



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE INŽENÝRSKÝCH ÚLOH A INFORMATIKY

INSTITUTE OF COMPUTER AIDED ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE

## MODELOVÁNÍ POHYBU OSOB PŘI HROMADNÝCH UDÁLOSTECH V OKOLÍ STADIONU

PEDESTRIAN MODELLING DURING SPORT EVENTS OUTSIDE OF THE STADIUM

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Zelinka

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Mgr. TOMÁŠ APELTAUER, Ph.D.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program
Studijní obor	3647R025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Zelinka
Název	Modelování pohybu osob při hromadných událostech v okolí stadionu
Vedoucí práce	doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

---

doc. Ing. Aleš Krejčí, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. 2009.

Fruin, J. J.: Pedestrian Planning and Design. Elevator World, Inc., 1971.

Still, G. K.: Crowd Dynamics. Dizertační práce, University of Warwick, Department of Mathematics, 2000.

Still, G. K.: Introduction to Crowd Science. CRC Press, 2014.

Tubbs, J.; Meacham, B.: Egress Design Solutions A Guide to Evacuation and Crowd Management Planning. Wiley, 2007.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Cílem práce je aplikovat modelování pohybu osob na okolí sportovního stadionu po skončení zápasu. Důraz bude kladen na běžnou (nenouzovou) situaci a využití modelu pro analýzu běžných rizik vázaných na úroveň kvality dopravy, a návaznost na městskou hromadnou dopravu a přilehlé pakovací plochy. Student bude v rámci práce demonstrovat pochopení základních principů numerického modelu pohybu osob a jeho logiky včetně schopnosti verifikace modelu a jeho kalibrace.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá modelováním pohybu osob v okolí nového brněnského sportovního stadionu po skončení zápasu. Proces modelování pohybu osob byl proveden v programu Pathfinder. Výstupem je analýza běžných rizik vázaná na úroveň kvality pěší dopravy, stanovení docházkových dob, porovnání mezi různými variantami a návštěvnostmi.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Hromadná událost, Kalibrace, Kvalita dopravy, Modelování, Model, Osoba, Pathfinder, Pohyb osob, Rizika, Rychlost, Stadion, Verifikace, Simulace

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with modeling the movement of people around the new Brno sports stadium after the end of the match. The process of modeling the movement of people was done in Pathfinder. The output is an analysis of the current risks associated with the quality of the transport, the determination of the time to exits, the comparison between different variants and attendance.

## **KEYWORDS**

Multiple event, Calibration, Transport quality, Modeling, Model, Person, Pathfinder, Person movement, Risks, Speed, Stadium, Verification, Simulation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Petr Zelinka *Modelování pohybu osob při hromadných událostech v okolí stadionu*. Brno, 2018. 76 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky. Vedoucí práce doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

---

Petr Zelinka  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Mgr. Tomáši Apeltauerovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracovávání. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petře Okřinové za poskytnutí modelu navrhované varianty, podkladů a rady při práci s modelem. Děkuji i Brněnským komunikacím za poskytnutá data.

# OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Osoba .....	11
2.1	Prostor a rozměry .....	11
2.2	Statická a dynamická hustota .....	13
2.3	Rychlost .....	17
2.4	Davové situace .....	18
2.4.1	Tlačence .....	18
2.4.2	Postupující davový kolaps.....	19
2.4.3	Davová panika.....	19
2.5	Úroveň kvality pěší dopravy .....	19
2.5.1	Úroveň kvality pěší dopravy dle Fruina.....	20
2.5.2	Hodnocení úrovně kvality pěší dopravy dle Highway Capacity Manual a Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen .....	22
3	Řešená lokalita .....	23
3.1	Lokalizace .....	23
3.2	Popis území – současný stav .....	24
3.2.1	Ulice a plochy .....	24
3.2.2	MHD .....	28
3.2.3	Parkovací plochy .....	29
3.2.4	Významné objekty v území.....	31
3.3	Popis území – navrhovaný stav .....	31
3.3.1	Ulice a plochy .....	31
3.3.2	MHD .....	33
3.3.3	Parkovací plochy .....	33
4	Modelování pohybu osob.....	35
4.1	Rozdělení modelů .....	35
4.1.1	Makroskopické modely .....	35
4.1.2	Celulární automaty .....	36
4.1.3	Mikroskopické modely – agentní technologie .....	37
4.2	Druhy SW .....	38
4.2.1	Exodus.....	38
4.2.2	Pathfinder .....	39
4.2.3	Viswalk .....	39
4.2.4	SimWalk.....	40
4.2.5	Další nástroje.....	40
4.3	Verifikace, kalibrace, validace .....	41
4.3.1	Verifikace.....	41
4.3.2	Kalibrace .....	41



4.3.3	Validace .....	41
5	Modelování pohybu osob v okolí fotbalového stadionu .....	43
5.1	Použitý nástroj.....	43
5.2	Vstupní data .....	43
5.2.1	Geometrie modelu .....	43
5.2.2	Populace .....	47
5.2.3	Pohyb návštěvníků .....	48
5.2.4	Experimentální sběr dat.....	52
5.2.5	Další nastavované parametry .....	53
5.3	Výsledky docházkových dob a vzdáleností .....	54
5.3.1	Nulová varianta .....	54
5.3.2	Navrhovaná varianta .....	56
5.4	Porovnání variant a výpočtů.....	58
5.4.1	Porovnání nulové a navrhované varianty .....	58
5.4.2	Vliv chodců na návštěvníky .....	59
5.4.3	Porovnání rychlostí dle ČSN, IMO a Weidmanna .....	60
5.4.4	Časový průběh pohybu chodců a jejich zdržení.....	61
5.4.5	Změna simulačního kroku .....	63
5.4.6	Změna vstupních parametrů .....	64
5.5	Hodnocení kvality pěší dopravy (los) .....	65
5.5.1	Nulová varianta .....	65
5.5.2	Navrhovaná varianta .....	67
6	Závěr .....	71
7	Citovaná literatura.....	72
8	Seznam obrázků .....	73
9	Seznam tabulek .....	75
10	Seznam příloh .....	76

# 1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je aplikovat modelování pohybu osob na okolí plánovaného sportovního stadionu po skončení zápasu za předpokladu nenouzové situace. Hlavní využití modelu je porovnání nulové a navrhované varianty okolí stadionu v rámci různých návštěvností sportovního utkání, zjištění úrovně kvality pěší dopravy, definování rizikových míst a interakce se stávajícími chodci.

První kapitola je zaměřena na definování osoby pro účely modelování. Cílem je popis základních parametrů, kterými jsou např. rozměry, rychlost, hustota a jejich porovnání mezi jednotlivými autory. Dále se zde věnuji úrovni kvality pěší dopravy, zejména jejímu hodnocení, a rozdělení davových situací včetně jejich popisu.

Další kapitola obsahuje řešenou lokalitu. Zaměřil jsem na popis nulové i navrhované varianty zejména v ohledech souvisejících s pohybem v území. Podrobně se věnuji uličnímu prostoru a plochám v okolí stadionu, městské hromadné dopravě a parkovacím plochám. U obou variant vycházím z poskytnutých nebo dostupných údajů.

Děle je práce zaměřena na obecné modelování pohybu osob. Zde se nachází rozdělení druhů modelů pro simulování pohybu osob a rozdělení jejich softwarů s popisem. Součástí je i rozlišení základních pojmů verifikace, kalibrace a validace.

Poslední kapitola zahrnuje samotný proces modelování. Uvádím vstupní data, ze kterých jsem vycházel při samotném modelování a porovnání výsledků mezi jednotlivými variantami v rámci rozdělení návštěvností, změny vstupní rychlosti a odlišných vstupních parametrů.

Tyto výstupy mohou sloužit k optimalizaci návrhu okolí stadionu nebo pro včasné a dostatečně kapacitní zajištění městské hromadné dopravy po skončení utkání.

## 2 OSOBA

Jedním ze zásadních předpokladů pro modelování pohybu osob je porozumění chování člověka a jeho vlastnostem. Vlastnosti mohou vycházet z potřeb pro jednotlivce nebo skupinu a mezi základní potřeby těchto kategorií patří vyjádření hustoty, rychlosti a rozměrů a následné zjištění statických i dynamických vlastností skupiny osob.

Na začátku je nutné pochopit vlastnosti jednotlivce, kterými jsou zejména rozměry a rychlost. Prostorové nároky jsou výrazně rozdílné pro stojící a pohybující se osoby a obecně platí, že při stejné hustotě osob roste riziko úměrně se zvyšující s rychlostí jejich pohybu [1]. S nárůstem osob, na relativně malém prostoru, se od jednotlivce přesouváme k statickým a dynamickým vlastnostem skupiny, které jsou zásadní u modelování pohybu osob při hromadných událostech. V obou případech vyjadřujeme vlastnosti nejčastěji formou hustoty (jednotkou je  $m^{-2}$ ), případně jako prostor obsazený jednou osobou (jednotkou je  $m^2$ ). Hustota je snadněji vizualizována a je i používanější formou. Největší hustoty davu se vyskytují v místech křížení jednotlivých dopravních proudů, dopravních komunikací, v místech zúžení a na čekajících plochách.

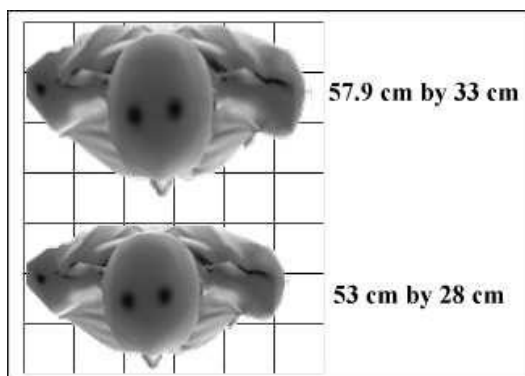
### 2.1 PROSTOR A ROZMĚRY

Prvním základním hodnotícím kritériem jsou rozměry těla s jeho vyjádřením v prostoru. Hloubka těla a šířka ramen jsou hlavními lidskými měřítky. Individuální plochu jednotlivce lze popsat tzv. elipsou těla vycházející z předešlých hodnot. Tento koncept Body Ellipse a Body Buffer zone byl poprvé uveden do praxe Johnem J. Fruinem v knize *Pedestrian Planning and Design* publikované v roce 1971. Zde popisuje eliptickou čáru znázorňující 95% percentil půdorysných rozměrů oblečeného dospělého muže s určitým přidaným prostorem, díky kterému je vytvořen neutrální prostor mezi jednotlivými osobami. Včetně přidaného prostoru má elipsa plochu  $0,22 m^2$  s rozměry  $0,61 m$  v delší ose a  $0,46 m$  v ose kratší [1]. Definováním plochy se zabývá i publikace *Highway Capacity Manual 2010* (HCM), která zjednodušuje tělesnou elipsu na rozměry  $0,60 m \times 0,45 m$ . Dalším zdrojem informací je *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, který byl vytvořen jako komplexní referenční zdroj pro veřejnou dopravu.

