivu a požadované šířce záběru, pro plochu 4,5×3,5 m je orientační instalační výška uvedena v Tab. 2.1.

Tab. 2.1: Příklad instalační výšky stereoskopického systému v závislosti na použitém objektivu pro plochu 4,5×3,5 m.

Instalační výška [m]	Ohnisková vzdálenost [mm]	FOV [deg]
----------------------	---------------------------	-----------

2	2,1	97,63
3	3,2	73,74
4	4,3	58,34
5	5,3	48,72
6	6,5	40,53
7	7,5	35,49
8	8,5	31,53
9	9,6	28,07

Vzhledem k tomu, že systém využívá dvě kamery, je instalace složitější než u monoskopického systému a je potřeba provést *rektifikaci*, kdy dojde k vzájemnému sladění a synchronizaci kamer. Výsledkem je pak řádkově zarovnaný synchronizovaný stereoskopický obraz (Obr. 2.2), který je možné použít pro tvorbu hloubkové mapy.



Obr. 2.2: Správně rektifikovaný stereoskopický systém. Vodorovné čáry představují zarovnané řádky.

### 2.2.2 Výhody a nevýhody stereoskopického systému

Mezi hlavní **výhody** systému patří:

- relativně nízká hardwarová náročnost,
- vysoká přesnost detekce,
- přesné určení rychlosti pohybu chodce nebo cyklisty,
- možnost instalace do snížených profilů,
- absence překryvů.

Mezi hlavní **nevýhody** systému patří:

- nutnost instalace proprietárního systému (nelze využít stávající kamerový systém),
- systém musí být umístěn stabilně a kolmo nad sledovaným prostorem.

## 2.3 MONOSKOPICKÉ SYSTÉMY



Tyto systémy využívají k detekci klasické dohledové kamery. Výpočetní jednotka může být řešena jako součásti kamery, nebo jako centrální server zpracovávající data z více kamer. Princip detekce je založen na přímém rozpoznávání obrazu (Obr. 2.3).



Obr. 2.3: Příklad záběru z monoskopického systému, kde detekce je prováděna přímo z obrazu - Optimální úhel kamery (vpravo nahoře).

### 2.3.1 Instalace a provoz

Tyto systémy je možné provozovat na stávajících kamerových systémech, pokud jsou digitální a splňují minimální požadavky na rozlišení a snímkovací frekvenci (požadavky se mohou lišit v závislosti na výrobci systému). Jako minimální hodnoty lze uvažovat rozlišení 1280×720 obrazových bodů, datový tok 5 Mbs<sup>-1</sup>, 25 fps a velikost detekovaného objektu alespoň 32 px. Obecně platí, že čím je kamera výše, tím je detekce přesnější, protože nedochází k překryvům chodců nebo vozidel. Kamera by měla být umístěna na tuhém závěsu, aby nedocházelo ke chvění. Oproti monoskopickým systémům však může být odchylka od svislé osy výrazně větší (v rozmezí 30 °–90 °). Pokud chceme kromě prostých detekcí odečítat i veličiny jako rychlost nebo hustota, je nutné provést kalibraci zabírané scény, aby mohl detekční systém transformovat pixelové souřadnice do reálných souřadnic. Oproti stereoskopickým systémům však bude detekce dynamických veličin méně přesná, protože není možné jednoznačně určit referenční bod detekovaného objektu pro jejich stanovení.

### 2.3.2 Výhody a nevýhody monoskopických systémů

Mezi hlavní **výhody** systému patří:

- možnost využití stávajících kamerových systémů,
- možnost využití širokého rozpětí běžně dostupných videokamer,
- relativní volnost instalace,
- univerzálnost detekcí (osoby, vozidla).

Mezi hlavní **nevýhody** systému patří:

- s odklonem od normály sledovaného povrchu rychle narůstá počet zákrytů a může dojít k výraznému poklesu přesnosti,
- nižší přesnost měření rychlosti nebo hustoty.

## 2.4 OBECNÉ ZÁSADY MĚŘENÍ DOPRAVNÍHO PROUDU PĚŠÍCH POMOCÍ SYSTÉMU ANALÝZY OBRAZU

### 2.4.1 Pohled na scénu

Správný pohled na sledovanou scénu je u technologie počítačového vidění klíčový, je nutné dodržet zejména:

- Minimální počet statických a dynamických okluzí – u stereoskopických systémů je nutné zvolit vhodnou kombinaci výšky instalace a sledované plochy, aby nedocházelo k okluzím v krajních částech záběru a v rozích.
- Detekované objekty musí mít výrobcem stanovenou velikost v pixelech.
- Instalace systému musí mít dobrou tuhost, aby nedocházelo ke chvění a kmitání.
- Detekční oblast by měla být jednoznačně ohraničena, aby do ní osoby nevstupovaly náhodně z různých směrů.

### 2.4.2 Povětrnostní a světelné podmínky

V tomto případě je nutné dodržet obecné zásady platné pro obrazový záznam:

- Snažíme se vyvarovat extrémním světelným podmínkám, mezi které patří zejména protisvětlo, odlesky nebo vysoký kontrast (např. stíny za slunečného počasí), tma apod.
- Záznam pořizujeme obecně za dobré viditelnosti – prach, smog, nebo mlha mohou výrazně snížit přesnost detekce.

### 2.4.3 Doba měření

U krátkodobých měření je nutné dodržet obecné zásady dopravně inženýrských měření:

- Měříme ve dnech, kterým nepředchází ani po nich nenásleduje den pracovního klidu. Výjimkou je analýza specifických situací.
- Měření zahajujeme před nástupem ranní špičky, ukončujeme je až po skončení špičky odpolední.
- Měření pokud možno opakujeme za účelem eliminace extrémů a anomálií.

#### 2.4.4 Reálná přesnost měření

Přesnost měření (respektive úspěšnost detekcí) je přímo závislá na dodržení předchozích zásad a není možné ji obecně kvantifikovat. Pro praktické použití by měla být dostatečná přesnost vyšší než 95 %, v ideálních podmínkách se může přesnost pohybovat i za hranicí 98 %. Pokud však nebudou předchozí zásady dodrženy, může úspěšnost detekcí rychle klesat o desítky procent (například při protisvětle, častých okluzích, kmitání kamery nebo nevhodné velikosti detekovaných objektů). Z pohledu měřených veličin, tedy dopravního proudu pěších nebo cyklistů, je však určující správně navržený průběh měření a jeho délka, jelikož odchylky mezi jednotlivými dny mohou být i v desítkách procent.

Obecně lze otázky přesnosti měření shrnout do následujících bodů:

- Monokulární systémy jsou zpravidla méně spolehlivé než stereovizní systémy.
- Kamera je plošný snímač s rastrem (mřížkou), která diskretizuje snímaný prostor. Jde tedy o omezenou plochu a de facto omezený počet současně sledovatelných objektů. Pokud není snímek pořízen ideálně (top view), snímač se stává méně citlivý s rostoucím počtem objektů (dochází k překryvům, více se jich do obrazu nevejde). Snímač má tak vysokou citlivost a spolehlivost při menší hustotě osob a je naopak nepřesný např. pro počítání lidí v davu.
- Monokulární systémy: v dobrých podmínkách přesnost detekce dosahuje 95 % a více, v ideálních podmínkách se lze blížit 100 %.
- Stereovizní systémy: V dobrých podmínkách detekce dosahuje 98 %, v ideálních podmínkách se lze blížit 100 %.

### 3 KLÍČOVÉ VELIČINY PĚŠÍ DOPRAVY

---

Při měření a následné analýze pěšího provozu jsme schopni detekovat omezené množství veličin, které následně vstupuje do dalšího zpracování a případného simulace modelu, ať už analytického nebo prediktivního. Ostatní veličiny jsou detekovatelné pouze nepřímo, případně je nemůžeme detekovat vůbec.

#### 3.1 INTENZITA PĚŠÍHO PROUDU

Intenzita pěšího proudu  $J$  patří mezi přímo měřitelné veličiny a stanovujeme ji na základě počtu osob  $N$ , který překročí myšlenou čáru (*profil*, proto hovoříme o *profilovém měření*) za dobu  $T$ . Jednotkou je počet osob za jednu sekundu (osob·s<sup>-1</sup>).

#### 3.2 HUSTOTA PĚŠÍHO PROUDU

Hustota pěšího proudu  $\rho$  patří mezi přímo měřitelné veličiny, její přesná definice je na rozdíl od intenzity komplikovanější a odvislá od matematického popisu prostoru v okolí pěších. J. J. Fruin

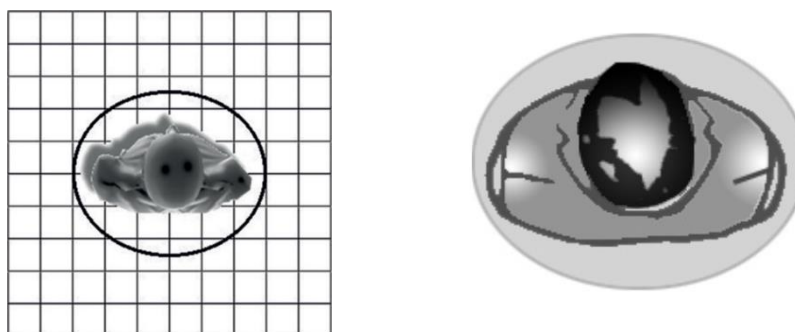
pracuje s osobním prostorem jednotlivce (Fruin, 1971), který je popsán dále v této kapitole. Jiní autoři pracují se vzdáleností mezi osobami (Thompson & Marchant, 1994), případně s kružnicí obepínající danou osobu o poloměru, který odpovídá váženému průměru vzdáleností k sousedním osobám (Helbing, Johansson, & Werner, 2005). Jednotkou hustoty je počet osob na čtvereční metr. Voroniova metoda (Obr. 3.1) pak pracuje okolím jednotlivce jako polynomem (Steffen & Seyfried, 2010).



Obr. 3.1: Jedním z přístupů měření hustoty pěšího proudu je tzv. Voroniova metoda, která pracuje s okolím jednotlivce jako s polynomem (Steffen & Seyfried, 2010).

### 3.2.1 Individuální prostor

Jednotlivec je z hlediska minimálního prostoru, který zaujímá, a interakcí s okolními osobami, popisován tzv. elipsou těla. Jde o koncept poprvé uvedený do praxe Johnem J. Fruinem (Fruin, 1971), který tuto elipsu definuje jako eliptickou čáru znázorňující 95% percentil půdorysných rozměrů oblečeného dospělého muže s určitým přidaným prostorem, který odráží snahu jednotlivce vyhýbat se přímému dotyku s okolními osobami. Schématické znázornění této elipsy je na Obr. 3.2, přičemž zobrazený čtverec má hranu o délce 1 m včetně přidaného prostoru, tak má základní elipsa těla rozměry 61 cm v delší ose a 46 cm v kratší ose, plocha této elipsy je 0,22 m<sup>2</sup>. Uvedené hodnoty jsou dnes široce akceptovány v inženýrské praxi a zejména pro návrhy dopravních systémů.



Obr. 3.2: Zobrazení elipsy těla jako minimálního prostoru, který jednotlivce zaujímá (Fruin, 1971).

Jelikož proporce lidského těla jsou v jednotlivých částech světa různé, je nutné vzít v úvahu také geografickou polohu. Z Tab. 3.1 vyplývá, že plocha elipsy těla se pohybuje v intervalu

0,20–0,26 m<sup>2</sup>, čemuž odpovídá hustota 4–5 osob·m<sup>-2</sup>. Odpovídající data pro ČR k dispozici nejsou, pro praktickou aplikaci lze využít známé hodnoty geograficky blízké lokality (např. Polsko).

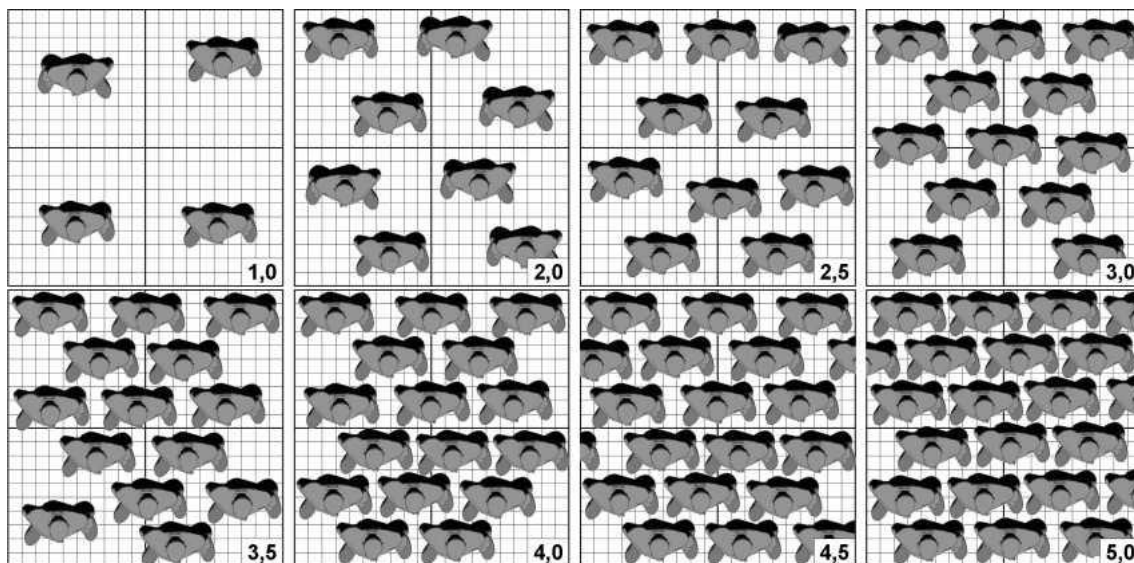
Tab. 3.1: Rozměry elipsy lidského těla pro jednotlivé evropské národnosti (Pheasant, 1996).