**Tabulka 2.1: Rozměry elipsy těla dle různých autorů [2].**

Rozměry elipsy těla dle různých autorů				
Autor	Země	Šířka [cm]	Hloubka [cm]	Plocha [m <sup>2</sup> ]
Fruin	USA	61,0	45,0	0,22
Still	UK	53,0	28,0	0,12
HCM 2010	USA	60,0	45,0	0,21
TCRP Report 165	USA	60,0	50,0	0,24
Průměr		58,5	42,0	0,19
Maximum		61,0	50,0	0,24

V tabulce jsou porovnána data čtyř publikací zabývajících se minimálním prostorem lidského těla, s přidaným prostorem, vyjádřeným pomocí tzv. Body Ellipse neboli elipsy těla. Největší rozdíly jsou mezi hodnotami Fruina a Stilla, kde se plošný výsledek liší o 0,1 m<sup>2</sup>.



**Obrázek 2.1: Porovnání půdorysných rozměrů lidského těla dle Fruina (nahore) a Stilla (dole) [3].**

Další možností jak popsat rozměry osob je využití alternativních zdrojů dat, které se zaměřují pouze na fyzické rozměry člověka [4]. Tyto rozměry jsou k dispozici v publikaci Stephena Pheasanta *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of the Work* a jsou rozděleny dle pohlaví chodců a jejich národnosti. Hodnoty jsou vyobrazeny v tabulce pro evropské národnosti.

**Tabulka 2.2: Rozměry lidského těla dle pohlaví a národnosti dle Phaesanta [4].**

Rozměry lidského těla				
Země původu	Pohlaví	Šířka [cm]	Hloubka [cm]	Plocha [m <sup>2</sup> ]
Velká Británie	muž	51,0	32,5	0,13
Velká Británie	žena	51,0	32,5	0,13
Polsko	muž	47,5	27,5	0,10
Polsko	žena	41,0	28,5	0,09
Francie	muž	51,5	28,0	0,11

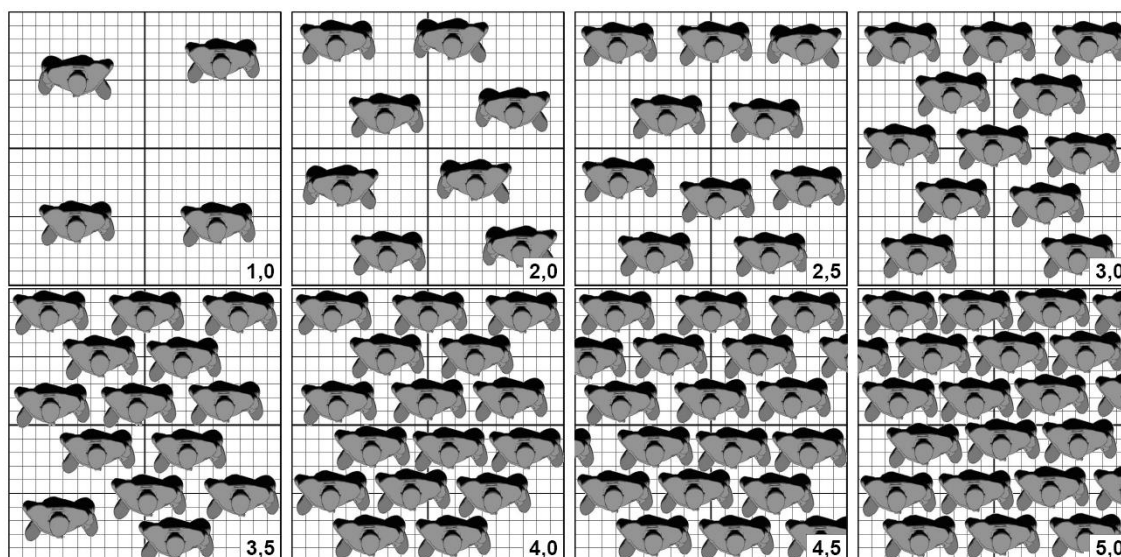
Francie	žena	47,0	29,5	0,11
Švédsko	muž	51,0	25,5	0,10
Švédsko	žena	42,5	30,0	0,10
Švýcarsko	muž	51,5	28,0	0,11
Švýcarsko	žena	47,0	29,5	0,11
Průměr		45,6	28,2	0,11
Maximum		51,5	32,5	0,13

Tyto rozměry jsou v porovnání s předchozími autory v některých případech až o polovinu nižší, jedná se však o rozměry bez započtení minimálního osobního prostoru. Při přepočtu dostaneme hustotu 4 – 5 osob.m<sup>-2</sup> pro osoby s, a 7 – 9 osob.m<sup>-2</sup> pro skupinu osob bez přidaného prostoru.

Pro přibližné zjištění hustoty osob.m<sup>-2</sup> můžeme vycházet i z hodnot obsaditelnosti vozidel MHD. Zde se používá maximální hodnota stojících cestujících 8 osob.m<sup>-2</sup> a normová (normální) hodnota 4 – 5 osob.m<sup>-2</sup> [5].

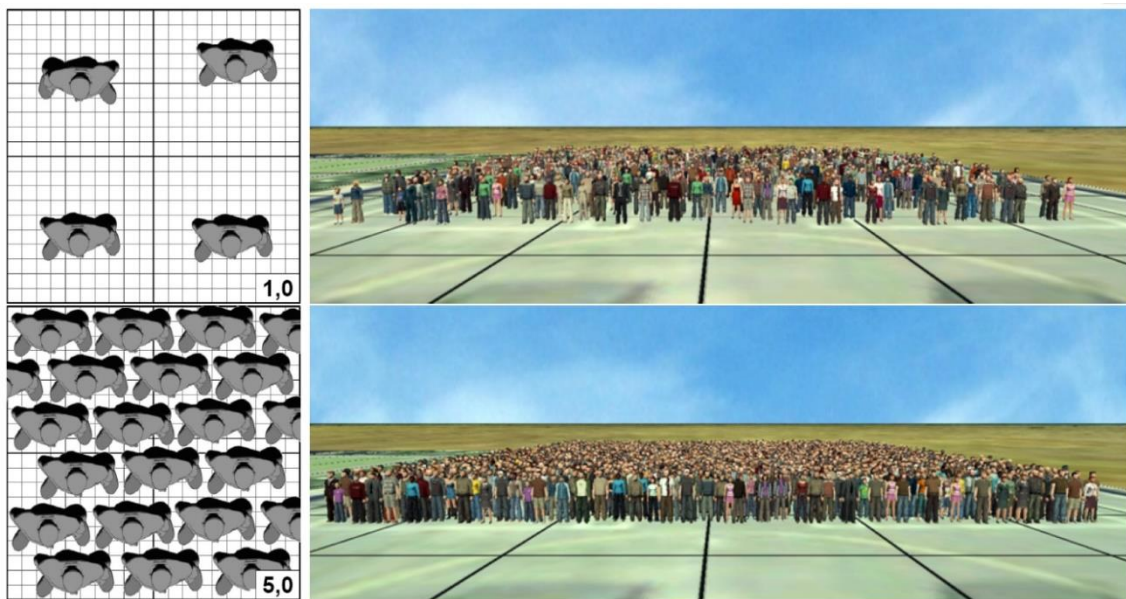
## 2.2 STATICKÁ A DYNAMICKÁ HUSTOTA

Z předchozích tabulek jsme získali povědomí o maximální hustotě osob, kterou si teď přiblížíme pomocí vizualizace v půdorysném i izometrickém zobrazení. Pro zobrazení budeme vycházet z hodnot Stilla, tedy šířkou 53 cm, hloubkou 28 cm a plochou 0,12 m<sup>2</sup>.



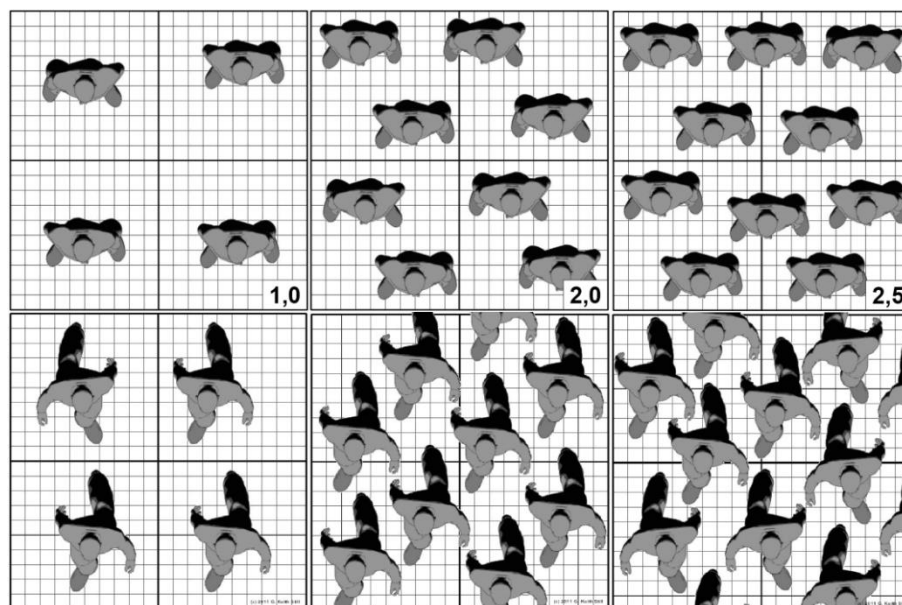
Obrázek 2.2: Statická hustota osob při půdorysném zobrazení pro interval 1,0 – 5,0 osob.m<sup>-2</sup> [6].

Ze srovnání vyplývá, že s rostoucí hustotou klesá komfortní zóna. U hodnot nad  $5 \text{ osob.m}^{-2}$  dochází k jejímu narušení. Zároveň pokud se skupina osob orientuje stejným směrem, vzniká maximální možné využití jejich komfortní zóny. Pokud skupina hledí různými směry, např. při čekání nebo kolektivní komunikaci, komfortní zóna poklesne úměrně s mírou nahodilosti preferovaných směrů [1]. Důležité je i místo pohledu. Pokud se díváme půdorysně, nepřipadá nám hustota taková, jako když se díváme šikmo z mírně vyvýšeného místa, viz Obrázek 2.3.



Obrázek 2.3: Porovnání půdorysného a šikmého pohledu na stejnou hustotu osob.m<sup>-2</sup> [6].

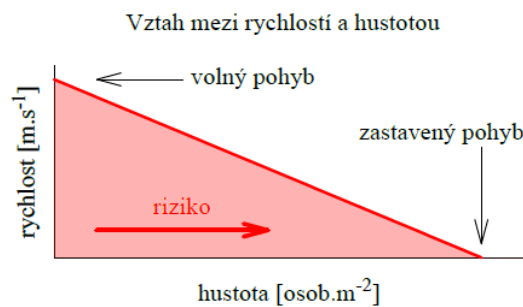
S rostoucím pohybem osob rostou i prostorové nároky.



Obrázek 2.4: Porovnání statické a dynamické hustoty při půdorysném zobrazení [6].

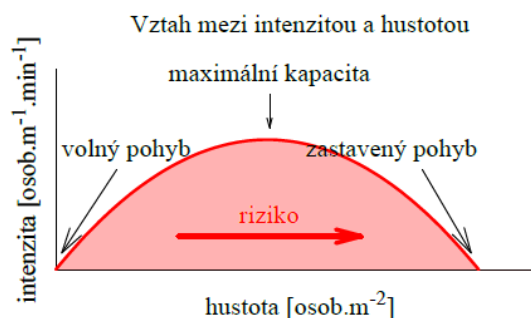
Pokud v půdorysném zobrazení srovnáme stejnou skupinu osob stojící a v pohybu, uvidíme, že pohybující se osoby zabírají více prostoru. Kolem hodnot  $2,5 \text{ osob.m}^{-2}$  dochází ke snižování komfortní zóny a s tím souvisí i rostoucí riziko přetížení.

Dynamické vlastnosti chování jednotlivce i skupiny, zejména v případech pohybu stejným směrem, jsou dobře popsatelné fundamentálními diagramy (FD). Hlavními faktory je zde hustota davu, intenzita a rychlost pohybu osob. Souvislost těchto parametrů je analogická jako u dopravního proudu. Při pohybu osob v místech, kde je nízká hustota, není rychlost jednotlivců omezoována a tím pádem může být velmi vysoká. S postupným navyšováním hustoty se rychlost snižuje, až do chvíle kdy už není možný pohyb a dav se zastaví. Nyní je rychlost nulová a hustota je maximální.



**Obrázek 2.5:** Přibližný vztah mezi rychlostí dopravního proudu osob a jejich hustotou [1].

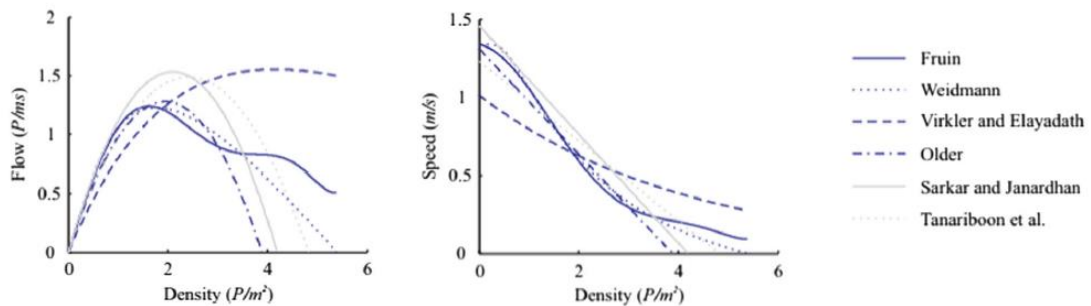
Porovnání intenzity a hustoty připomíná parabolickou křivku. Nejvyšší intenzity dosáhneme v době, kdy je hustota dostatečně vysoká, ale zároveň se dav neomezuje v pohybu (každý má dostatek prostoru). S dalším nárůstem hustoty dochází k poklesu intenzity vlivem snížení rychlosti pěšího dopravního proudu až do chvíle, kdy se dav zastaví. V tomto momentě je rychlost i intenzita nulová.



**Obrázek 2.6:** Přibližný vztah mezi intenzitou dopravního proudu pohybujících se osob a jejich hustotou [1].

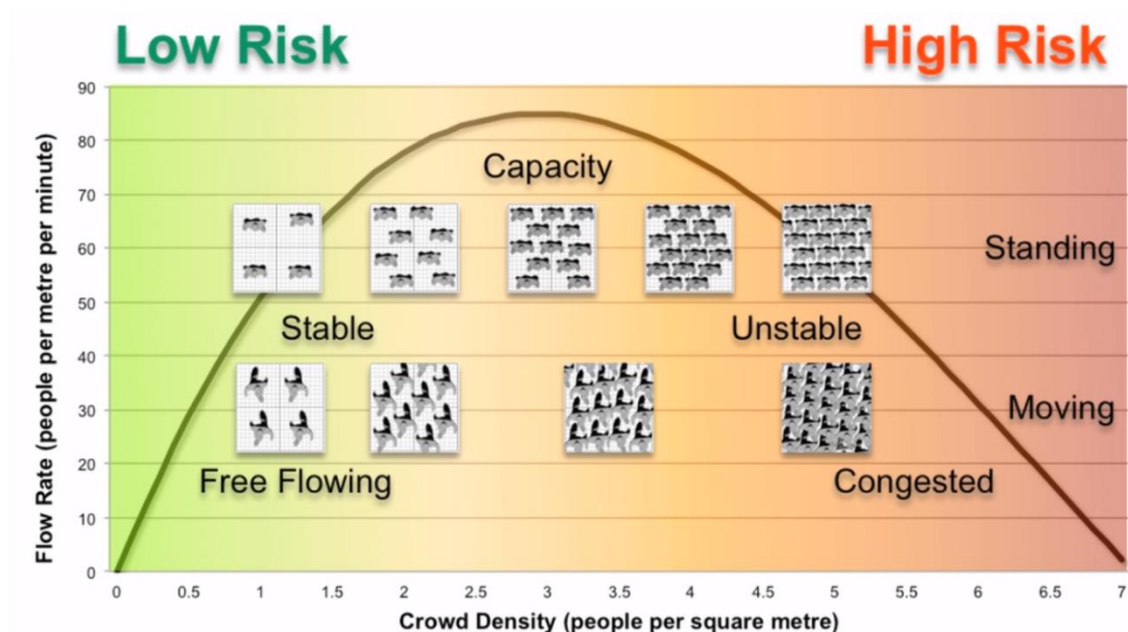
Maximální intenzity nedosáhneme při maximální hustotě.

Navzdory rozsáhlému výzkumu v této oblasti jsou výsledky různých studií značně rozdílné a výsledek je dobře vidět na porovnání fundamentálních diagramů. I když je tvar FD křivek ve všech studiích přibližně stejný, hodnoty intenzity se liší [7].



Obrázek 2.7: Porovnní fundamentálních diagramů dle různých autorů [7].

Na fundamentálních diagramech lze dobře ilustrovat i míru rizik, kterou profesor Still implementuje do grafu závislosti intenzity na hustotě. Při hustotách nižších jak 1 osoba.m<sup>-2</sup> je dav volný a stabilní. S rostoucí hustotou nemůžou osoby vytvářet dostatečně dlouhý krok a pohyb začíná být omezený. Pokud se bude dav pohybovat ve stejném kroku, může se zvýšit rychlost i intenzita.



Obrázek 2.8: Závislost intenzity a hustoty s porovnáním rizika přetížení pro statickou a dynamickou skupinu osob a [6].

Tak se může stát např. při pochodování na hudbu. Pohyb ve skupině začne být omezoován, jakmile jeden člověk vystoupí z kroku a tím omezí ostatní osoby v davu [6].



## 2.3 RYCHLOST

Rychlost je zásadním parametrem při zjišťování dynamických vlastností chodců a je značně ovlivněna samostatnou osobou, prostředím a okolím. Chůze se může lišit s ohledem na geografickou polohu, pohlaví, věk, roční období atd. Je zřejmé, že mladší chodci udržují vyšší rychlost při srovnání se staršími lidmi. Také muži chodí vyšší rychlostí ve srovnání se ženami [7]. Další rozdíly mezi rychlostí osob vychází z jejich handicapu. Osoby s horšími pohybovými vlastnostmi nedosahují průměrných rychlostí.

Možností, jak si přiblížit rychlost pohybujících se osob, je nahlédnutí do ČSN 73 0802 o *Požární bezpečnosti – nevýrobní objekty*. V této normě nalezneme rychlosti osob pohybujících se po rovině a po schodech vzhůru nebo dolů. Vhodnějším podkladem by mohla být publikace Ulricha Weidmanna *Transporttechnik der Fussgänge* [8]. Ten rozděluje rychlosti měřené na rovině dle věku a pohlaví a určuje střední rychlost pohybu pro muže  $1,41\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  a ženy  $1,27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při porovnání shledáme hodnoty ČSN jako minimální z dostupného spektra Weidmanna. Pokud budeme srovnávat rychlost pohybu na schodišti, můžeme využít publikaci Fruina, který poskytuje data pro chůzi na schodech s různým sklonem. Fruin zde také rozděluje rychlosti dle věku a pohlaví.

**Tabulka 2.3: : Rychlost pohybu osob dle ČSN 73 0802 [9].**

Rychlost osob dle ČSN 73 0802	
Směr pohybu	Rychlost pohybu osob [ $\text{ms}^{-1}$ ]
Po rovině	0,583
Po schodech dolů	0,500
Po schodech nahoru	0,417

**Tabulka 2.4: Rozdělení rychlosti osob v závislosti na pohlaví a věku dle Weidmanna [8].**

Rychlost osob dle Wiedmanna [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]				
	Ženy		Muži	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Věk < 30 let	0,516	1,433	0,580	1,610
Věk 30 - 50 let	1,255	1,371	1,410	1,514
Věk > 50 let	0,605	1,255	0,671	1,392
Snížená pohyblivost	0,409	0,676	0,460	0,760
Celkový průměr	0,940		1,050	

**Tabulka 2.5: Rozdělení rychlosti pohybu osob na schodišti v závislosti na pohlaví, věku a směru pohybu dle Fruina [10].**

Rychlost osob na schodišti dle Fruina				
	Sklon schodiště 32°		Sklon schodiště 27°	
	Věk < 30 let [m.s <sup>-1</sup> ]			
Směr pohybu	dolů	nahoru	dolů	nahoru
Ženy	0,594	0,538	0,671	0,559
Muži	0,828	0,559	0,930	0,610
Průměr	0,711	0,549	0,801	0,585
Věk 30 - 50 let [m.s <sup>-1</sup> ]				
Ženy	0,508	0,478	0,650	0,544
Muži	0,691	0,513	0,813	0,589
Průměr	0,600	0,496	0,732	0,589
Věk > 50 let [m.s <sup>-1</sup> ]				
Ženy	0,472	0,391	0,564	0,452
Muži	0,569	0,432	0,599	0,411
Průměr	0,521	0,412	0,582	0,432
Celkový průměr	0,610	0,485	0,705	0,528

## 2.4 DAVOVÉ SITUACE

Při navrhování prostoru, především s výskytem velmi vysoké hustoty davu, je důležité správně pracovat se vstupními daty a vytvořit takové podmínky, aby bylo snadné předcházet tragickým davovým událostem. Jak již bylo popsáno, viz Obrázek 2.8, je u hustoty do 5 osob.m<sup>-2</sup> statického a 2,5 osob.m<sup>-2</sup> dynamického davu riziko přetížení nízké. V těchto případech mají osoby prostor pro individuální pohyb a nejsou příliš ovlivněny ostatními účastníky davu. Jakmile se hustota zvýší, dochází k zásadní proměně prostředí, dav začne připomínat kapalinu, riziko roste a jakýkoli dostatečně silný impuls může přerůst v řetězovou reakci s fatálními následky [1]. Např. pokud dav směřující úzkým koridorem narazí na bariéru (turniket, špatně zaparkované auto nebo i křížení s frekventovanou komunikací), rychlost předních účastníků davu klesne k nule a hustota bude narůstat, může dojít k tlačenci nebo postupujícímu davovému kolapsu. K tragickým případům dochází díky fyzikálním principům, ne vlivem davové paniky.