Rozměry elipsy lidského těla			
Země původu	Šířka [cm]	Hloubka [cm]	Plocha [m <sup>2</sup> ]
Velká Británie – muž/žena	51,0 / 51,0	32,5 / 32,5	0,26 / 0,26
Polsko – muž/žena	47,5 / 41,0	27,5 / 28,5	0,21 / 0,18
Francie – muž/žena	51,5 / 47,0	28,0 / 29,5	0,23 / 0,22
Švýcarsko – muž/žena	51,5 / 47,0	28,0 / 29,5	0,22 / 0,23
Průměr	45,6	28,2	0,20
Maximum	51,5	32,5	0,26

### 3.2.2 Statická hustota skupiny osob

Závěry vyplývající z individuálního prostoru jedince a jeho půdorysných rozměrech jsou zřejmé, když se zaměříme na vizualizaci statické hustoty skupiny osob v půdorysném zobrazení. Následující půdorysná schémata (Obr. 3.3) znázorňují situace odpovídající statické hustotě osob v rozmezí 1 až 5 osob·m<sup>-2</sup>.

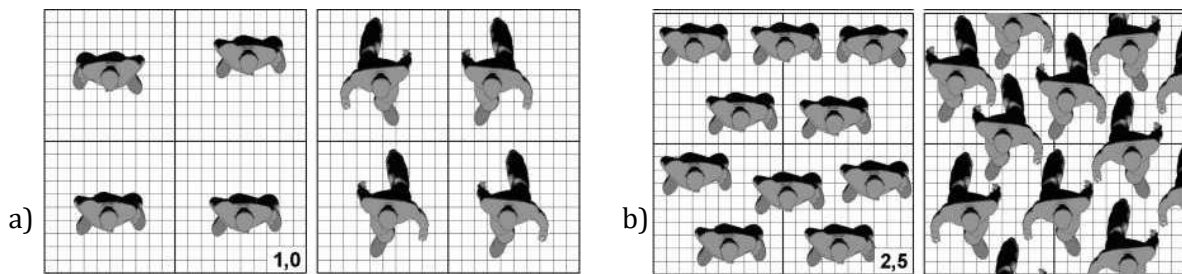
Z vizualizace je zřejmé, že hustota 5 osob·m<sup>-2</sup> je z hlediska osobního komfortu hraniční, při vyšších hodnotách už dochází k porušení minimální komfortní zóny. Současně je třeba zdůraznit, že tato hodnota platí pro skupinu osob stojící a hledící stejným směrem. Pokud budou mít osoby tendenci hledět různým směrem tedy se i natáčet v prostoru – maximální komfortní hustota bude klesat a pokles bude přímo úměrný míře nahodilosti preferovaných směrů.



Obr. 3.3: Statická hustota osob odpovídající postupně rostoucím hodnotám v intervalu 1,0–5,0 osob·m<sup>-2</sup> při schématickém pohledu shora (Still, 2014).

### 3.2.3 Dynamická hustota skupiny osob

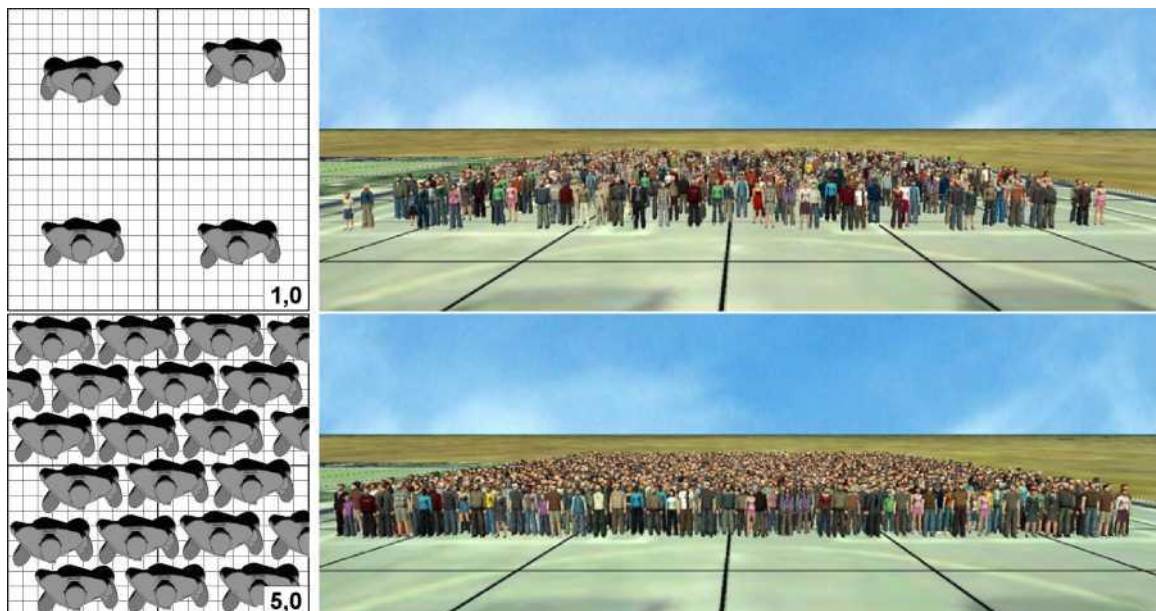
Prostorové nároky pohybující se osoby jsou vyšší než v případě osoby stojící, což analogicky platí také pro jejich skupiny. Na Obr. 3.4 je zachyceno srovnání dvojice hodnot hustoty 1,0 a 2,5 osob·m<sup>-2</sup> při pohledu seshora, přičemž u pohybujících se osob jde o volný, neovlivněný pohyb bez vynucené interakce s okolním. Je zřejmé, že hustota přesahující 2,5 osob·m<sup>-2</sup> už není komfortní a znamená zvýšené riziko.



Obr. 3.4: Srovnání statické a dynamické hustoty osob odpovídající hodnotám v intervalu 1,0 a 2,5 osob·m<sup>-2</sup> při schématickém pohledu seshora. Hustota přesahující 2,5 osob·m<sup>-2</sup> už znamená zvýšené riziko (Still, 2014).

Bezpečná hustota pohybující se skupiny osob je tak výrazně nižší, než v případě skupiny statické. Tuto skutečnost je nutné vzít do úvahy zejména při bezpečnostním posouzení staveb před jejich uvedením do provozu, nebo jejich dodatečné posouzení (spojovací koridory, dopravní uzly, ulice v širším měřítku).

Současně platí, že při šikmém pohledu operátora (např. průmyslovou kamerou), který provádí na akci dozor, je vizuální dojem reálné hustoty výrazně odlišný (pocitově vyšší), než v případě půdorysného pohledu z vyvýšeného stanoviště nebo např. helikoptéry. Na obr. je zachyceno toto srovnání pro nízkou a vysokou hustotu při pohledu seshora a při šikmém pohledu.



Obr. 3.5: Srovnání půdorysného a šikmého pohledu na stejné hustoty osob (Still, 2014).

### 3.3 RYCHLOST POHYBU OSOB

Rychlost pohybu osob  $V$  patří mezi přímo měřitelné veličiny a můžeme ji měřit pro individuální osoby, nebo jako střední rychlost pohybu pro větší počet osob v rámci delšího časového úseku.

Musíme také rozlišovat střední rychlost pohybu z časového a prostorového pohledu. Zatímco střední rychlost pohybu osob z časového pohledu znamená průměr okamžitých rychlostí jednotlivých osob, které míjejí daný profil, střední rychlost z prostorového pohledu určujeme na základě součtu délky trajektorií jednotlivých osob, kterou urazily mezi dvěma časovými okamžiky. Současně platí, že střední rychlosti obou typů nejsou vzájemně identické.

#### 3.3.1 Individuální rychlost pohybu dle dostupných standardů

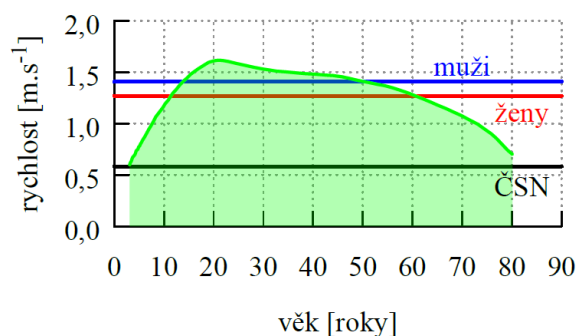
V tuzemském prostředí lze pro stanovení individuální rychlosti využít normovaných hodnot primárně určených pro evakuaci dle ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - nevýrobní objekty (UNMZ, 2009). Hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3.2.

Tab. 3.2: Rychlosti osob dle ČSN 73 0802.

Směr pohybu	Rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
Po rovině	0,583
Po schodech dolů	0,500
Po schodech nahoru	0,417

#### 3.3.2 Rychlost pohybu po rovině

Alternativním zdrojem dat o rychlosti osob po rovině je práce Ulricha Weidmana (Weidmann, 1993). Autor stanovuje orientační rozdělení rychlosti dle věku (Obr. 3.6) a určuje střední rychlost pohybu pro muže a ženy, která činí  $1,41 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , resp.  $1,27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

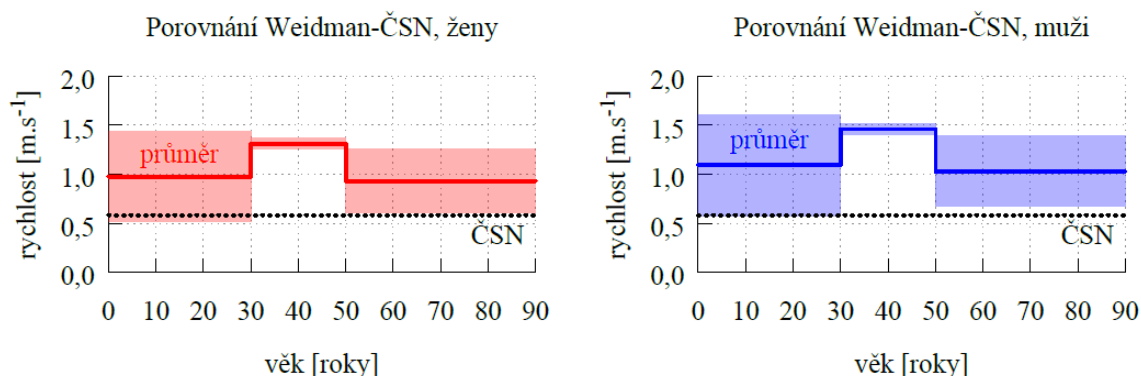


Obr. 3.6: Rychlost chůze v závislosti na věku dle Weidmana (Weidmann, 1993).

Na Obr. 3.7 jsou údaje uvedené v Tab. 3.3 graficky srovnány s údaji podle ČSN 73 0802. Z výsledků je zřejmé, že rozptyl rychlostí určených Weidmanem je ve věkovém pásmu 30–50 let pro obě pohlaví relativně velmi úzký ve srovnání s věkovými extrémy. Rovněž je patrné, že údaje podle ČSN 73 0802 jsou v případě jejich aplikace v modelu pohybu osob posunuty na stranu bezpečnou, představují vždy spíše absolutní minimum z dostupného rychlostního spektra.

Tab. 3.3: Podrobné rozdělení rychlosti chůze v závislosti na věku dle Weidmana (Weidmann, 1993).

Osoby	Min.	Max.	Osoby	Min.	Max.
Ženy (<30 let)	0,516	1,433	Muži (<30 let)	0,580	1,610
Ženy (30-50 let)	1,255	1,371	Muži (30-50 let)	1,410	1,514
Ženy (>50 let)	0,605	1,255	Muži (>50 let)	0,671	1,392
Ženy (snížená pohyblivost)	0,409	0,676	Muži (snížená pohyblivost)	0,460	0,760



Obr. 3.7: Grafické srovnání rychlosti chůze po rovině v závislosti na věku dle Weidmana a ČSN. Pro obě pohlaví a všechny věkové skupiny je zobrazen rozsah maximální a minimální hodnoty a průměrná hodnota.

### 3.3.3 Rychlost pohybu po schodech

Pokud se zaměříme na pohyb po schodech, je vhodným zdrojem informací práce Fruina (Fruin, 1971). Autor rozlišuje různé věkové skupiny podobně jako Weidman a zabývá se rychlostí jejich chůze po schodech s různým sklonem a oběma směry (nahoru i dolů). Výsledný soubor dat rychlostí dle Fruina na schodech s různým sklonem, kde Varianta A: výška 0,178 m, šířka 0,286 m, sklon 32° a Varianta B: výška 0,152 m, šířka 0,305 m, sklon 27°, jsou blíže uvedeny v Tab. 3.4.

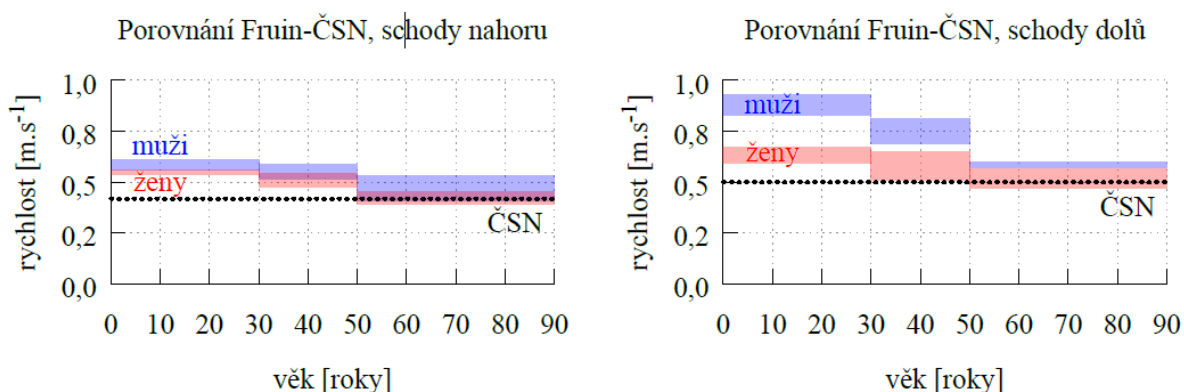
Tab. 3.4: Rychlost dle Fruina na schodech s různým sklonem [1].