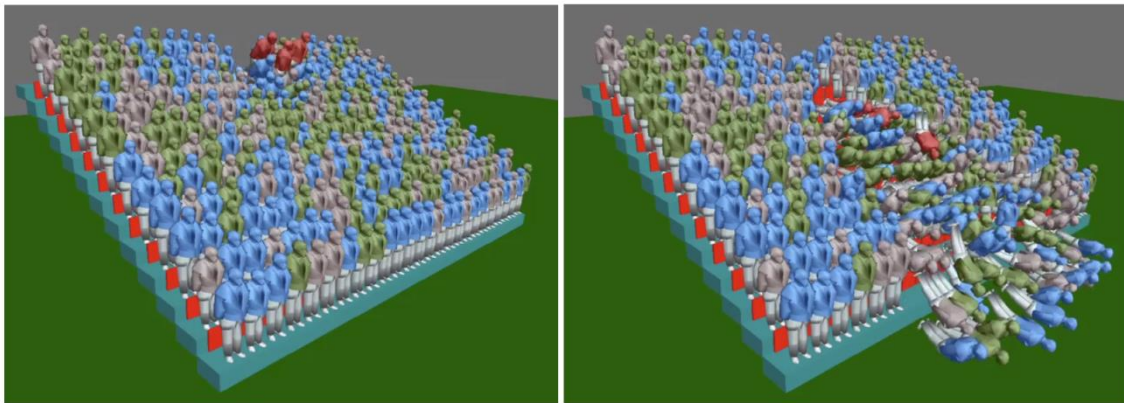
### 2.4.1 Tlačence

Při tlačenci dochází k rozdrčení nebo utlačení účastníků okolním davem a následnému udušení. Tato situace nastává vinou zvýšené hustoty vytvořené okolním prostředím (turniketem, úzkým zužujícím se vstupním hrdlem na stadionu). Proto je nutné zamezit

vysoké hustotě osob správným návrhem prostoru, urbanistickým a architektonickým řešením a správnou informovaností návštěvníků v místě akce [1].

### 2.4.2 Postupující davový kolaps

Jev, při kterém hustota davu přesáhne kritickou hranici. Příčinou je náhlá porucha rovnováhy sil. Pokud každý člověk v davu působí na své okolí stejnou opačně působící silou jako dav na něj, dochází k vyrovnání sil. Pokud náhle dojde k výpadku jednotlivé síly (pádem jednotlivce nebo zábrany), pak budou ostatní osoby tlačeny směrem k místu pádu a vzniku tzv. hustotní vlny, která se nekontrolovatelně šíří davem. V průběhu šíření může docházet ke vzniku dalších ohnisek a tedy i dalšímu pádu osob až do chvíle, než vnitřní tlak poklesne pod kritickou hodnotu [1].



Obrázek 2.9: Vyobrazení progresivního davového kolapsu na tribuně [6].

Na obrázku vlevo je vyobrazený počáteční impuls vyvolaný padajícím člověkem. Pravý obrázek zobrazuje následek prvotního pádu.

### 2.4.3 Davová panika

Jedním z pojmů, na který můžeme narazit, je davová panika. Tento pojem bývá často udáván jako příčina úmrtí, avšak v naprosté většině případů není jeho příčinou. Jedná se spíše o imaginární pojem, při kterém by mělo docházet k neočekávaným neadekvátním reakcím vedoucí k tragickým důsledkům. Ve skutečnosti nelze dohledat v historii jediný významný případ, kdy by došlo k usmrcení vinou této reakce.

## 2.5 ÚROVEŇ KVALITY PĚŠÍ DOPRAVY

Úroveň kvality neboli Level of Service (LOS) je vyjádření situace na dopravní síti pomocí kvalitativního hodnocení se stupnicí A – F. Úrovně s hodnotou A jsou pro

volnou, navzájem se neomezující dopravu účastníků, při které lze dosáhnout rychlostí blížících se maximu. Hodnoceny písmenem F jsou naopak situace s vysokou hustotou a pomalu pohybujícím se davem nebo chvíle, kdy se dav zcela zastaví. V českých normách se zatím úroveň kvality pěší dopravy nijak neaplikuje, v odborné literatuře však existuje celá řada metod např. dle Fruina, v USA *Highway Capacity Manual* nebo Německý *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*.

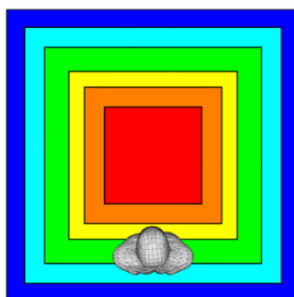
### 2.5.1 Úroveň kvality pěší dopravy dle Fruina

Široce akceptovanou metodou je hodnocení kvality pěší dopravy dle Fruina [10], který rozlišuje jednotlivé úrovně pro chodníky, schodiště a čekající plochy (fronty) viz Tabulka 2.6. K největšímu rozdílu hodnocení mezi jednotlivými kategoriemi dochází při porovnání chodníků a čekajících ploch. U chodníků dosáhneme hodnocení F při hustotě 2,2 osob.m<sup>-2</sup>, zatímco ve frontě až při hodnotě 5,4 osob.m<sup>-2</sup>.

Tabulka 2.6: Hodnocení kvality pěší dopravy dle Fruina [10].

Úroveň kvality pěší dopravy dle Fruina [osob.m <sup>-2</sup> ]						
Chodníky		Schody a rampy		Čekající plochy		Úroveň
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
0	0,308	0	0,538	0	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

V případě, kdy nemáme k dispozici přesné hodnoty hustot, je možné vycházet z popisu hodnotících kategorií dle kvalitativního (slovního) popisu v tabulce 2.7. Pro jednodušší představení prostorových nároků jednotlivých hodnot je k dispozici Obrázek 2.10, který zobrazuje úrovně kvality pěší dopravy vzhledem k půdorysu stojící osoby.

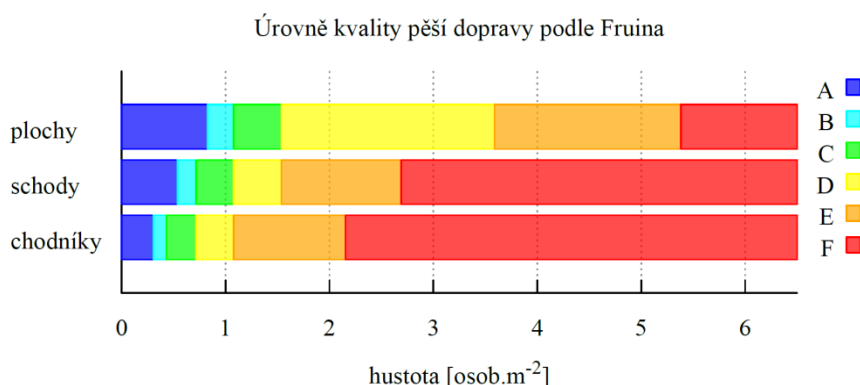


Obrázek 2.10: Půdorysné zobrazení úrovně kvality pěší dopravy dle Fruina [10].

**Tabulka 2.7: Kvalitativní popis kvality pěší dopravy [10].**

Kvalitativní popis kvality pěší dopravy	
Úroveň	Kvalitativní popis
A	Chodec se volně pohybuje všemi směry, nedochází k interakci s ostatními chodci.
B	Chodec se volně pohybuje všemi směry, sporadicky dochází k interakci s ostatními chodci a změně směru.
C	K interakci či snížením rychlosti dochází často, chůze v protisměru je obtížná.
D	Většina chodců je interakcí negativně ovlivněna, dochází ke snížení rychlosti, změně dráhy, proplétání chodců mezi sebou.
E	Všichni chodci přizpůsobují rychlost svému okolí, proud se pohybuje jako celek s občasným zastavením.
F	Kritická hustota pěšího proudu, pohybuje se velmi pomalu jako celek s častými zastaveními, nepřetržitá interakce a přeskupování chodců.

Z tabulky 2.6 vidíme, že rozdíly mezi chodníky a schody jsou poměrně malé oproti čekajícím plochám, kde kromě minimálních a maximálních hodnot nedochází k překryvu kategorií úrovně kvality pěší dopravy. Z analýzy vyplývá, že různé typy komunikací jsou hodnoceny vždy různě, avšak při nízkých hodnotách dochází k menším rozdílům, hlavně mezi chodníky a schody, a krajní hodnoty kategorií mezi sebou splývají. Příkladem může být hustota kolem  $1,1 \text{ osob.m}^{-2}$ , kde splývají kategorie čekajících ploch – B, C, schodů – C, D a chodníků – D, F. Výše popsané tvrzení potvrzuje grafické znázornění viz Obrázek 2.11.