Osoby	A: dolů	B: dolů	A: nahoru	B: nahoru
Věk <30 let [m·s <sup>-1</sup> ]				
Ženy	0,594	0,671	0,538	0,559
Muži	0,828	0,930	0,559	0,610
Průměr	0,757	0,813	0,549	0,584



Věk 30-50 let [m·s <sup>-1</sup> ]				
Ženy	0,508	0,650	0,478	0,544
Muži	0,691	0,813	0,513	0,589
Průměr	0,645	0,777	0,503	0,579
Věk >50 let [m·s <sup>-1</sup> ]				
Ženy	0,472	0,564	0,391	0,452
Muži	0,569	0,599	0,432	0,411
Průměr	0,549	0,594	0,422	0,422
Celkový průměr	0,671	0,772	0,508	0,574

Na Obr. 3.8 je zobrazeno grafické srovnání rychlosti chůze do schodů směrem nahoru a dolů dle Fruina a ČSN 73 0802. Pro obě pohlaví a všechny věkové skupiny je zobrazen rozdíl průměrných hodnot daný sklonem schodiště 32 ° a 27 °, a dále pro srovnání hodnota stanovená ČSN.

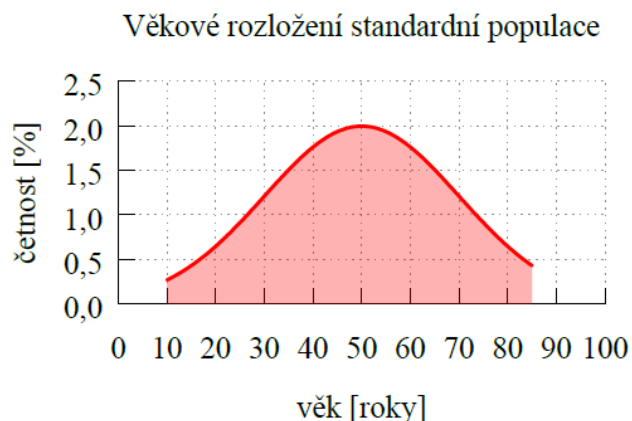


Obr. 3.8: Grafické srovnání rychlosti chůze po schodech směrem nahoru a dolů dle Fruina a ČSN 73 0802.

Výsledky Weidmana a Fruina je vzhledem k rozdílné metodice měření a zpracování výsledků obtížné porovnávat. Zatímco Weidmann stanovuje maximální a minimální hodnotu pro chůzi po rovině, Fruin dává k dispozici data pro chůzi na schodech s různým sklonem jako průměrnou hodnotu (nikoliv rozsah). Přesto je z výsledků patrné, že norma ČSN 73 0802 obsahuje realistické hodnoty, byť posunuté velmi výrazně na stranu bezpečnou.

### 3.4 VĚKOVÉ SLOŽENÍ

Věkové složení patří mezi obtížně detekovatelné veličiny, případně jej ze vzorku nemůžeme zjistit vůbec. Nejsou-li k dispozici přesnější údaje o věkovém složení, je možné využít obecné rozložení dle německé směrnice RIMEA (RIMEA, 2009). Populace je v tomto případě rozdělena na muže a ženy ve stejném poměru (1:1), věkové složení má střední hodnotu 50 let a směrodatnou odchylku 20 let. Minimální věk osoby je 10 let, maximální věk 85 let. Grafické znázornění věkového složení standardní populace je na Obr. 3.9. Věkové složení není veličinou přímo ovlivňující dynamiku modelu, slouží jako obecný parametr, ze kterého lze statisticky odvozovat další dynamické veličiny zejména při aplikaci v modelu pohybu a jeho simulaci.

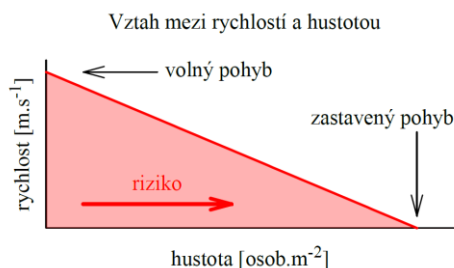


Obr. 3.9: Věkové složení standardní populace (RIMEA, 2009).

### 3.5 RYCHLOST, INTENZITA A HUSTOTA

Pohyb osob, zejména pokud probíhá stejným směrem např. ve vstupních koridorech, na chodnicích atd., respektuje základní principy, které jsou analogické s klasickou silniční dopravou. Tyto principy svazují vzájemnými vztahy rychlost pohybu osob, intenzitu tohoto pohybu a hustotu davu.

Vztah mezi rychlostí proudění osob a jejich hustotou lze považovat za kvazilineární. Jestliže je hustota osob v koridoru velmi nízká, pohybuje se proud osob rychlostí blízkou maximální. S rostoucí hustotou rychlost pohybu jednotlivců klesá, po dosažení maximální hustoty se pohyb zcela zastaví a dochází ke vzniku kongesce. Současně s nárůstem hustoty a snižováním rychlosti pohybu proudu osob narůstá pro tyto osoby riziko vzniku kritické události. Vztah rychlosti a hustoty pěšího proudu je v idealizované podobě zachycen na následujícím obrázku, reálně naměřené hodnoty bývají od ideální přímky odlišné vlivem dalších efektů, které není možné zobecnit.



Obr. 3.10: Přibližný vztah mezi rychlostí proudu pohybujících se osob a jejich hustotou.

Pokud se zaměříme na intenzitu proudění osob (tedy kolik osob projde jednotkou průřezu koridoru za jednotku času) ve vztahu k jejich hustotě, připomíná tato závislost parabolickou křivku. Maximální intenzita proudění osob, a tedy maximální kapacita koridoru, je dosažena v

situaci, kdy již hustota narůstá, ale není ještě natolik vysoká, aby výrazněji omezovala rychlost proudění osob. Pokud hustota dále roste, rychlost proudění se zpomaluje a sledovaným průřezem prochází za jednotku času stále méně osob. Při dosažení maximální hustoty se proud zastaví a jeho intenzita klesne k nule. Tento vztah je v idealizované podobě znázorněn na obr. 2.7 a opět platí, že reálně naměřené hodnoty se vlivem složitosti uspořádání konkrétní události od tohoto ideálního tvaru liší.



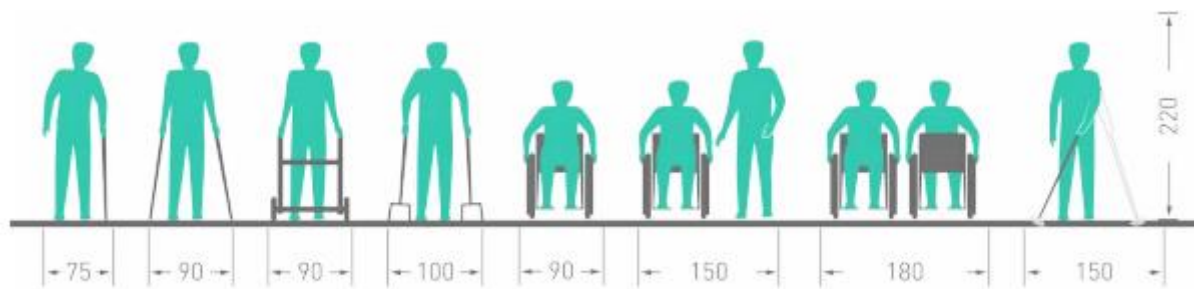
Obr. 3.11: Přibližný vztah mezi intenzitou proudu pohybujících se osob a jejich hustotou.

### 3.6 VYBRANÉ KVALITATIVNÍ CHARAKTERISTIKY SPECIFICKÝCH DRUHŮ PĚŠÍCH

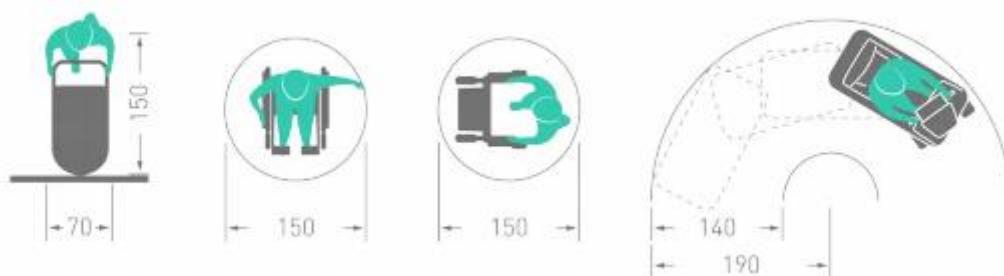
#### 3.6.1 Osoba s omezenou schopností pohybu a orientace

Osob s omezenou schopností pohybu a orientace, tedy s hendikepem, žije v Evropě přibližně 10 %, v České republice to je takřka 1,2 mil. obyvatel. Jedná se o velmi heterogenní skupinu, do které dle Zk. č. 108/2006 Sb. a Vyhl. č. 398/2009 spadají všechny osoby s postižením tělesným, mentálním, duševním, smyslovým nebo kombinovaným, jehož dopady činí nebo mohou činit osobu závislou na pomoci jiné osoby; dále osoby pokročilého věku (tato skupina se značně v posledních letech rozrůstá), těhotné ženy, doprovázejícími dítě v kočárku nebo dítě do tří let a také osoby obézní či s velkými zavazadly.

Tyto osoby z velké části v reálném životě mají specifické potřeby, co se týče do způsobu pohybu, rychlosti pohybu, fyzické zdatnosti, možnosti překonávat překážky (ve formě výškových rozdílů, schodišť, nevhodnost povrchu komunikace apod.) i prostorových nároků na pohyb (osoby s omezenou schopností pohybu a orientace často ke svému pohybu využívají různé kompenzační pomůcky, jako jsou např. hole, vozíky, chodítka, které uměle zvětšují půdorysnou plochu uživatele) apod. Tato omezení a nároky je nutné zanést do modelu ve formě změny rozměrových charakteristik jedince, rychlostního a pohybového omezení v geometrii prostoru.



Obr. 3.12: Prostorové nároky osob spadajících dle Vyhlášky č. 398/2009 do skupiny osob s omezenou schopností pohybu a orientace – čelní pohled[8].



Obr. 3.13: Prostorové nároky osob spadajících dle Vyhlášky č. 398/2009 do skupiny osob s omezenou schopností pohybu a orientace – půdorys pohled [8].

### 3.6.2 Osoba s doprovodem

Jde o osobu, která je omezena v samostatném způsobu pohybu. Role a účel doprovodu je dána soběstačností doprovázeného jedince. Doprovod vykonává pomocné funkce, jakými může být opora doprovázené osobě, zdroj pohybu atd. Osoba s doprovodem může být v modelu chápána jako malá skupinka jednotek osob, které mají vůči sobě vazbu a mají až na drobné výchytky stejnou cestu.

### 3.6.3 Vázaná skupina osob

V rámci pěšího proudu můžeme zohlednit formování dvou a více na sebe vázaných osob. Osoby udržují tvar skupinky a pohybují se pospolitě. Osoby vykonávají společně pohyb s minimálním odstupem (dle jejich osobního prostoru a reakci na okolní interakce), jsou na sebe vázány prostorově, sociálními vazbami a často mají stejný cíl cesty, nebo společnou činnost (např. rozhovor, nesení zavazadla).

Uvedené sociální faktory je možné v rámci modelu reprodukovat. Lze ztvárnit sociální vazby, stanovit „vůdce“ skupiny, který udává tempo, směr, atd. Skupina v modelu chová jako celek, její celková rychlost se zpravidla odvíjí od rychlostí jednotlivých účastníků.

## 4 ÚROVEŇ KVALITY PĚŠÍ DOPRAVY

Pojem úroveň kvality má svůj původ v dopravním inženýrství, kde je používán také pod originálním názvem Level of Service (LoS). Jde o kvalitativní vyjádření situace na dopravní síti pomocí zjednodušené stupnice A F. Úroveň kvality dopravy A znamená volnou dopravu, kdy se jednotliví aktéři vzájemně neovlivňují a pohybují se rychlostí blízkou maximální hodnotě, úroveň F pak znamená opačnou situaci, kdy se účastníci dopravy vlivem vysoké hustoty pohybují velmi pomalu či zcela zastaví. Metrika původně určená pro motorovou dopravu se postupně rozšířila do řady dalších oblastí včetně pěší přepravy. České normativní prostředí tuto metodu vyjma motorové dopravy ale zatím nijak neaplikuje.

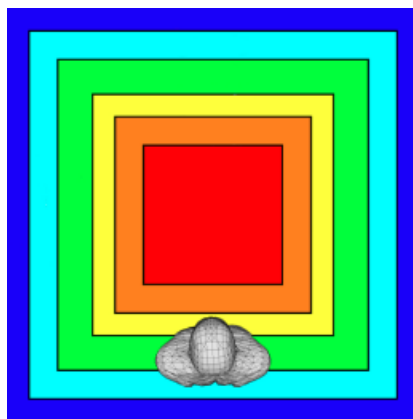
V odborné literatuře existuje celá řada konkrétních metod pro stanovení úrovně kvality dopravy. Inženýrská praxe široce akceptuje metodu vyvinutou Fruinem, která rozlišuje jednotlivé úrovně pro chodníky, schodiště a čekací plochy vlivem různých dynamických vlastností pěšího proudu. Konkrétní číselné vyjádření minimálních a maximálních hodnot pro úrovně kvality pěší dopravy jsou v Tab. 4.1.

Tab. 4.1: Úroveň kvality dopravy podle Fruina, která je dnes respektována jako standard (Fruin, 1971).

Chodníky [m·s <sup>-1</sup> ]		Schody a rampy [m·s <sup>-1</sup> ]		Čekací plochy [m·s <sup>-1</sup> ]		Úroveň
Min	Max	Min	Max	Min	Max	
0,000	0,308	0,000	0,538	0,000	0,828	A
0,308	0,431	0,538	0,718	0,828	1,076	B
0,431	0,718	0,718	1,076	1,076	1,538	C
0,718	1,076	1,076	1,538	1,538	3,588	D
1,076	2,153	1,538	2,691	3,588	5,382	E
2,153	-	2,691	-	5,382	-	F

Z Tab. 4.1 vyplývá, že hodnoty se mezi chodníky a čekacími plochami velmi liší. Zatímco v případě chodníku je nejvyšší stupeň F dosažen pro hustotu přibližně 2,2 osob·m<sup>-2</sup>, v případě čekací plochy je tato hodnota přibližně 5,4 osob·m<sup>-2</sup>, tedy dvojnásobná. Pro lepší představu, jaké prostorové nároky jednotlivé hodnoty znamenají, je na

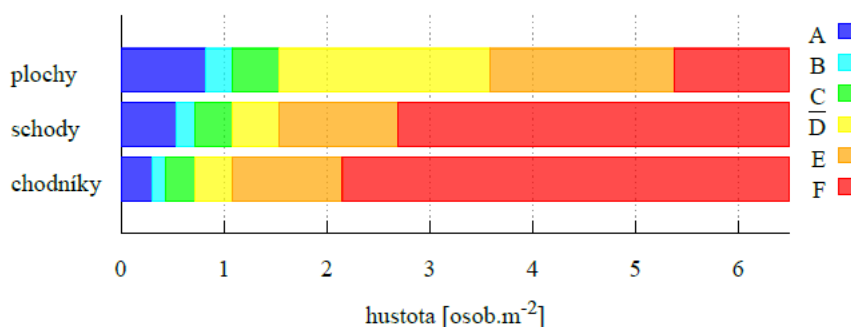
Obr. 4.1 graficky vyjádřena prostorová náročnost jednotlivých úrovní kvality pěší dopravy vzhledem k půdorysu stojící osoby.



Obr. 4.1: Grafické vyjádření prostorové náročnosti jednotlivých úrovní kvality pěší dopravy vzhledem k půdorysu stojící osoby (Fruin, 1971).

Z výsledků v Tab. 4.1 je patrné, že rozdíly hodnocení úrovně kvality pěší dopravy pro chodníky a schody (rampy) jsou poměrně malé, odstup čekacích ploch je naopak relativně značný. Rozdíly si lépe uvědomíme, pokud vzájemně graficky srovnáme jednotlivé úrovně mezi sebou, příklad takového srovnání je na Obr. 4.2. Z této jednoduché analýzy je patrné, že kromě minimálních a maximálních hodnot hustoty osob pro žádné dva typy komunikace nedochází k překryvu hodnocení úrovně kvality, tedy stejná hustota je v různých typech komunikace hodnocena vždy různě.

Pro nízké hodnoty hustoty jsou ale rozdíly v hodnocení velmi malé, případně splývají krajní hodnoty (např. hodnota 1,076 osob·m<sup>-2</sup> je mezní hodnotou úrovní B a C pro čekací plochy, úrovní C a D pro schody/rampy a úrovní D a E pro chodníky). Pro rostoucí hustoty se ale divergence výrazně zvyšuje. Tato analýza je užitečná zejména v nestandardních typech komunikací pro pěší, které nelze jednoznačně zařadit k některému z uvedených typů a je třeba zvážit určitou úpravu mezních hodnot (např. prudká stoupání).



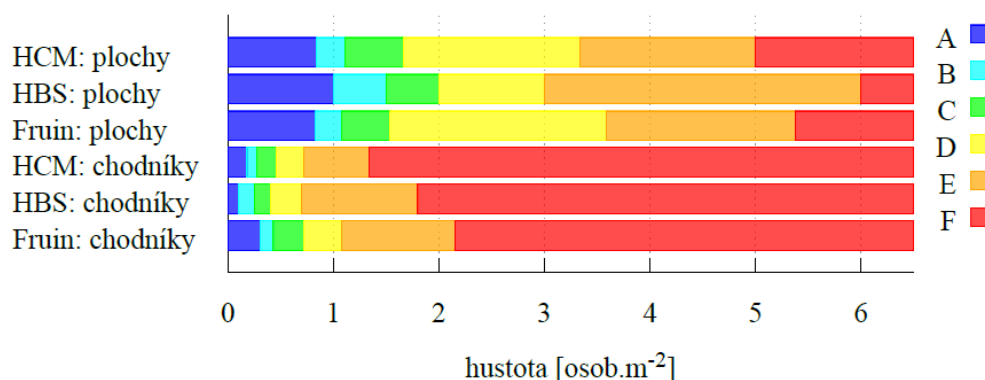
Obr. 4.2: Úrovně kvality pěší dopravy podle Fruina pro různé typy komunikace (Fruin, 1971).

#### 4.1 ÚROVEŇ KVALITY PĚŠÍ DOPRAVY PODLE DALŠÍCH STANDARDŮ

Hodnocení úrovně kvality pěší dopravy podle Fruina je dnes široce akceptováno, ale existují další alternativní metriky. Základním zdrojem informací v této problematice je v USA práce Highway Capacity Manual (Wachs, Samuels, & Skinner, 2000), v Německu potom Handbuch für die Bemessung von Strafienvorkehrsanlagen (Brillon, 2009). Obě příručky přebírají od Fruina metodu stanovení úrovně kvality pěší dopravy na šestibodové škále, liší se pouze v hraničních hodnotách. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tab. 4.2: Úroveň kvality dopravy podle německých standardů HBS a amerických standardů HCM [14, 15].

HBS				HCM				Úroveň
Chodníky [m·s <sup>-1</sup> ]		Čekací plochy [m·s <sup>-1</sup> ]		Chodníky [m·s <sup>-1</sup> ]		Čekací plochy [m·s <sup>-1</sup> ]		
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
0,000	0,100	0,000	1,000	0,000	0,179	0,000	0,833	A
0,100	0,250	1,000	1,500	0,179	0,270	0,833	1,111	B
0,250	0,400	1,500	2,000	0,270	0,455	1,111	1,667	C
0,400	0,700	2,000	3,000	0,455	0,714	1,667	3,333	D
0,700	1,800	3,000	6,000	0,714	1,333	3,333	5,000	E
1,800	-	6,000	-	1,333	-	5,000	-	F



Obr. 4.3: Srovnání úrovně kvality pěší dopravy podle Fruina, HBS a HCM pro různé typy komunikace [2]2, 14, 15].

Z údajů v Tab. 4.2 vyplývá méně podrobné dělení, obě příručky rozlišují komunikace pouze na chodníky a čekací plochy. Dále je zřejmé, že hodnoty jsou podobné s hodnocením dle Fruina, konkrétní srovnání je zachyceno na Obr. 4.3.

Z výsledků na obrázku je zřejmé, že odchylky v hodnocení nejsou nijak dramatické. V případě, že se při hodnocení situace chceme odchýlovat na stranu bezpečnou a chceme aplikovat vždy nejméně příznivou hodnotu z uvedených, budeme nejčastěji využívat hraniční hodnoty z HCM.

## 5 PŘÍPADOVÉ STUDIE VYUŽITÍ ANALÝZY POHYBU PĚŠÍCH A JEHO SIMULACE

---

Zjišťování pohybu osob a následně aplikaci získaných dat v modelu a simulaci tohoto pohybu aplikujeme v rámci urbanismu při posouzení bezpečnosti stavby či prostranství, nebo při kapacitním posouzení ve významných a zatížených dopravních uzlech a koridorech.

Modely optimálně aplikujeme již ve fázi projekce. Dochází tak k určitému (většinou nevýznamnému) zvýšení nákladů v přípravné fázi, ale zajistíme tím podstatné snížení nákladů ve fázi realizace nebo provozu stavby. Užití těchto metod by mělo být chápáno jako významný příspěvek k vytváření technicky správných řešení, jehož předpokladem je komplexní přístup, který zohledňuje nejen technické aspekty řešené problematiky, ale také aspekty bezpečnosti, optimalizace provozu i funkčnosti řešení.

### Případová studie č. 1 – Analýza stávajícího stavu Masarykova třída, Brno

- **Stavba:** Pěší zóna (Brno, ul. Masarykova) zatížená nemotorovou dopravou a MHD.
- **Fáze užití:** Optimalizace provozu existujícího uspořádání.
- **Účel:** Ověření stávajícího/ budoucího záměru a vytipování možností rozmístění restauračního posezení v rámci frekventované pěší zóny a jejich vliv na celkový provoz.

### Případová studie č. 2 – Analýza návrhu revitalizace ul. Nádražní

- **Stavba:** Pěší koridor (Brno, ul. Nádražní).
- **Fáze užití:** Návrhová fáze.
- **Účel:** Optimalizace nového návrhu stávajícího uličního profilu s návazností na stávající dopravu a vázaný provoz.

### Případová studie č. 3 – Analýza návrhu upořádání dopravního uzlu Brno-Dolní nádraží

- **Stavba:** Dopravní uzel (Brno-Dolní nádraží).
- **Fáze užití:** Návrhová fáze.
- **Účel:** návrh uspořádání náhradního dopravního uzlu s přihlédnutím na návaznou dopravu a stávající provoz v tomto místě (řešení kyvadlové dopravy). Odpovědi na vyvstálé otázky (Budou rozptylové plochy před nádražím dostatečně velké pro velkou skupinu cestujících vystupujících z/nastupujících do přistavené soupravy? Jak bude vypadat situace před Dolním nádražím v průběhu času před/po příjezdu vlaku? Jak uzpůsobit jízdní řády náhradní dopravy, tak aby lidé dlouho nečekali a dopravce nepřipravoval zbytečné spoje?

### Případová studie č. 4 – Studie širších vztahů a rozptylových ploch v okolí Zemského fotbalového stadionu

- **Stavba:** Rozptylové plochy, okolí stadionu pro 20 tis. osob (Brno, Zemský fotbalový stadion).

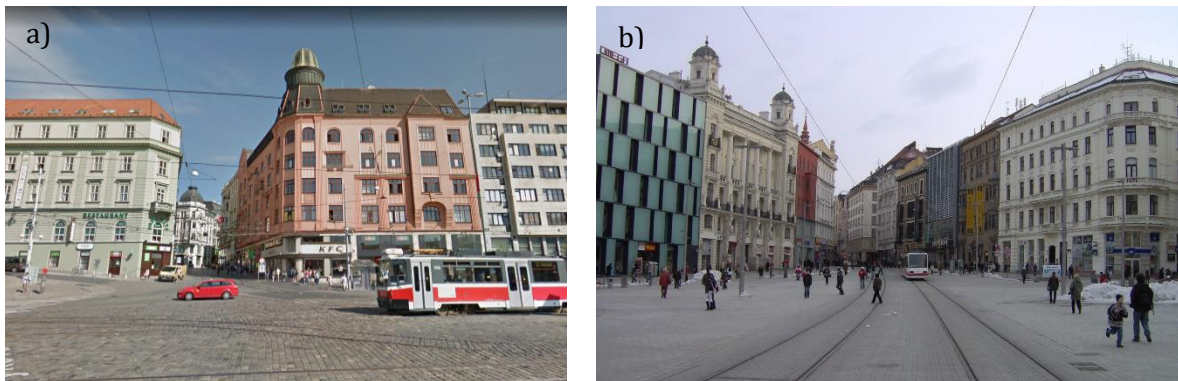


- **Fáze užití:** Návrhová fáze.
- **Účel:** Analýza pohybu diváků po opuštění stadionu, využití rozptylových ploch, ověření nově navrhovaných i stávajících částí městského prostoru, získání časového rámce pro dosažení cílových lokalit (parkovací plochy a zastávky MHD).

## 5.1 ANALÝZA POHYBU OSOB NA MASARYKOVĚ TŘIDĚ V BRNĚ

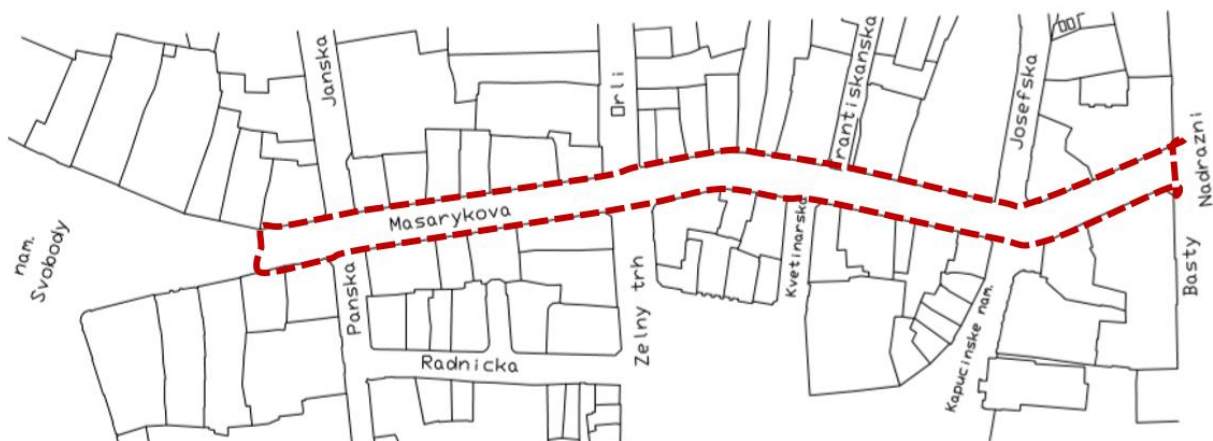
### 5.1.1 Řešená lokalita

Masarykova třída je hlavní tepnou a zároveň i nejfrekventovanější ulicí s pěším provozem v Brně. Začátek této ulice je v místech, mezi palácem Padowetz a nájemním domem Masarykova č. 37 – viz Obr. 5.1a).



Obr. 5.1: a) Začátek Masarykovy třídy mezi domy Padowetz palác (vlevo) a nájemním domem Masarykova č. 37 (vpravo)  
b) Konec Masarykovy třídy ústící na Náměstí Svobody [19].