**Obrázek 2.11: Srovnání úrovně kvality pěší dopravy dle Fruina pro různé typy komunikace [10].**

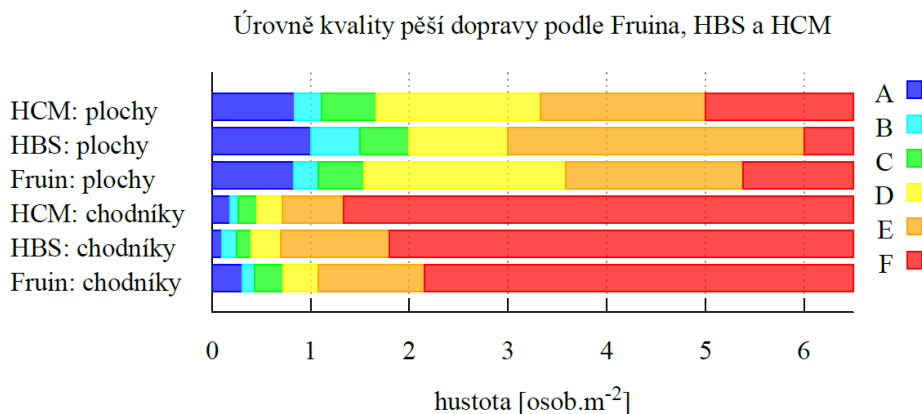
## 2.5.2 Hodnocení úrovně kvality pěší dopravy dle Highway Capacity Manual a Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen

Jedním z alternativních zdrojů stanovení kvality pěší dopravy je *Highway Capacity Manual* používaný v USA. Od Fruina přebírá stejnou škálu hodnocení a liší se pouze v hraničních hodnotách. Dále pak rozděluje prostor pouze na chodníky a čekající plochy a tyto hodnoty jsou podobné s hodnocením dle Fruina.

Tabulka 2.8: Úrovně kvality pěší dopravy dle HBS a HCM [1].

Úroveň kvality pěší dopravy dle HBS a HCM [osob.m <sup>-2</sup> ]								
HBS				HCM				Úroveň
Chodníky		Čekající plochy		Chodníky		Čekající plochy		
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
0	0,100	0	1,000	0	0,179	0	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

V Německu se pro stanovení úrovně kvality pěší dopravy používá *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*, který také obsahuje pouze rozdělení na chodníky a čekající plochy a rozdíly v hodnotách jsou rovněž pouze v přechodových hodnotách mezi jednotlivými úrovněmi. Srovnání všech tří hodnocení je na Obrázku 2.12.



Obrázek 2.12: Srovnání úrovně kvality pěší dopravy dle HCM, HBS a Fruina pro plochy a chodníky [1].

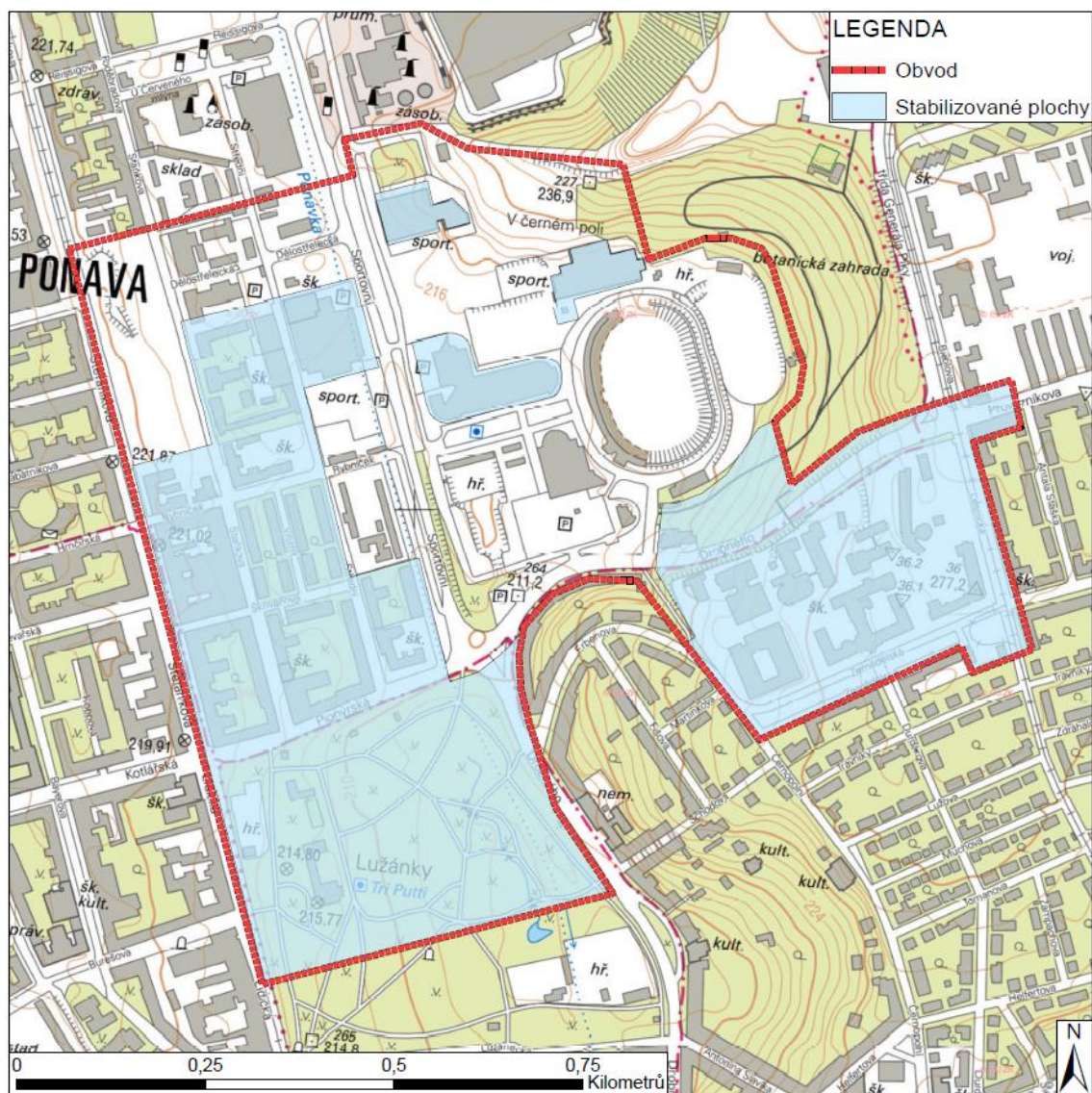
## 3 ŘEŠENÁ LOKALITA

### 3.1 LOKALIZACE

Lokalita řešeného území se nachází v městské části Brno-Královo Pole v katastrálním území Ponava. Rozloha území činí 87 ha, přičemž 46 ha zaplňují stabilizované plochy. Území leží severně od centra statutárního města Brna a svou jižní částí zasahuje i do městské části Brno-střed s katastrálním územím Černá Pole. Hranice je tvořena ve východní části areálem Botanické zahrady a arboreta. Dále pokračuje na hřebeni kopce mezi tenisovou a badmintonovou halou a nákupním centrem Královo Pole, kde navazuje na ulici Dělostřeleckou v místech Městského plaveckého stadionu Lužánky. Západní hranice je tvořena ulicí Štefánikovou od křižení s Šumavskou až po křižovatku Kotlářská × Štefánikova × Pionýrská × Lidická v blízkosti parku Lužánky. Parkem hranice prochází a navazuje na ulici Drobného vedoucí směrem k botanické zahradě.



Obrázek 3.1: Lokalizace řešeného území v rámci města Brna.



Obrázek 3.2: Lokalizace řešeného území s vyznačením obvodu a stabilizovaných ploch.

## 3.2 POPIS ÚZEMÍ – SOUČASNÝ STAV

### 3.2.1 Ulice a plochy

*Plochy v okolí stadionu* jsou tvořeny tak, že je možné vstupovat a vycházet ze stadionu po celém jeho obvodu. Severozápadní část tvoří zároveň přístupovou cestu pro přilehlé tenisové kurty, tenisovou a badmintonovou halu a hřiště malé kopané. Hlavní prostor o velikosti přibližně jednoho hektaru se nachází v západní části před stadionem mezi jeho tribunou, hotelem Boby a stávajícím obchodním centrem Cash and Carry. Zde je hlavní vstup na stadion, který plynule navazuje na přístupový směr mezi hotelem a kluzištěm od ulice Štefánikové. Zde je prostor o šířce 50 m rozdělen střední desetimetrovou rekreační částí se zelení a ostatní plochy jsou v současnosti využívány jako odstavné a parkovací stání pro okolní služby. V jihozápadní části před křižovatkou u lužáneckého



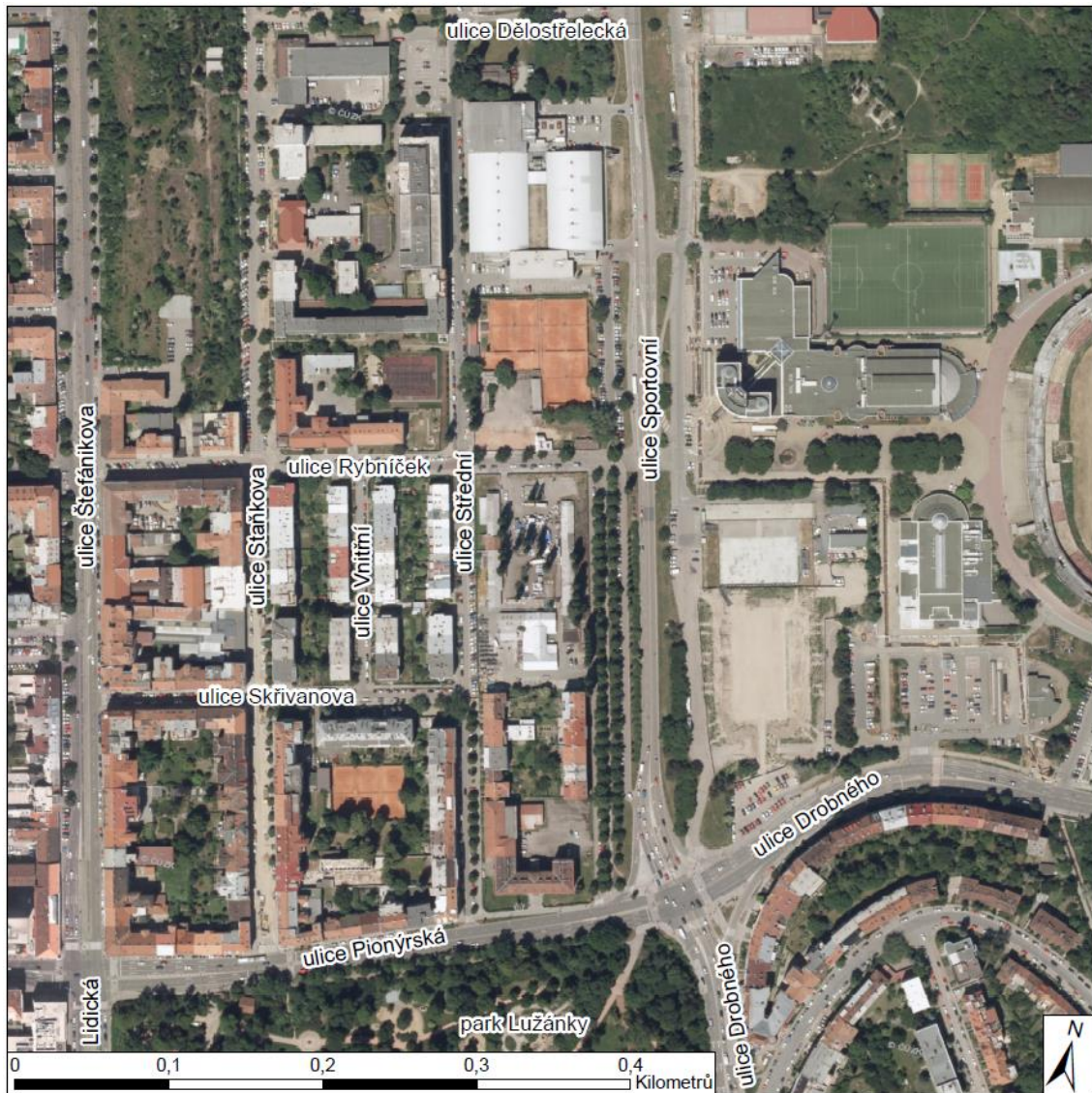
parku se nachází prostor kluziště a nepřístupný prostor bývalého zimního stadionu. Z jižního směru se lze ke stadionu dostat pomocí spojovací komunikace z ulice Drobného. Východní část stadionu obklopuje tréninkové hřiště a areál Botanické zahrady a arboreta. Kvůli tomu není možný prostup územím v tomto směru. Celkově je prostor řešen v jedné výškové úrovni bez oddělení motorové a nemotorové dopravy vzhledem k nízké frekvenci chodců v okolí téměř nevyužívaného stadionu a okolních zařízení.