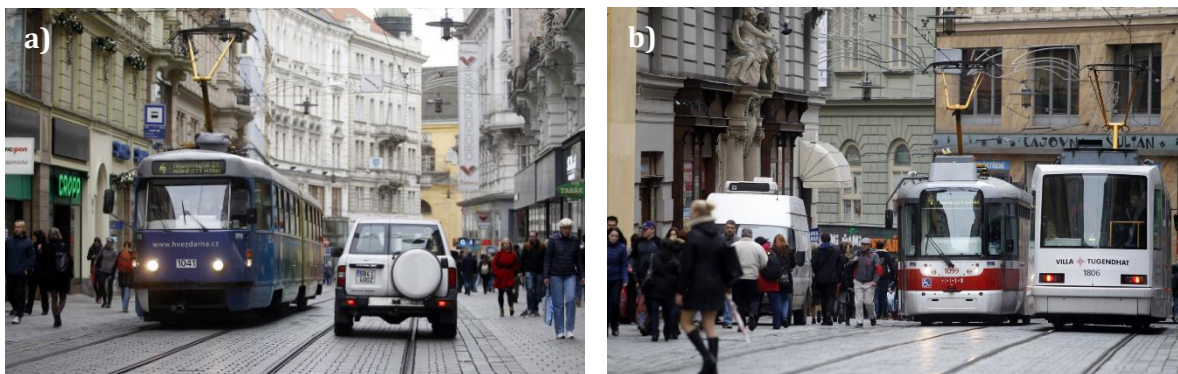
Ulice dále pokračuje přes centrum, kde ústí na náměstí Svobody, viz Obr. 1 b). Ulice je mírně svažité od Náměstí Svobody a její délka je 356 metrů, osa ulice se dvakrát zalamuje. Šířka uličního profilu je poměrně konstantní a to kolem 15 metrů. V některých částech je profil zúžen vystupující stavbou, např. průčelím kostela svaté Maří Magdaleny, nebo drobnými výčnělky zdobných fasád, městským mobiliářem. K Masarykově ulice se po obou stranách připojují boční ulice a to konkrétně Kapucínské náměstí, Josefská, Františkánská, Květinářská, Zelný trh, Orlí, Panská a Jánská (blíže viz Obr. 5.2).



Obr. 5.2: Schéma zájmového území – Masarykova třída.

I když je Masarykova ulice pěší zónou, jedná se o ulici s poměrně rušným provozem. Je zde povolen vjezd vozidlům taxi služby, zásobovacím vozům, tramvajím (MHD), cyklistům a vozidlům, jejichž majitelé mají trvalé bydliště v centru Brna. Osobních automobily a vozy zásobování mají povolený vjezd do pěší zóny v době 17–9 hod a 11–13 hod. Vybrané vozy taxi služby mají v přilehlých ulicích

svá stanoviště, ale velmi často lokalitou projíždí i vozy konkurenčních taxislužeb s cílem zkrácení si cesty.



Obr. 5.3 Dopravní situace na ulici Masarykova – a) běžný provoz; b) v době zásobování [20].

Městská hromadná doprava je na ulici zajištěna pomocí tramvajových linek číslo 4 a 9. V průměru lokalitou projíždí jedna tramvaj cca po pěti minutách. Tato netypická kombinace pěší zóny a tramvajové dopravy má na ulici Masarykova svoji dlouholetou tradici.

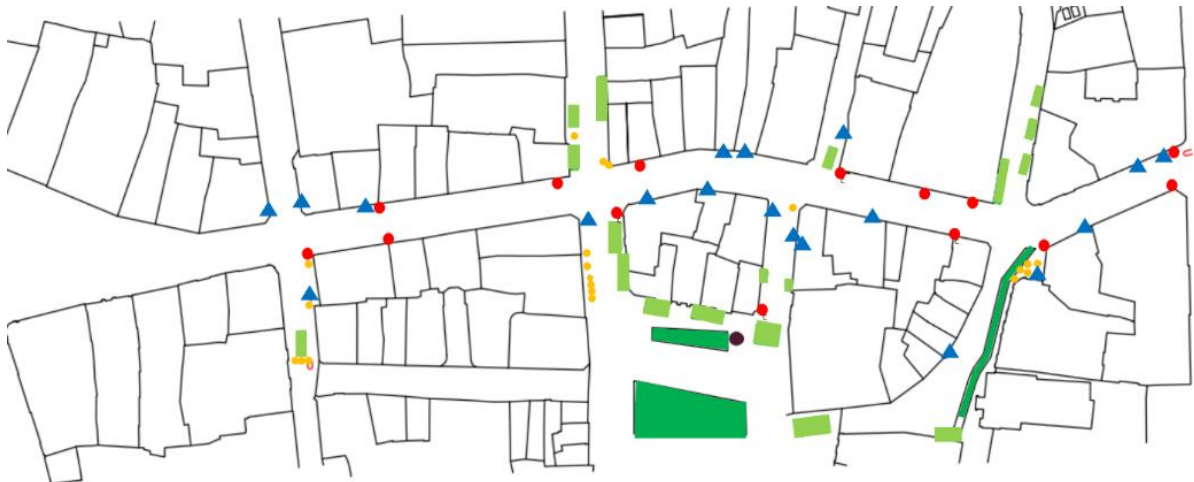
Tab. 5.1: Souhrnná data o využití Masarykovy ulice (Brněnské komunikace, 2014).

Dle typu dopravy	Počet
Městská hromadná doprava (tramvaj 4, 9)	cca 20 tramvají/hod
Automobilová (zásobovací vozy, taxi, osobní)	cca 700 vozů/den
Pěší	cca 6000 os. /špičkovou hodinu

V rámci Masarykovy ulice je několik desítek restaurací, barů, fastfoodů a kaváren, které každoročně rozšiřují plochu svých provozoven o venkovní posezení. Zahrádky jsou přínosem jak samotnému provozovateli (ve formě více návštěvníků), tak i pro město Brno (zvýšení tržeb za pronájmy ploch). Aktuálně nicméně nemá žádný z podniků na Masarykově ulici zřízeno venkovní posezení, protože nejsou známy přesné dopady tohoto rozšíření plochy na bezpečnost a kvalitu pěší dopravy. Model pěší dopravy může být při tomto posouzení výrazným přínosem.

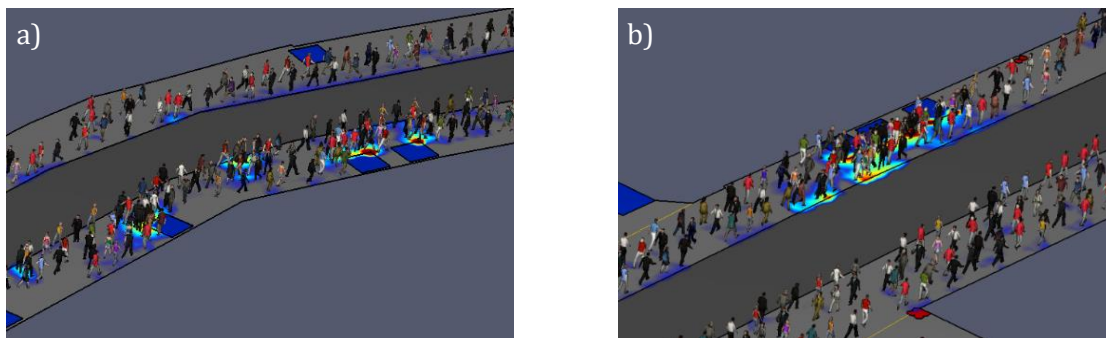
### 5.1.2 Model lokality

Do modelu je zanesena geometrie celého uličního prostoru ulice včetně všech přilehlých ulic, překážek a vybavenosti. Názorněji je situace viditelná na Obr. 5.4, kde jsou do schématu zanesena venkovní posezení, stánky (obdélníčky) a městský mobiliář (kolečka). Po důkladném prozkoumání zájmového území jsou vytipovány podniky, které mají zájem o zřízení venkovního posezení (znázorněno trojúhelníčky viz Obr. 5.4). V rámci komplexního návrhu je do podkladů geometrie vložena možná umístění mobilních stánků pro sezónní městské festivaly a jarmarky.



Obr. 5.4: Schéma zájmového území – Rozmístění aktuálního venkovního posezení (obdélníčky), městského mobiliáře (kolečka), stálých parkovacích ploch – Schéma je doplněno o vytipovaná místa a podniky, které mají zájem o zřízení venkovního posezení (trojúhelníčky).

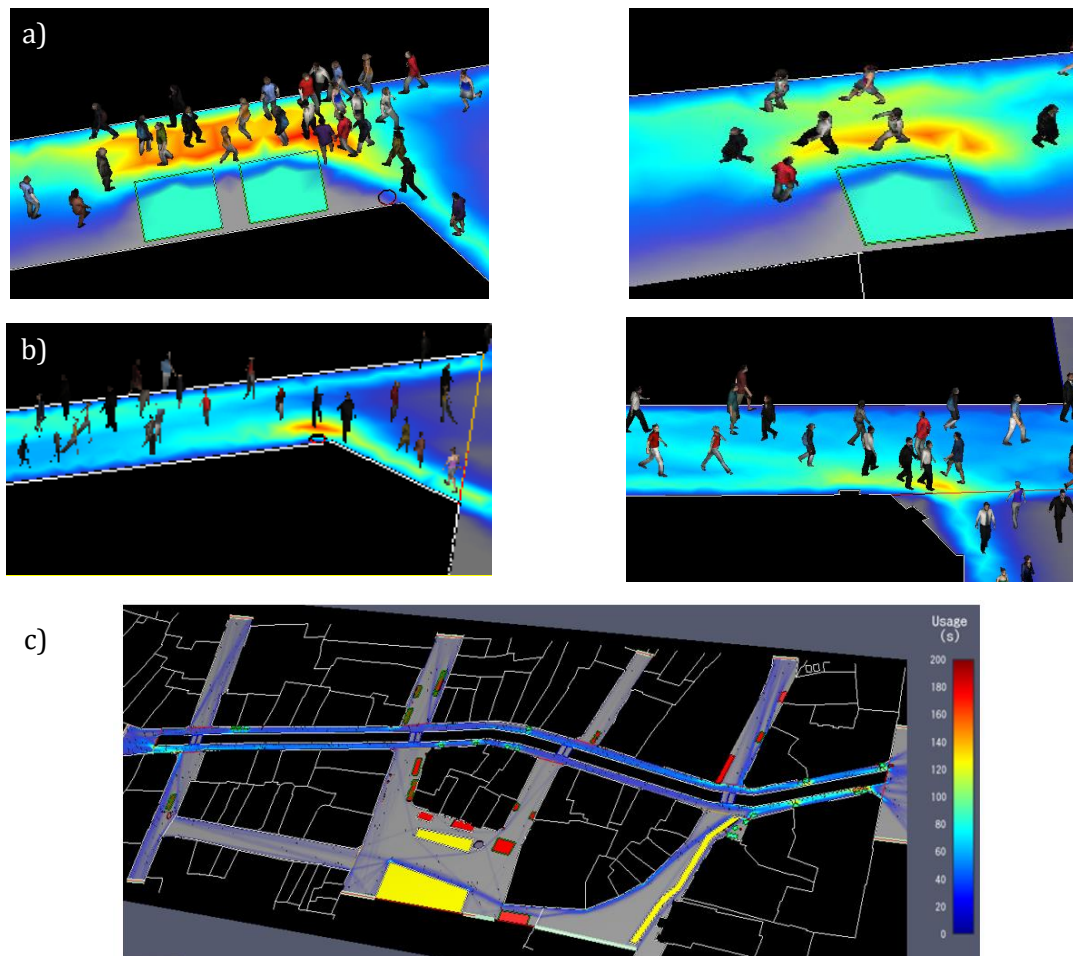
Model Masarykovy třídy je řešen v několika variantách provozu a uspořádání. Pro řešení problematiky venkovního posezení je klíčová varianta *běžný provoz*, obsahující pěší, tramvaje a vozidla, doplněna o vytipovaná místa pro stánky a venkovní posezení (geometrie dle Obr. 5.4). Před samotnou simulací modelu jsou ještě vyřazena některá vytipovaná místa z důvodů zcela nevhodného umístění (např. v blízkosti tramvajových zastávek nebo stínící v rozhledových trojúhelnících).



Obr. 5.5: Snímky ze simulace varianty *Běžný provoz*: a) Venkovní posezení řešené v zalomení ulice Masarykova, b) Venkovní posezení řešené v části rovného úseku ulice Masarykova.

Při simulaci se v první fázi zdá, že umístění zahrádek za zlom (situace kdy za něj není vidět) je výrazně rizikovější než řešení, kde jsou venkovní zahrádky umístěné na zcela rovných úsecích. Situace u zahrádek umístěných za zlomem je taková, že osoby proudící po ulici nevidí s dostatečným předstihem překážku ve formě zahrádky. Osoby se nestíhají vyhybat této překážce a zároveň reagovat na lidi proudící do protisměru, nastává tak kolize, viz Obr. 5.5 a). Podobná

situace nastává i u zahrádek umístěných na rovných úsecích a to hlavně ve chvíli, když těmito místy projíždí tramvaj nebo zásobovací vozidlo (Obr. 5.5 b)).



Obr. 5.6: Výsledky simulace ul. Masarykova - Vybraná kritická místa řada obrázků a) vzniklé nevhodným umístěním, nebo velikostí venkovního posezení; b) vzniklé spatným umístěním mobiliáře; c) celkový pohled na ul. Masarykovu.

### 5.1.3 Přínosy aplikace

Aplikací získaných empirických dat a následně vytvořením modelu dochází k postupné optimalizaci uspořádání venkovního posezení okolních restaurací jak z hlediska počtu, tak jejich kapacity. V některých lokalitách lze navrhnout sporadické venkovního posezení, rovněž jsou ověřena vhodná umístění trvalých venkovních posezení na hlavní třídě a v přilehlých bočních ulicích.

## 5.2 REVITALIZACE UL. NÁDRAŽNÍ

### 5.2.1 Řešená lokalita

Komunikace pro pěší se nachází na ulici Nádražní, jako součást přednádražního prostoru a tramvajového dopravního uzlu Hlavní nádraží (viz Obr. 5.7). Řešená pěší komunikace vede od domu Masarykova 37 až po obchodní centrum Letmo, viz vyznačený úsek.