**Obrázek 3.3:** Mapa ulic a ploch v okolí stadionu.

Ulice *Štefánikova* tvoří západní hranici řešeného území mezi dopravním uzlem na křižovatce *Kotlářská × Štefánikova × Pionýrská × Lidická* až po vyústění z území u křižovatky s ulicí *Šumavská*. *Štefánikovou* prochází i tzv. páteří trasa celoměstského významu [11]. Šířkové uspořádání ulice vypovídá o jejím významu městské třídy s šířkou kolem 30 m mezi budovami a šířkou přidruženého dopravního prostoru chodníků

kolem 5 m, která je po odečtení statické dopravy menší jak 3 m. Hlavní napojení směrem k lokalitě stadionu je přes ulice Pionýrská, Rybníček. Alternativou může být využití ulice Skřivanovy vyústující na ulici Střední, která spojuje Pionýrskou a Rybníček. Mezi jednotlivými napojeními jsou přechody pro chodce bez světelné signalizace s výjimkou jižní frekventované křižovatky na jižním konci ulice.



**Obrázek 3.4:** Mapa ulic v řešeném území.

*Pionýrská* tvoří hranici mezi zastavěnou oblastí a lužáneckým parkem. V západní části navazuje na křižovatku Kotlářská × Štefánikova × Pionýrská × Lidická, ve východní pak na Pionýrská × Sportovní × Drobného. Prostor pro pěší je umístěn pouze v severní části ulice a průměrná šířka chodníků je kolem 3 m. Z tohoto směru navazují ulice Staňkova a Střední. Přes všechna křížení vedou přechody pro chodce se světelným signalizačním zařízením vyjma křížení s ulicí Střední. Jižní část Pionýrské navazuje

přímo na park Lužánky, kterým vedou stezky pro pěší, a který je v letních měsících hojně využíván k rekreaci.

Ulice *Sportovní* tvoří hlavní bariéru pro osoby směřující k tramvajovému spojení v ulici Štefánikova a to zejména mezi křižovatkou Pionýrská × Sportovní × Drobného a Sportovní × Dělostřelecká. Prostor komunikace je rozdělen na část pro motorová vozidla a pro pěší podél účelových komunikací. Prostup osob přes frekventovanou komunikaci je umožněn pouze přes světelně řízené přechody pro chodce v křižovatce Pionýrská × Sportovní × Drobného a u ulice Rybníček. Další možnost bezpečného přejetí komunikace na ulici Sportovní se nachází až na 750 m vzdálené křižovatce Cimburkova × Sportovní × Reissigova.

Mezi zastávkou Hrnčířská na Štefánikově ulici a před prostorem hotelu Boby se nachází ulice *Rybníček* s převážující obytnou funkcí. V její západní části je celková šířka mezi budovami kolem 15 m a šířka chodníků 2,5 m po obou stranách. Ve východní pak kolem metrů 25 mezi budovami, 4 m a 2,5 m v prostoru pro chodce, který se před napojením na ulici Sportovní spojuje a vytváří čekající plochu před přechodem pro chodce. Křížení mezi méně frekventovanými ulicemi je vyvýšené na úroveň ploch pro pěší, u křížení Rybníček × Staňkova a Rybníček × Štefánikova jsou zřízeny přechody pro chodce a na zbylých kříženích místa pro přecházení. Přechod přes přiléhající ulici sportovní je řešen se světelným signalizačním zařízením.

Ulice *Drobného* je nejbližší sběrnou komunikací u stadionu vedoucí od lužáneckého parku až po křížení s třídou Generála Píky × Provazníkova. Její severní část navazuje na prostor v okolí stadionu a díky tomu jsou zde vytvořena pouze dvě úroňová křížení s územím na příjezdu ke stadionu a u parkoviště před obchodním domem Cash and Carry. Přes Drobného je možnost přejít na přechodu pro chodce poblíž výjezdu z parkoviště u obchodního domu nebo na světelně řízených přechodech na křižovatce Pionýrská × Sportovní × Drobného.

Dalšími ulicemi v řešené lokalitě jsou *Staňkova* a *Střední*, které prochází souběžně mezi ulicemi Štefánikova a Sportovní a mají obslužný a obytný charakter. Dále pak ulice *Skřivanova* a *Vnitřní*, které slouží převážně k bydlení a jejich poloha nezasahuje do směrů pohybu osob na městskou hromadnou dopravu a přilehlé parkovací plochy stadionu a jeho okolí.

### 3.2.2 MHD

V řešeném území se nachází celkem 4 zastávky zahrnující tramvajovou, trolejbusovou nebo autobusovou městskou hromadnou dopravu.

*Sportovní* je nejbližší zastávkou ležící na ulici Sportovní před hotelem Boby centrum v zastávkovém zálivu v obou směrech, obsluhována je pouze autobusovou dopravou ve špičkovém intervalu 10 minut a o víkendech po 20 minutách. Je vedena v režimu „Na znamení“ a nočními autobusy není obsluhována.

V blízkosti křížení Kotlářská × Štefánikova × Pionýrská × Lidická se nachází zastávka *Pionýrská* obsluhována převážně tramvajovou a trolejbusovou dopravou. Tramvajové refýže, s šířkou kolem 2 m, jsou umístěny na ulici Štefánikova (ve směru do centra) a Lidická (ve směru Řečkovice) a jsou sdílené i pro noční autobusy. Tramvajové linky 1 a 6 jezdí ve špičce v intervalu 5 minut, mimo hlavní přepravní dobu v desetiminutovém intervalu stejně jako o víkendech. Trolejbusy linek 25 a 26 zastavují v jízdním pruhu na ulici Kotlářská (směr Konečného náměstí) a v zastávkovém zálivu na Pionýrské (směr stadion). Interval u spojení na trase trolejbusu je přibližně 5 – 8 minut a o víkendech 10 minut. Noční spojení jezdí pravidelně v půl hodinových nebo hodinových intervalech.

Na ulici Štefánikova je umístěna zastávka *Hrnčířská* obsluhovaná tramvajovými linkami a nočními autobusy. Opět se jedná o umístění refýží, a to vždy ve směru před křižovatkou s ulicí Rybníček. Šířky nástupišť jsou v rozmezí 2 m.

Zastávka *Zimní stadion* se nachází v prostoru křižovatký Pionýrská × Sportovní × Drobného a v její blízkosti. Autobusové zastávky jsou umístěny v jízdních pruzích ulice Drobného v části blíže parku. Trolejbusy zastavují v jízdním pruhu (směr Stará osada) a v zastávkovém zálivu (směr Konečného náměstí) ve východní části ulice Drobného. Zastávka je obsluhována pouze denními linkami 25, 26 a 67.



Obrázek 3.5: Mapa zastávek MHD v řešeném území.

### 3.2.3 Parkovací plochy

Současný stav neodpovídá nynějším požadavkům na parkovací stání pro jakýkoli rozvoj v lokalitě vlivem výstavby stadionu v polovině 20. století.

Nejbližší oficiální parkovací plochou je *parkoviště Stadión* před obchodním domem Cash and Carry s kapacitou přibližně 70 míst. Přístup od stadionu je možný přes spojovací cestu, která vede k výjezdu z *podzemních garáží* pod parkovištěm. Garáže jsou v současnosti mimo provoz, okolní parkovací plochy se stejnou kapacitou jsou volně přístupné.

*Podzemní garáže* se nachází pod parkovištěm Stadión. Vjezd a výjezd z garáží je umístěn ve východní části parkoviště a navazuje na stejnou příjezdovou cestu jako

parkovací plochy nad garážemi. Vstup je umožněn před obchodním domem a u vjezdu k parkovišti. V současnosti jsou garáže mimo provoz.

Další oficiální parkovací plochou je *parkoviště Drobného* u křižovatky Pionýrská × Sportovní × Drobného a vjezd je řešen z ulice Drobného před křižovatkou nebo propojující cestou od parkoviště Stadión. Kapacita je přibližně 60 míst.



**Obrázek 3.6:** Mapa významných parkovacích ploch v řešeném území.

*Parkoviště Boby centrum* se nachází v těsné blízkosti stejnojmenného hotelu a navazuje i na podzemní garáže pod ním. Většina kapacity je určena pouze pro návštěvníky hotelového komplexu.

Možnost parkování bez nutnosti přecházení frekventovaných komunikací je dále mezi stadionem a ulicí Sportovní a na přilehlých plochách.

Ve zbytku území je parkování řešeno *v uličním prostoru* nebo na soukromých pozemcích. Výjimku tvoří pouze prostor v blízkosti Haly dětí a mládeže mezi ulicemi Střední a Sportovní, kde je parkovací plocha pro přibližně 150 vozidel.

### **3.2.4 Významné objekty v území**

Jedním z významných objektů v řešené lokalitě je *Městský plavecký stadion Lužánky* nacházející se v severní části území. Součástí plaveckého bazénu je i fitness centrum nacházející se ve východní části objektu. Celková návštěvnost činí kolem 550 osob.

Hotelový komplex *Boby centrum* nacházející se v těsné blízkosti fotbalového stadionu a kluziště neslouží pouze pro funkci ubytovací, ale nabízí i prostory pro pořádání kulturních akcí (plesy, koncerty, ...), konferencí s kapacitou až 5000 osob.

*Sportcentrum Lužánky* je Hokejovou halou dětí a mládeže a sportovní halou Sportpoint nacházející se na ulici Střední.

## **3.3 POPIS ÚZEMÍ – NAVRHOVANÝ STAV**

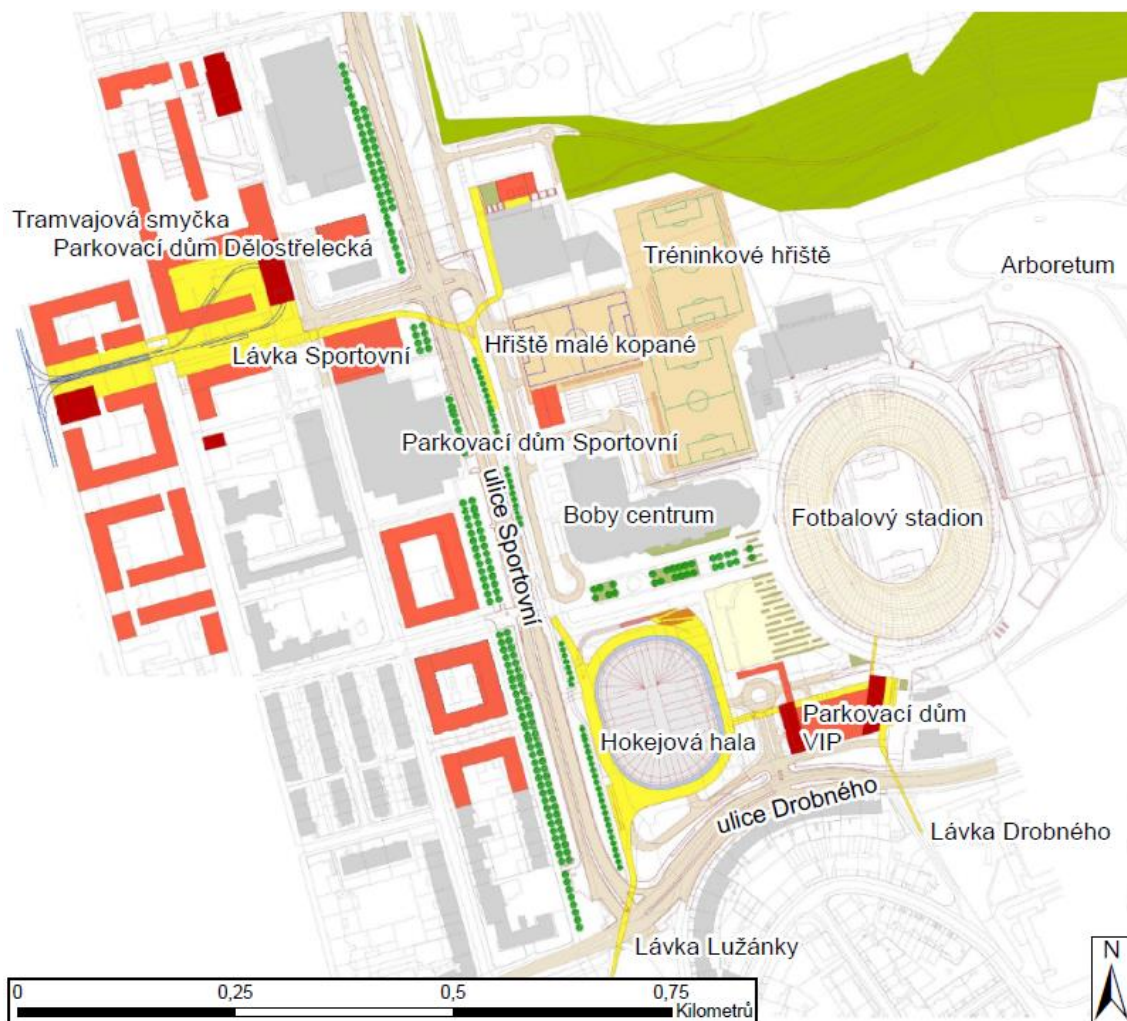
### **3.3.1 Ulice a plochy**

*Plochy v těsné blízkosti stadionu* navazují na původní stav a jsou tvořeny tak, aby bylo možné vstupovat a vycházet ze stadionu po celém jeho obvodu. V severozápadní části prostoru před fotbalovým stadionem je vyústění přístupové cesty k parkovacím plochám mezi plaveckým bazénem a hotelem Bobby. Hlavní prostor zůstává v západní části před stadionem mezi jeho budovou, hotelem a nově vybudovanou víceúčelovou halou. Zde je hlavní vstup na stadion, který plynule navazuje na přístupový směr od ulice Štefánikové a novou víceúčelovou halu v místě bývalého zimního stadionu, s přístupem na pěší lávku do parku Lužánky. Dále je před prostor napojen na novou lávku k tramvajové smyčce u ulice Dělostřelecká a městskému plaveckému stadionu. Jižní prostor směřuje k ulici Drobného a na lávku přes ni k ulici Erbenova. V oblasti obchodního domu se nyní rozšiřuje prostor před stadionem.

Ulice *Štefánikova* zůstane ve stávajícím stavu od křižovatky Kotlářská × Štefánikova × Pionýrská × Lidická až po křižovatku Šumavská × Štefánikova. Zde je nově vyústění ulice Dělostřelecká s tramvajovým závlekem do nové smyčky mezi ulicemi Staňkova a Střední.

Výraznou změnou projde křižovatka Pionýrská × Sportovní × Drobného, přes kterou povede lávka na vyvýšený prostor víceúčelové haly s následným propojením do blízkosti stadionu. Druhý vstup na lávku povede z prostoru lužáneckého parku.

Ulice *Sportovní* projde změnami v hlavním dopravním prostoru, kde se rozšíří z třípruhové na čtyř pruhovou sběrnou komunikaci. Zároveň bude přesunut zastávkový záliv až za přechod pro chodce ve směru do centra. Další změnou je přesunutí napojení účelových komunikací vedoucích do prostoru před hotelovým komplexem *Boby centrum* severně na křižovatku *Sportovní* × *Dělostřelecká*. Nově vznikne nad touto křižovatkou lávka pro pěší spojující předhotelový prostor napojený na oblast u stadionu s městským plaveckým stadionem a nově vzniklou tramvajovou smyčkou v ulici *Dělostřelecká*.



Obrázek 3.7: Mapa navrhovaného stavu území [12].



Na ulici Rybníček dojde pouze k úpravám prostoru v oblasti před přechodem na ulici Sportovní. Přibližně o 50 m jižně bude přesunuto napojení na místní komunikaci s parkovacími místy, díky čemuž se rozšíří prostor před přechodem.

Nové propojení ulice *Dělostřelecké* vzniká mezi Štefánikovou a Staňkovou a pokračuje až před křižovatku na ulici Sportovní, přes kterou jsou pěší vedeni po lávce nad křížením. Mezi ulicemi Střední a Staňkova je vytvořena tramvajová smyčka s pěším průchozím prostorem plynule navazujícím na lávku směrem ke stadionu. Díky tomu se na Dělostřelecké nenachází úrovněová křížení pěší a motorové dopravy.

Ulice *Drobného* je nově přemostěna lávkou pro pěší do ulice Erbenova. V místech bývalého napojení parkovacích ploch Stadión je vybudován kapacitnější vjezd směrem do zázemí fotbalového stadionu a víceúčelové haly.

### **3.3.2 MHD**

Zastávka *Sportovní* je nově obsluhována i trolejbusovou linkou č. 36. Dochází k přemístění zastávkového zálivu ve směru do centra za přechod pro chodce.

Další zastávka je v nově vybudované smyčce při ulici Dělostřelecká. Její výhodou je umístění nad terénem a tím vytvořené mimoúrovňové křížení s motorovou dopravou. Prostor smyčky přímo navazuje na lávku přes ulici Sportovní.

Zastávka *Zimní stadion* je rovněž doplněna o trolejbusové linky č. 36 v zastávkových zálivech společně s autobusy č. 67.

### **3.3.3 Parkovací plochy**

Plochy pro parkování jsou rozděleny do více míst ve formě parkovacích domů, odstavných parkovišť a přilehlých ulic.

S nově vybudovaným stadionem a víceúčelovou halou se ruší stávající plochy pro parkování Stadión a Drobného. V místě před bývalým obchodním domem se nachází parkovací dům pro VIP návštěvníky s kapacitou 200 parkovacích míst.

Dalším nově vzniklým parkovacím dům se nachází při ulici Sportovní v blízkosti plaveckého stadionu a pod hřištěm fotbalové akademie s celkovou kapacitou 220 míst.

Hlavním místem pro parkování bude parkoviště pod nově vybudovanou tramvajovou smyčkou v ulici Dělostřelecká o celkové kapacitě 650 parkovacích míst.

Ostatní parkovací plochy pro veřejnost jsou řešeny v uličním prostoru a na stávajících parkovacích a odstavných plochách.

Parkování s kapacitou 495 míst umístěno pod novým fotbalovým stadionem je určeno pouze pro provoz stadionu a vjezd je řešen z ulice Sportovní i Drobného.

## 4 MODELOVÁNÍ POHYBU OSOB

### 4.1 ROZDĚLENÍ MODELŮ

*An excellent model in the hands of a poor engineer will not produce reliable simulations, and a good engineer with a poor model will also produce poor results.*

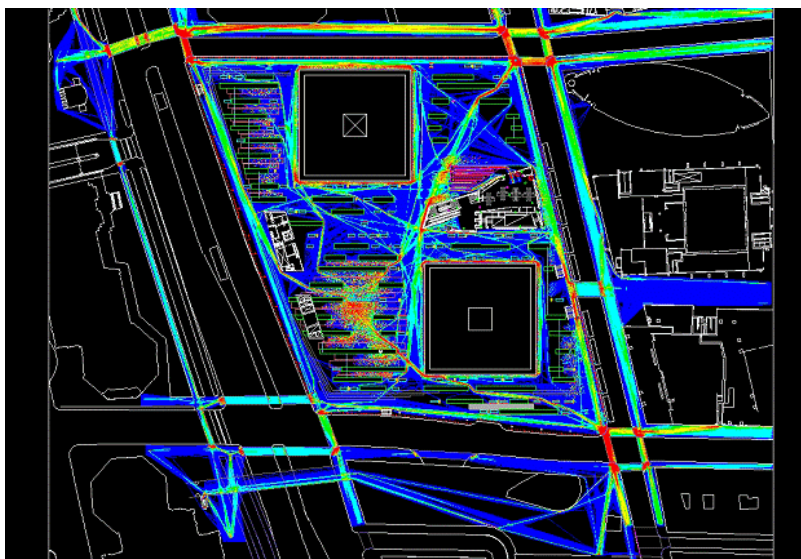
Vynikající model v rukou špatného inženýra nebude produkovat spolehlivé simulace a ani schopný inženýr se špatným modelem nedosáhne dobrých výsledků.