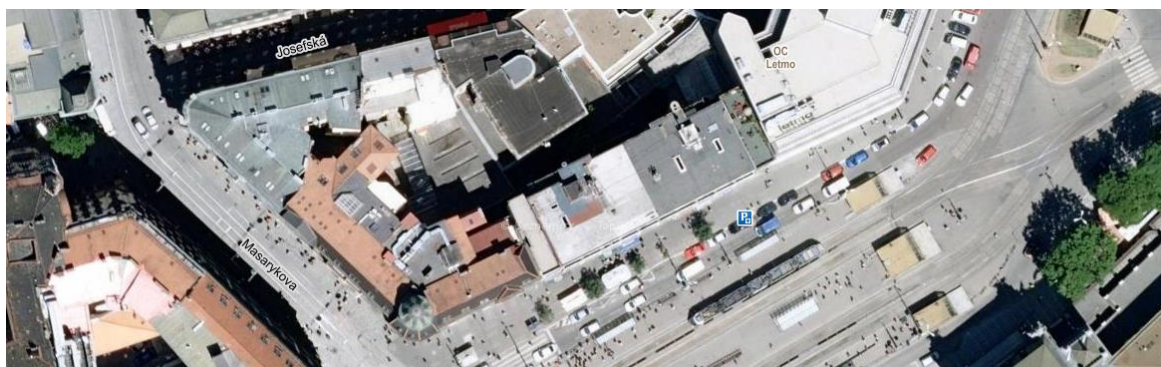


Obr. 5.7: Ulice Nádražní – Vyznačené zájmové území [22].

V přízemí domů lemující ulici (po levé straně) jsou provozovány obchody a bistra s občerstvením. Pravá strana komunikace je lemována pásem, kde jsou umístěny prodejní stánky, telefonní budky, parkovací automat, stromy a městský mobiliář (viz Obr. 5.8). Šířka chodníku na zkoumaném úseku je proměnná cca 4,0–6,5 m, což nabízí dostatek prostu i pro další využití, které by uživatelům poskytovala určitý komfort a nabídku doplňkových služeb a míst k odpočinku na rozdíl od stávajícího stavu.

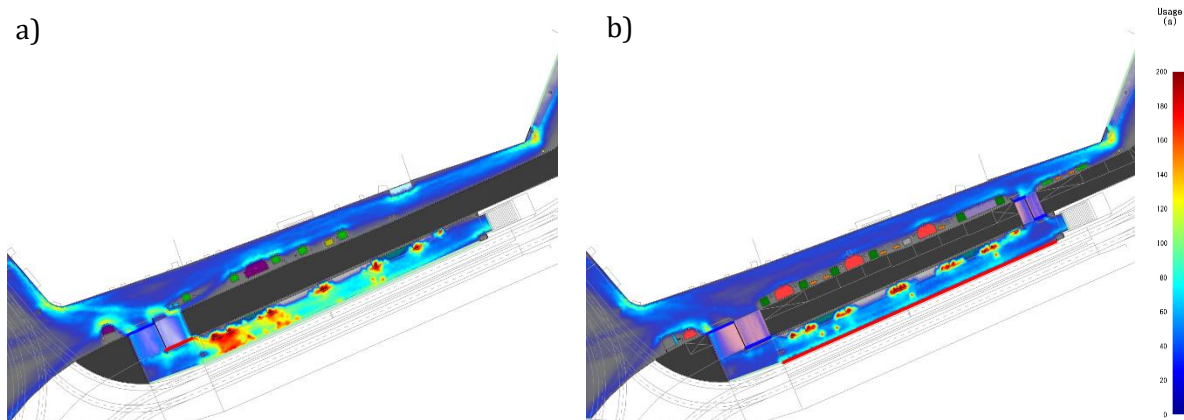
### 5.2.2 Model lokality

V tomto případě slouží využití mikroskopického modelu k získání podrobné analýzy současného stavu lokality. Dle podkladů ze zaměření a místního šetření je vytvořen reálný model popisující stávající stav a provoz. Spouštěním opakovaných simulací, získáváme poznatky z tohoto modelu, které slouží jako podklad pro nově navrhované řešení. Následně nový návrh opakovaně



Obr. 5.8: Ulice Nádražní – Aktuální stav zájmového území [22].

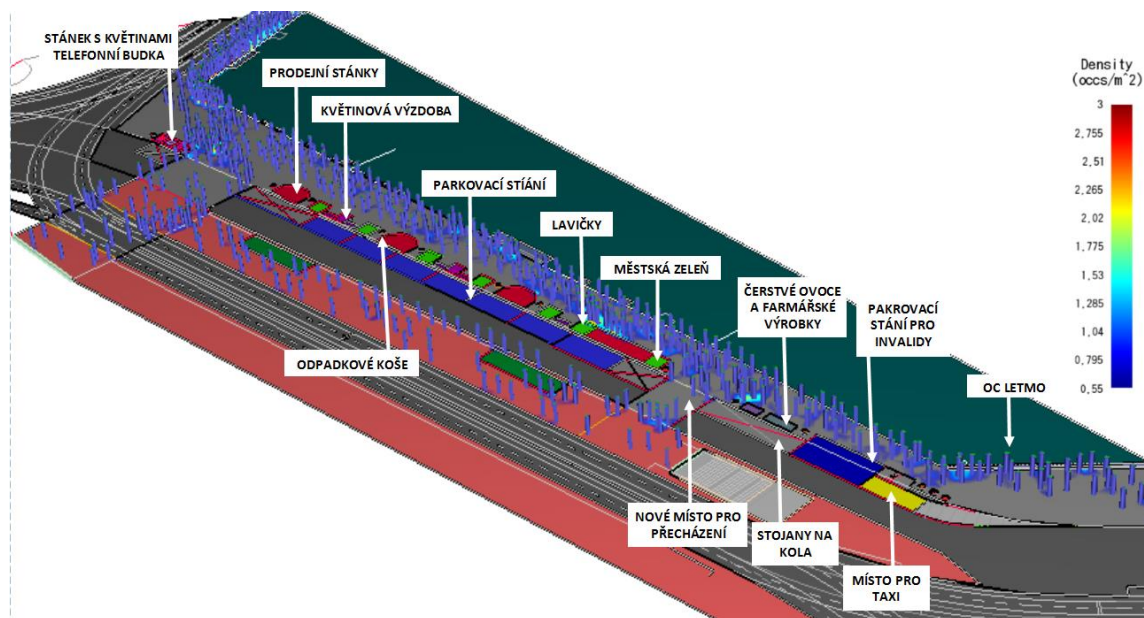
ověřujeme simulacemi – výsledky názorněji viz Obr. 5.9 a) výsledek simulace stávajícího stavu, b) výsledek simulace návrh po jeho optimalizaci.



Obr. 5.9: Ulice Nádražní – a) Model stávajícího stavu; b) Model nově optimalizovaného návrhu.

### 5.2.3 Přínosy aplikace

Poměrně rychle získáváme přehled o komfortu pohybu pěších a správnosti návrhu. Lze rovněž snadno identifikovat chybně navrhovaný prvek či úsek návrhu a okamžitě na ni reagovat, co se týče její změny a ověření korektnosti řešení. Je možno jednoduše v této projekční fázi provést změny, kterou je ve fázi realizace již měnit velmi obtížné a nákladné, případně zcela nemožné.



Obr. 5.10: Ulice Nádražní – Model nového optimalizovaného návrhu zájmového území.

## 5.3 PŘEDNÁDRAŽNÍ PROSTOR BRNO-DOLNÍ NÁDRAŽÍ

### 5.3.1 Řešená lokalita



Obr. 5.11: Brno-Dolní nádraží – Zkoumaná oblast a její návaznost na dopravu [23].

V tomto případě řešenou oblastí je prostranství před Dolním nádražím, které je využíváno v době výluky dopravního uzlu Brno-Hlavní nádraží. Na Dolní nádraží je přesunuta poměrná část vlakové dopravy a spolu s nádražím Brno-Židenice zcela nahradili stanici Hlavní nádraží v průběhu její rekonstrukce.

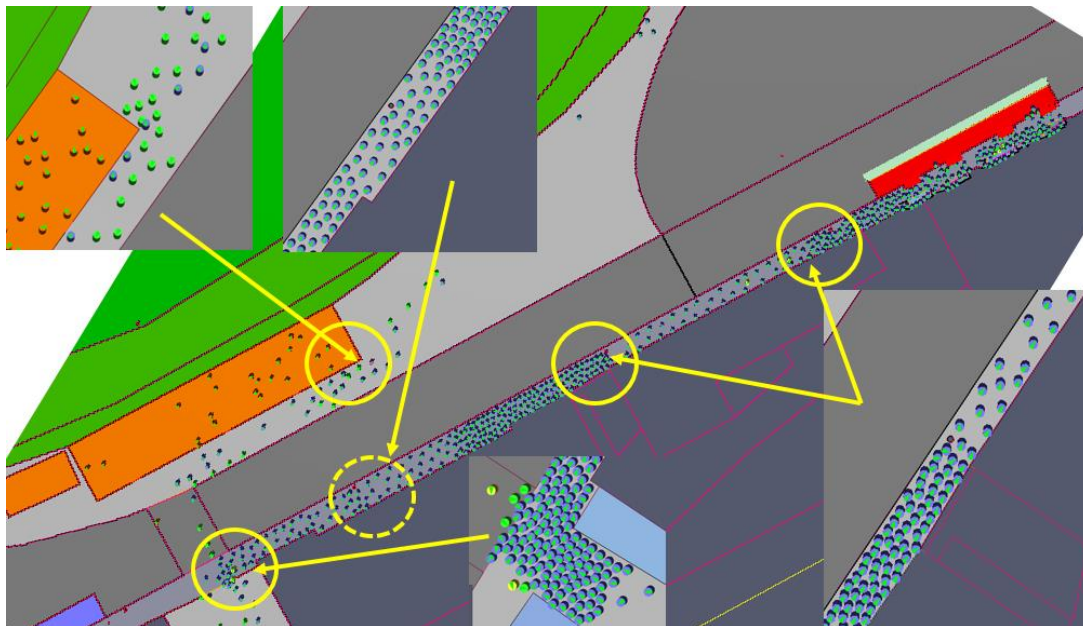
Z Dolního nádraží je zajištěna kyvadlová autobusová doprava na Hlavní nádraží nebo na zastávku Úzká. V blízkosti lokality je možno využít náhradní dopravy linek 60, 61, nebo stávajících 84 (směr Univerzitní kampus) a 44 (směr Židenice a jiné - 40, 47, 48, 49, 63, 701, 702) viz Obr. 5.11 Obr. 5.13.

### 5.3.2 Model lokality

Model je v tomto případě využit již ve fázi návrhu. Pro simulace scénářů provozu nádraží, se vychází ze špičkových denních intervalů (7:19-7:23 hod, 16:36-16:40 hod), kdy v těchto intervalech těsně po sobě přijíždí na Dolní nádraží tři vlakové soupravy s přibližně 950 cestujícími, kteří vystupují/nastupují. Celý proces výměny cestujících na nádraží trvá přibližně 4 minuty. Cestující proudí do prostoru před Dolním nádražím, a následně do předem vytipovaných cílových míst (na autobusové spoje dle jízdních řádů 60; 61; 84; 44, centrum přes NC Vaňkovka, Business centrum po cyklostezce).

Při návrhu dopravního řešení této lokality vyvstávají klíčové otázky – Budou rozptylové plochy před nádražím dostatečně velké pro velkou skupinu cestujících vystupujících z /nastupujících do přistavené soupravy? Jak bude vypadat situace před Dolním nádražím v průběhu času před/po příjezdu vlaku? Jak uzpůsobit jízdní řády náhradní dopravy, tak aby lidé dlouho nečekali a dopravce nepřipravoval zbytečné spoje? Využití mikroskopického modelu s následnou analýzou výsledků pomáhá, tyto otázky do značné míry vyřešit viz Obr. 5.12.

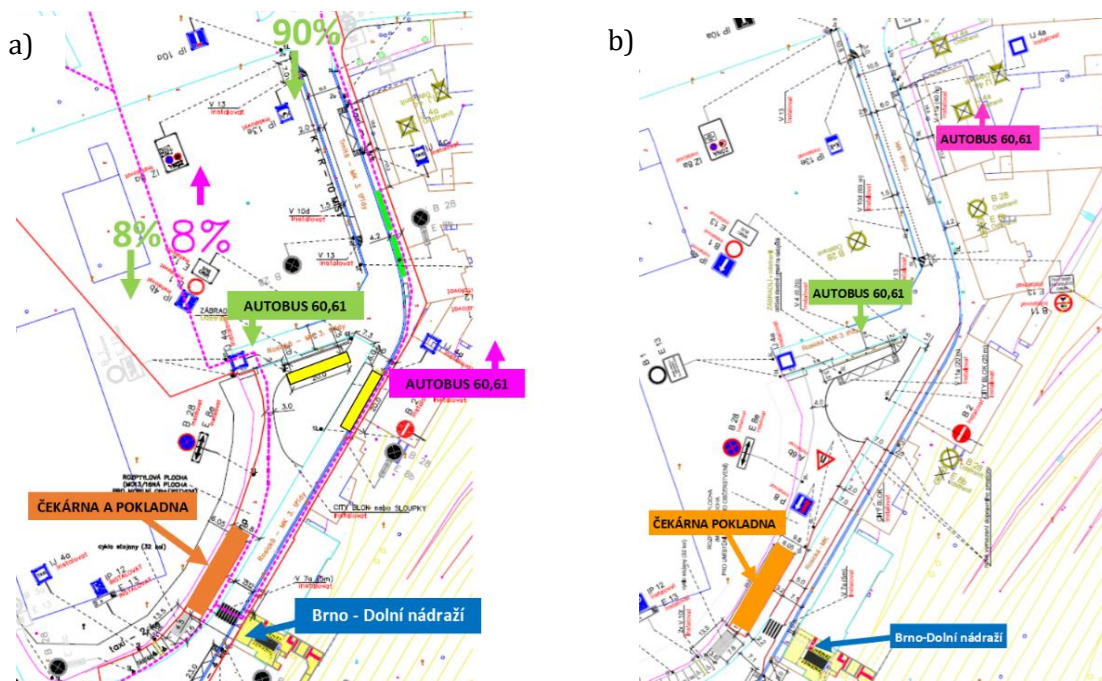




Obr. 5.12: Brno-Dolní nádraží – Model stávajícího stavu za předkladu příjezdu cca 950 os. /4 min.

### 5.3.3 Přínosy aplikace

Díky výsledkům simulace modelu byla určena kritická místa, kde lze očekávat kolize cestujících, zvýšenou hustotu osob a vstup osob do nebezpečného prostoru vozovky. Tyto poznatky z analýzy výsledků spolu s dalšími připomínkami jednotlivých dotčených orgánů přispěly k návrhu ověřeného, komplexního dopravního řešení, viz Obr. 5.13 b).



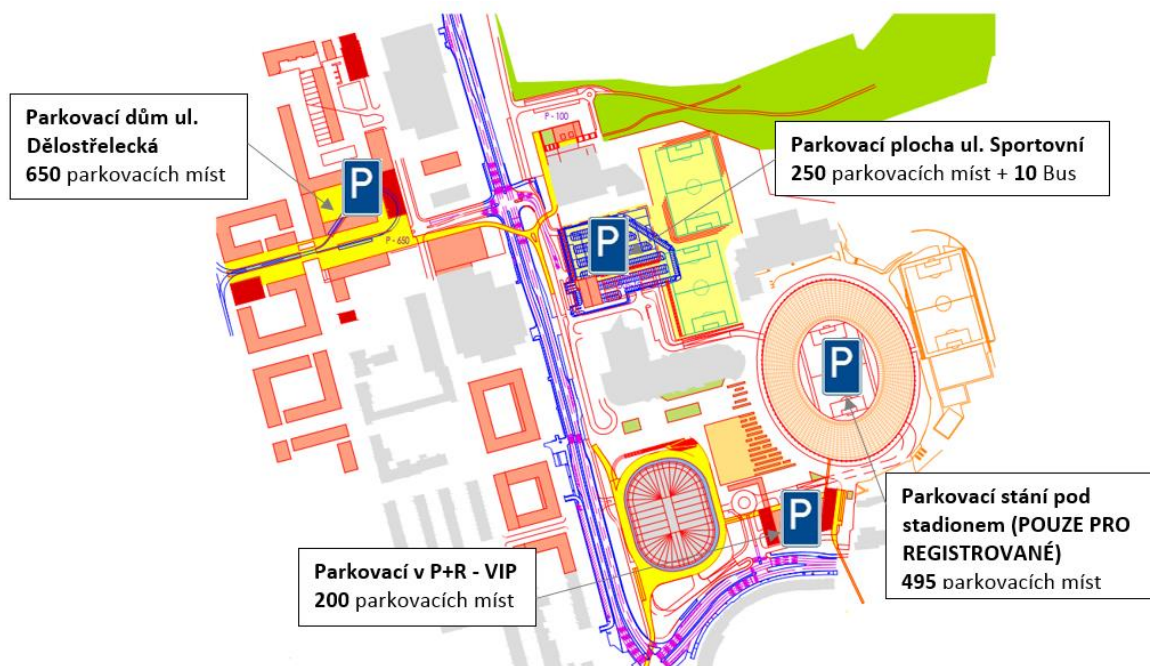
Obr. 5.13: Brno-Dolní nádraží – Porovnání a) prvotní, b) finální projektové dokumentace dopravního řešení, která byla optimalizovaná opakovanými simulacemi [24].

## 5.4 STUDIE ŠIRŠÍCH VZTAHŮ A ROZPTYLOVÝCH PLOCH

### 5.4.1 Řešená lokalita

Posuzovaná oblast je umístěna okolo nově zamýšleného stadionu za Lužánkami v městské části Ponava. Zájmové území je ohraničeno ulicemi Sportovní, Drobného, třídou Generála Píky a Porgesovou. Ulice Sportovní je hlavní severní radiálou městského komunikačního systému a ulice Drobného tvoří část II. městského okruhu. Ulice Porgesova je částí kapacitního velkého městského okruhu. Stadion je navržen pro 30 000 diváků. Dle zpracované územní studie se v současné době návštěvnost pohybuje v počtech do 10 000 diváků.

Pro provoz stadionu jsou navržena v okolí stadionu záchytná parkoviště, která by měla zajistit počet parkovacích stání, který pokryje potřeby očekávané průměrné návštěvnosti. V zázemí vedle stadionu je navrženo 200 parkovacích stání pro VIP hosty. Tato stání budou dopravně napojena na ul. Drobného stávajícím vjezdem. Pro návštěvníky je navržena parkovací plocha s kapacitou 250 parkovacích míst pro osobní automobily a 10 parkovacích míst pro autobusy v prostoru mezi Bobycentrem a plaveckým stadionem, napojené na ulici Sportovní. Dále návštěvníci mohou odstavit své automobily v nově navrženém parkovacím domě pod plánovanou smyčkou tramvaje Dělostřelecká s kapacitou 650 parkovacích míst. Přímo ve stadionu je umístěno 495 parkovacích míst pro zajištění potřeb předpokládaného běžného provozu mimo konání fotbalových utkání.

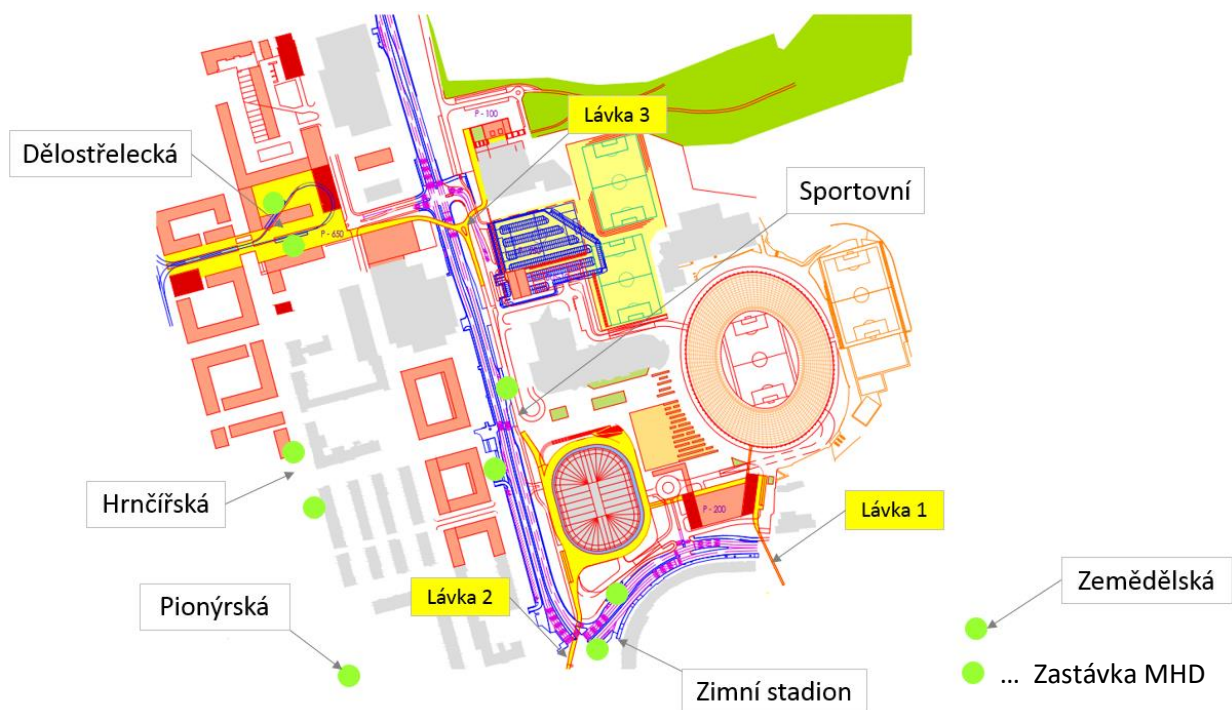


Obr. 5.14 Schéma znázorňující rozmístění parkovacích ploch v okolí stadionu i s jejich kapacitami [25].

Oblast kolem stadionu je poměrně dobře obsluhována městskou hromadnou dopravou. Tramvajová doprava je vedena po tř. Generála Píky (linky 9 a 11, zastávka Zemědělská) a ulici Štefánikově (linky 1 a 6, zastávka Hrnčířská a Pionýrská). Po ulici Drobného je vedena trolejbusová linka s poměrně krátkým intervalem (linka 25, 26, zastávka Zimní stadion). Po ulici Sportovní je vedena autobusová linka (linka 67, zastávka Sportovní).

Okolí stadionu v současnosti patří mezi velmi využívané pěší trasy, konkrétně ulice Pionýrská, ulice Drobného, dále směrem na Lužánecký park, ulice Zemědělská a ulice Sportovní po křižovatku s ul. Rybníček. Na této křižovatce je umístěn pouze poptávkový světelně řízený přechod pro chodce přes ulice Sportovní.

Pro zvýšení bezpečnosti a návaznosti pěší dopravy jsou pro v okolí stadionu navrženy tři mimoúrovňové lávky. První jižní straně stadionu začíná na boku budovy P+R a ústí směrem na ulici Zemědělskou. Druhá lávka překlenuje světelnou křižovatku ulice Sportovní a Drobného, z ochozu navrhovaného hokejového stadionu dále pokračuje nad křižovatkou a ústí do rohu Lužáneckého parku. Poslední lávka je umístěna na Sportovní ulici, kde má za úkol propojovat pěší komunikace ke stadionu s parkovacím domem s tramvajovou smyčkou na ulici Dělostřelecká a novým plaveckým stadionem.



Obr. 5.15: Schéma znázorňující rozmístění zastávek MHD a pozice nově navrhovaných lávek pro pěší [25].

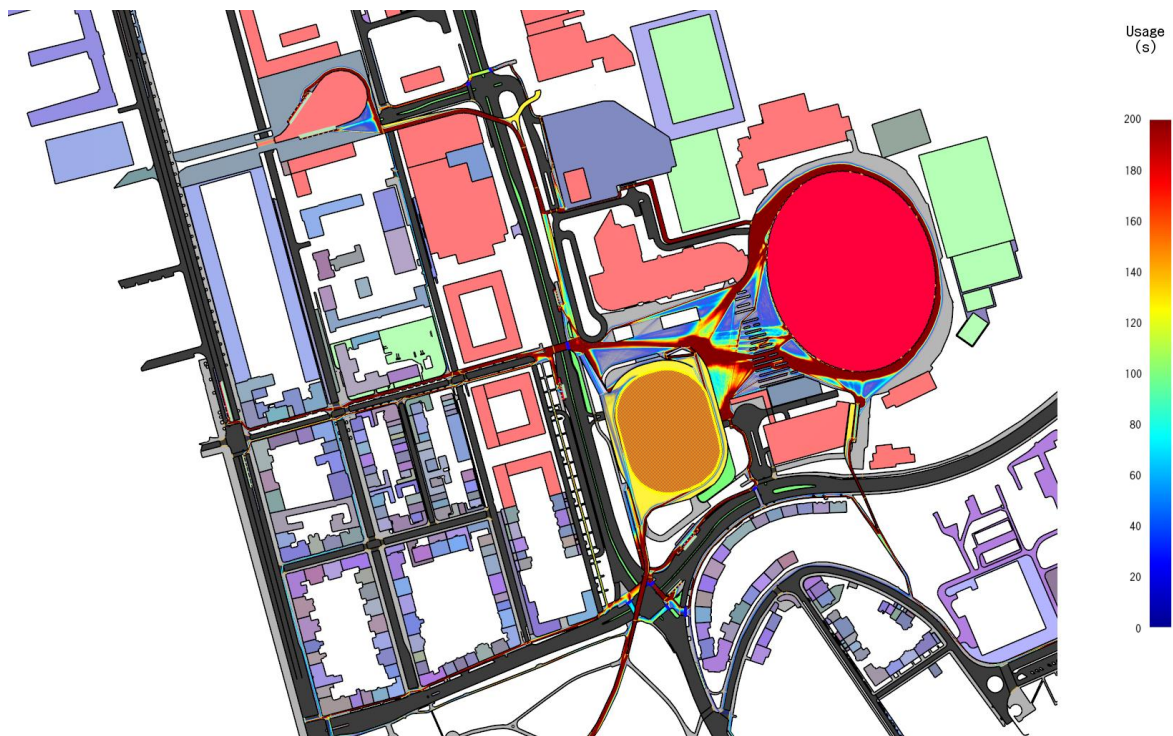
## 5.4.2 Model lokality

Model pohybu pěších v okolí stadionu vychází z předpokladu plné obsazenosti stadionu (30 000 diváků), rychlost pohybu je uvažována realisticky dle SFPE, tedy v závislosti na lokální hustotě. Odcházející diváci mohou využít dopravu pěšky, osobním autem/klubovým autobusem (s využitím parkovišť) nebo městskou hromadnou dopravou (tramvaje, trolejbusy a autobusy). V modelu bylo aplikováno konkrétní využití zastávek cestujícím městskou hromadnou dopravou, vycházející z předešlých dopravních průzkumů a zkušeností z historicky podobných událostí.

Výstupem simulací vytvořeného modelu pěší dopravy dle získaných pokladů jsou časové intervaly naplnění jednotlivých destinací (zastávek), které mohou sloužit pro návrh například, posilových spojů. Získané výsledky lze provázat s případným navazujícím modelem MHD pro optimalizaci vyklizení okolí stadionu.

### 5.4.3 Přínosy aplikace

Pro účely grafického vyhodnocení je vytvořena mapa zatížení (využití) prostranství v okolí stadionu, která představuje kumulativní součet času, kdy se v daném místě vyskytuje jedinec. Výsledkem je analogie mapy hustoty osob, která v tomto případě zachycuje vytížení prostoru jednotlivci po celou dobu simulace.



Obr. 5.16: Zatížení okolí stadionu v čase 2 500 s od počátku vyklizení stadionu, parametry dle SFPE.

Z mapy je možné identifikovat místa vhodná pro další zkapacitnění či úpravu veřejného prostoru, a dále pro umístění navigace, informačních tabulí, reklamních ploch apod. Z výsledků modelu pohybu v okolí stadionu dále vyplývá, že prostranství před stadionem bude ve stávajícím řešení využíváno výrazně nerovnoměrně. Úprava tohoto prostoru pro optimalizaci proudění osob je na místě.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

---

Obr. 2.1: Příklad záběru stereoskopického detekčního systému – vpravo dole je zobrazena hloubková mapa scény.....	7
Obr. 2.2: Správně rektifikovaný stereoskopický systém. Vodorovné čáry představují zarovnané řádky.....	8
Obr. 2.3: Příklad záběru z monoskopického systému, kde detekce je prováděna přímo z obrazu - Optimální úhel kamery (vpravo nahoře).....	9
Obr. 3.1: Jedním z přístupů měření hustoty pěšího proudu je tzv. Voriniova metoda, která pracuje s okolím jednotlivce jako s polynomem (Steffen & Seyfried, 2010).....	12
Obr. 3.2: Zobrazení elipsy těla jako minimálního prostoru, který jednotlivec zaujímá (Fruin, 1971). .....	12
Obr. 3.3: Statická hustota osob odpovídající postupně rostoucím hodnotám v intervalu 1,0–5,0 osob·m <sup>-2</sup> při schématickém pohledu seshora (Still, 2014).....	13
Obr. 3.4: Srovnání statické a dynamické hustoty osob odpovídající hodnotám v intervalu 1,0 a 2,5 osob·m <sup>-2</sup> při schématickém pohledu seshora. Hustota přesahující 2,5 osob·m <sup>-2</sup> už znamená zvýšené riziko (Still, 2014)......	14
Obr. 3.5: Rychlost chůze v závislosti na věku dle Weidmana (Weidmann, 1993). ....	15
Obr. 3.6: Grafické srovnání rychlosti chůze po rovině v závislosti na věku dle Weidmana a ČSN. Pro obě pohlaví a všechny věkové skupiny je zobrazen rozsah maximální a minimální hodnoty a průměrná hodnota. ....	16
Obr. 3.7: Grafické srovnání rychlosti chůze po schodech směrem nahoru a dolů dle Fruina a ČSN 73 0802.....	17
Obr. 3.8: Věkové složení standardní populace (RIMEA, 2009). ....	18
Obr. 3.9: Prostorové nároky osob spadajících dle Vyhlášky č. 398/2009 do skupiny osob s omezenou schopností pohybu a orientace – čelní pohled [8]. ....	20
Obr. 3.10: Prostorové nároky osob spadajících dle Vyhlášky č. 398/2009 do skupiny osob s omezenou schopností pohybu a orientace – půdorys pohled [8]. ....	20
Obr. 4.1: Grafické vyjádření prostorové náročnosti jednotlivých úrovní kvality pěší dopravy vzhledem k půdorysu stojící osoby (Fruin, 1971). ....	22
Obr. 4.2: Úrovně kvality pěší dopravy podle Fruina pro různé typy komunikace (Fruin, 1971). ..	22
Obr. 4.3: Srovnání úrovně kvality pěší dopravy podle Fruina, HBS a HCM pro různé typy komunikace [2, 14, 15].....	23
Obr. 5.1: a) Začátek Masarykovy třídy mezi domy Padowetz palác (vlevo) a nájemním domem Masarykova č. 37 (vpravo) b) Konec Masarykovy třídy ústící na Náměstí Svobody [19]. .....	26
Obr. 5.2: Schéma zájmového území – Masarykova třída. ....	26
Obr. 5.3 Dopravní situace na ulici Masarykova – a) běžný provoz; b) v době zásobování [20]. ...	27
Obr. 5.4: Schéma zájmového území – Rozmístění aktuálního venkovního posezení (obdélníčky), městského mobiliáře (kolečka), stálých parkovacích ploch – Schéma je doplněno o vytipovaná místa a podniky, které mají zájem o zřízení venkovního posezení (trojúhelníčky).....	28

Obr. 5.5: Snímky ze simulace varianty Běžný provoz: a) Venkovní posezení řešené v zalomení ulice Masarykova, b) Venkovní posezení řešené v části rovného úseku ulice Masarykova....	28
Obr. 5.6: Výsledky simulace ul. Masarykova - Vybraná kritická místa řada obrázků a) vzniklé nevhodným umístěním, nebo velikostí venkovního posezení; b) vzniklé spatným umístěním mobiliáře; c) celkový pohled na ul. Masarykovu.....	29
Obr. 5.7: Ulice Nádražní – Vyznačené zájmové území [22]. .....	30
Obr. 5.8: Ulice Nádražní – Aktuální stav zájmového území [22]. .....	30
Obr. 5.9: Ulice Nádražní – a) Model stávajícího stavu; b) Model nově optimalizovaného návrhu. ....	31
Obr. 5.10: Ulice Nádražní – Model nového optimalizovaného návrhu zájmového území. ....	31
Obr. 5.11: Brno-Dolní nádraží – Zkoumaná oblast a její návaznost na dopravu [23].....	32
Obr. 5.12: Brno-Dolní nádraží – Model stávajícího stavu za předkladu příjezdu cca 950 os. /4 min. ....	33
Obr. 5.13: Brno-Dolní nádraží – Porovnání a) prvotní, b) finální projektové dokumentace dopravního řešení, která byla optimalizovaná opakovanými simulacemi [24].....	33
Obr. 5.14 Schéma znázorňující rozmístění parkovacích ploch v okolí stadionu i s jejich kapacitami [25].....	34
Obr. 5.15: Schéma znázorňující rozmístění zastávek MHD a pozice nově navrhovaných lávek pro pěší [25].....	35
Obr. 5.16: Zatížení okolí stadionu v čase 2 500 s od počátku vyklizení stadionu, parametry dle SFPE. ....	36

## SEZNAM TABULEK

---

Tab. 2.1: Příklad instalační výšky stereoskopického systému v závislosti na použitém objektivu pro plochu 4,5×3,5 m.....	7
Tab. 3.1: Rozměry elipsy lidského těla pro jednotlivé evropské národnosti (Pheasant, 1996).....	13
Tab. 3.2: Rychlosti osob dle ČSN 73 0802.....	15
Tab. 3.3: Podrobné rozdělení rychlosti chůze v závislosti na věku dle Weidmana (Weidmann, 1993).....	16
Tab. 3.4: Rychlost dle Fruina na schodech s různým sklonem [1].....	16
Tab. 4.1: Úroveň kvality dopravy podle Fruina, která je dnes respektována jako standard (Fruin, 1971).....	21
Tab. 4.2: Úroveň kvality dopravy podle německých standardů HBS a amerických standardů HCM [14, 15].	23
Tab. 5.1: Souhrnná data o využití Masarykovy ulice (Brněnské komunikace, 2014).....	27

Tab. 2.1: Příklad instalační výšky stereoskopického systému v závislosti na použitém objektivu pro plochu 4,5×3,5 m.....	7
Tab. 3.1: Rozměry elipsy lidského těla pro jednotlivé evropské národnosti (Pheasant, 1996).....	13
Tab. 3.2: Rychlosti osob dle ČSN 73 0802.....	15
Tab. 3.3: Podrobné rozdělení rychlosti chůze v závislosti na věku dle Weidmana (Weidmann, 1993).....	16
Tab. 3.4: Rychlost dle Fruina na schodech s různým sklonem [1].....	16
Tab. 4.1: Úroveň kvality dopravy podle Fruina, která je dnes respektována jako standard (Fruin, 1971).....	21
Tab. 4.2: Úroveň kvality dopravy podle německých standardů HBS a amerických standardů HCM [14, 15].	23
Tab. 5.1: Souhrnná data o využití Masarykovy ulice (Brněnské komunikace, 2014).....	27



## LITERATURA

---

- [1] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. 2009.
- [2] Fruin, J. J.: Pedestrian Planning and Design. Elevator World, Inc., 1971.
- [3] Pheasant, S.: *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of the Work*. CRC Press, 1996.
- [4] RIMEA: Richtlinie für Mikroskopische Enttuchtungs-Analysen. 2009.
- [5] Weidmann, U.: Transporttechnik der Fussgänger. Technická zpráva, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, 1993.
- [6] Lovreglio, R., E. Kuligowski, S. Gwynne a K. Boyce, 2019. A pre-evacuation database for use in egress simulations. *Fire safety journal* [online]. Else, September 2019, Pages 107-128 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.009>
- [7] J. Š. a. M. Horký, „Kvantová psychologie,“ Creative Commons Uved'te autora 3.0 Česko, [Online]. Available: <http://www.kvantovapsychologie.cz>.
- [8] Koch-schmuckerschlag, Constanze a Oskar Kalamidas, 2006. *Barrierefreies Bauen für alle Menschen: Planungsgrundlagen*. Graz: Medienfabrik Graz. ISBN 3-9502081-0-0.
- [9] Still, G. K.: Introduction to Crowd Science. CRC Press, 2014.
- [10] ČSN 73 0831: 2011 – Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory
- [11] Galea, E., Lawrence, Peter, Gwynne, Steve, Filippidis, Lazaros, Blackshields, Darren and Cooney, David (2019) *buildingEXODUS V6.2 Technical Manual and User Guide*. Manual. University of Greenwich, Greenwich, London, UK.
- [12] Technical Reference: *Pathfinder*, 2019. Manhatta, USA: Thunderhead Engineering.
- [13] User Manual: *Pathfinder*, Manhattan, USA: Thunderhead Engineering, 2019.
- [14] Wachs, M.; Samuels, J. M.; Skinner, R. E.: Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, 2000.
- [15] Brillon, W.: Handbuch für die Bemessung von Stra\_enverkehrsanlagen. Forschungsgesellschaft für Stra\_en- und Verkehrswesen, 2009.
- [16] Apeltauer, T., Beneš, P., Vrána, L., 2015. Aplikace pokročilých modelů pohybu osob a dynamiky požáru pro bezpečnou evakuaci osob a analýzu rizik: VG20132015120 Bezpečná hromadná evakuace osob s využitím pokročilých simulací davové dynamiky a

- požáru [online]. Brno. Certifikovaná metodika. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [17] Hurley, M. J. (editor): SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, 2015.
- [18] Schröder, Benjamin, 2016. Multivariate Methods for Life Safety Analysis in Case of Fire. Jülich: Forschungszentrum Jülich. ISBN 978-3-95806-254-2.
- [19] Památkový katalog [online]. Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://pamatkovykatalog.cz/>
- [20] Idnes.cz: Ulice v centru Brna je pěší zónou. Jezdí tudy ale stovky tramvají i aut. *Idnes.cz* [online]. Brno, 2015, 23. 11. 2015 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: [https://brno.idnes.cz/pesi-zona-masarykova-ulice-v-brne-dqu-/brno-zpravy.aspx?c=A151123\\_2207293\\_brno-zpravy\\_tr](https://brno.idnes.cz/pesi-zona-masarykova-ulice-v-brne-dqu-/brno-zpravy.aspx?c=A151123_2207293_brno-zpravy_tr)
- [21] Brněnské komunikace. *Dopravní průzkum ulice Marykova, Brno*. Brno, 2014.
- [22] Googlemaps. *Googlemaps* [online]. 2018, 2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/>
- [23] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. 2018, 2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.6333010&y=49.2000010&z=11>
- [24] Brněnské komunikace. *Studie řešení dopravní obsluhy "přednádražních prostor nádraží BRNO-DOLNÍ"*. Brno, 2018.
- [25] PK OSSENDORF s.r.o.: Územní studie. Zanesena fotbalová akademie, 2017
- [26] Brněnské komunikace, a.s.: Podklady k výběru transportu MHD a signalizační plán, 2016.
- [27] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně § 4 odst. 2 písmene h) – činnost se zvýšeným požárním nebezpečím.
- [28] Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů (nahrazuje původní vyhlášku č. 137/1998 Sb.).
- [29] Zákon č. 108/2006 Sb. o sociálních službách
- [30] Vyhl. č. 398/2009 o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb
- [31] ISO/TR 13387-8 Fire Engineering: Life Safety | Occupant Behaviour, Location and Condition. 1999.

- [32] PD 7974-6:2004 The Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety Design of Buildings. 2004.
- [33] Nenno, P. J. D. (editor): SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, kapitola Movement of People: The Evacuation Timing. National Fire Protection Association, 2002, s. 3342.
- [34] Purser, D. A.; Bensilum, M.: Quantification of Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations. In Human Behaviour in Fire 1998, 1998.
- [35] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. 2010.
- [36] ČSN 73 0818 Požární bezpečnost staveb – Obsazení objektu osobami. 1997.
- [37] Still, G. K.: Crowd Dynamics. Dizertační práce, University of Warwick, Department of Mathematics, 2000.
- [38] Tubbs, J., Meacham, B.: Egress Design Solutions A Guide to Evacuation and Crowd Management Planning. Wiley 2007

#### **SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE**

---

Apeltauer, T., Beneš, P., Vrána, L., 2015. Aplikace pokročilých modelů pohybu osob a dynamiky požáru pro bezpečnou evakuaci osob a analýzu rizik: VG20132015120 Bezpečná hromadná evakuace osob s využitím pokročilých simulací davové dynamiky a požáru [online]. Brno. Certifikovaná metodika. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

OKŘINOVÁ, P.; APELTAUER, T. Analýza pěší dopravy u náhradního uzlu Brno-Dolní nádraží. *Silniční obzor*, 2018, č. 79, s. 272-275. ISSN: 0322-7154.

DUFEK, Z.; CHORAZY, T.; APELTAUER, T. Analysis of the approach of the municipalities to the smart city conception and selected examples of its applications. In *Smart City Symposium Prague (SCSP), 2017*. 1. Prague, Czech Republic: IEEE, 2017. s. 1-6. ISBN: 978-1-5386-3825-5.

APELTAUER, T.; BENEŠ, P.; OKŘINOVÁ, P. Modelování pěší dopravy a příklady z praxe. In *Zklidnění dopravy ve městech a obcích*. Brno: Brněnské komunikace, a.s., 2016. s. 1-8. ISBN: 978-80-260-9662-7.