*Prof. Dr. G. Keith Still*

Modely představují zjednodušenou reprezentaci reálného děje, objektu nebo jeho části [1]. Modely pohybu pěší dopravy vytváříme a používáme, abychom mohli podrobně prozkoumat situace, které nechceme nebo nemůžeme zkoumat reálně z důvodů finančních, nedostatku prostředků, jejich náročnosti nebo bezpečnosti. Výsledkem napodobení reálného děje pomocí modelu je simulace. Příkladem může být modelování pohybu osob v okolí sportovního stadionu po skončení zápasu s využitím modelu pro analýzu běžných rizik. Tato situace je velmi složitá na posouzení. Je potřeba použít více samostatných modelů pro každý druh procesu. Celkový model pak zahrnuje vzájemné reakce osob i reakce osob na okolí. Možnost vytvoření zjednodušeného modelu, na základě výsledků přistoupení k realizaci nebo změně projektu, se jeví jako rozumná varianta.

#### 4.1.1 Makroskopické modely

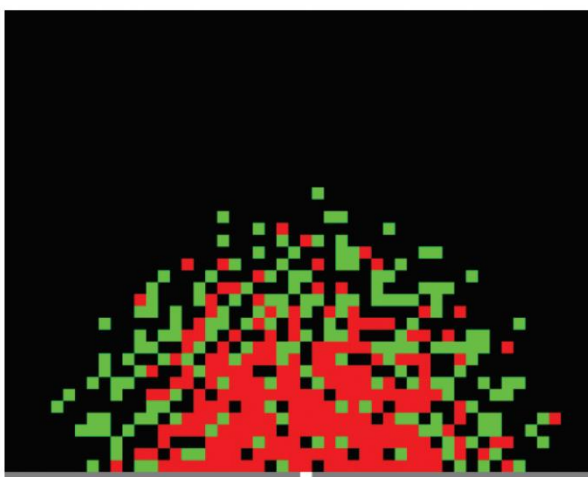
Pro modelování pohybu pěších jako celku se využívá makroskopické modelování pěších proudů, které je použito ve většině starších prací [13] a dnes je v praxi používáno jen výjimečně [1]. Tyto modely pracují s osobami bez rozlišení jednotlivých chodců, analogicky jako s kapalinou nebo plynem. Popis např. střední rychlosti pohybu osob v daném místě, jejich hustoty nebo intenzity je vztažen na celou skupinu. Nevýhodou těchto druhů modelů je jejich obtížné implementování do simulačních nástrojů i samotné matematické řešení [1]. Nevhodné je i jejich využití pro simulace menšího rozsahu.



**Obrázek 4.1:** Makroskopický model nahlíží na pohyb chodců jako na celek. Na obrázku je vizualizace modelu v okolí bývalého Světového obchodního centra, barevně jsou odlišeny hustoty osob [1].

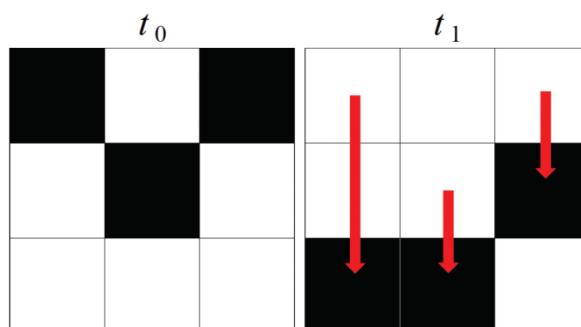
#### 4.1.2 Celulární automaty

Tato technologie modelů pracuje na základě rozdělení prostoru na diskrétní, identické buňky a rozdělení času do identicky vzdálených kroků [1]. Každá buňka v prostoru je prázdná nebo obsazená osobou a buňky mají velikost právě jedné osoby dle průměrných reálných nároků. Pokud by buňky byly menší, pak by jich každá osoba zabírala více, v opačném případě by nebylo možné dosáhnout reálných hustot osob. Díky nutné diskretizaci se snižuje přesnost, ale rychlost výpočtu naopak roste.



**Obrázek 4.2:** Model na základě celulárních automatů pracuje s diskrétním rozdělením prostoru a času. Na obrázku je příklad evakuace z místnosti, barevně je oddělena lokální hustota [1].

U technologie celulárních automatů je nutné nastavit základní přechodová pravidla pro změny jednotlivých buněk. Pravidla závisí na vlastnostech a stavu okolních buněk.



**Obrázek 4.3:** Příklad simulace pohybu osob na principu celulárních automatů ve dvou po sobě následujících krocích [1].

Jednoduchým příkladem je vyobrazení simulačního kroku na obrázku 4.3. V začínajícím čase  $t_0$  jsou 3 příslušné buňky černé (plné buňky) a zbytek buněk bílý (prázdné buňky). V následujícím kroku času  $t_1$  dojde ke změně ve třech ostatních buňkách původně bílých na černou a původní buňky změni barvu na bílou [1]. Znázornění hustot, rychlostí atd. je možné s využitím barevného rozlišení jednotlivých buněk.

### 4.1.3 Mikroskopické modely – agentní technologie

Mikroskopické modely nepracují s celým dopravním proudem, ale modelují pohyb jednotlivých osob tzv. agentů s přesně definovanými vlastnostmi. Jejich pohyb je určen vzájemnými vlastnostmi chování mezi jednotlivými osobami (vyhýbání se mezi sebou) a mezi osobami a prostředím (použití více druhů tras, nalezení nejbližšího východu). Tento druh modelů se začal používat v 90. letech minulého století [13] a v současnosti patří modelování na mikroskopické úrovni k nejmodernější a nejvíce využívané technologii s nejbližším přiblížením modelu k realitě. Výhodou je snadná vizualizace s věrným napodobením chování pohybu osob a využitím nejen při navrhování komunikací pro pěší, veřejných prostranství, hromadných akcí a evakuaci osob ale i pro analýzu rizik.

Obecně je modelování chování chodců v reálném prostředí složitým problémem. Například lidé pohybující se v davu nebo ve skupinách vytváří sociální interakce, které mohou výrazně ovlivnit chování davu. Mikroskopické modely považují chodce za individuální agenty a ve většině případů zanedbávají skupinovou dynamiku [7].

## 4.2 DRUHY SW

V současnosti existuje více jak šedesát nástrojů pro modelování pohybu osob, některé jsou ovšem zastaralé a nevyvinené [1]. Většinou se jedná o komerční produkty a lze je rozdělit do dvou kategorií. První skupina programů je zaměřena na modelování pohybu osob v nouzových situacích jako je např. požár, evakuace. Druhá skupina se zaměřuje na simulace nenouzové, tedy běžného pohybu osob v prostředí [13]. Jednotlivé programy odráží nejen účel, pro který byly vytvořeny, ale např. i zaměření vývojáře (inženýr, psycholog, architekt) [1]. Zde je přehled simulačních nástrojů.

### 4.2.1 Exodus

Je skupinou několika dílčích nástrojů vyvíjených skupinou Fire Safety Engineering Group pro analýzu evakuačních problémů rozdělených pro evakuaci z letadel, velkých lodí, vlakových souprav atd. Pro modelování pohybu osob a jejich evakuaci je určena základní aplikace buildingEXODUS vhodná pro všechny typy pozemních staveb a otevřených prostranství.

Technologie modelu pracuje s šesti základními submodely. Vymezení prostoru pro pohyb je tvořeno modelem *Geometrie* a lze konstruovat přímo v programu nebo je možnost importu ve formátu DXF. Jedná se o agentní technologii. Dalším submodelem je model *pohybu* jednotlivých osob, model *chování* definující chování jednotlivce v aktuální situaci na základě osobních vlastností a nastavených preferencí s přenesením do předchozího subsystému modelu pohybu. Popis *osoby* jednotlivce je definován s pevně stanovenými vlastnostmi a proměnnými hodnotami s možností průběžných změn. Posledními dvěma submodely jsou model *rizika* kontrolující fyzikální prostředí a *toxicity* stanovující účinky toxických látek produkovaných modelem rizik na jednotlivce.

Uživatelské prostředí programu Exodus pracuje ve čtyřech základních režimech. *Geometrie* umožňující konstrukci modelu, *populace* sloužící pro generování osob s nastavením parametrů, *scénář* definující konkrétní události a kritické prvky modelu a režim *simulace*. Ten definuje předchozí kroky v simulaci modelu a výstup znázorňuje analyticky v grafech nebo v 3D simulaci a ukládá je do datových souborů.

Exodus se převážně využívá pro hodnocení evakuačních parametrů, zkoumání aktivity pohybu osob a k ověření konstrukcí dle stavebních předpisů [1].

### 4.2.2 Pathfinder

Program vyvíjený společností Thunder Engineering, Inc., založený na agentní technologii a využitelný pro simulaci pohybu osob pro nouzové i nenouzové situace. Jeho hlavními moduly jsou grafické rozhraní pro tvorbu modelu, nástroj pro simulace a pro 3D vizualizaci.

Technologie modelu pracuje s režimem SFPE, koncept založený na modelu proudění připomínající makroskopický model, a režim inverzního řízení, ve kterém má každá osoba svoji trasu k cíli, ale dokáže ji v průběhu přehodnotit vlivem následných situací. Tento režim je obecně více pokročilý a komplexnější. Geometrie modelu je založena, podobně jako metoda konečných prvků CFD, na navigační mřížce (meshi) rozdělující prostor pomocí trojúhelníkové sítě. Pohyb modelovaných osob je možný pouze v místech, kde je tato síť definována. Geometrie lze importovat ve formátu DXF z jiných programů.

Pathfinder obsahuje grafické uživatelské rozhraní pro modelování a simulaci. Simulace lze vizualizovat ve standardním zobrazení nebo lze využít pokročilého 3D režimu. Dalšími nástroji je výstup v podobě grafů, textové rekapitulace výsledků nebo možnost exportu do formátu CSV [1].

### 4.2.3 Viswalk

Viswalk je modulem nástroje VISSIM od firmy PTV AG s použitým modelem sociálních sil, který je především určen pro obecní dopravní plánování. Viswalk je primárně určen k modelování pohybu osob na velkých prostranstvích, dopravních uzlech nebo letištích. V omezené míře lze použít u plánování hromadných událostí nebo pohybu v interiérech.

Technologie s využitím modelu sociálních sil založené na Newtonovské mechanice, kde mají síly ovlivňující pohyby pěších původ v ostatních osobách a navzájem působí proti sobě. Další působící síla je vytvořena cíli, které osoby přitahuje a výsledek je součtem všech působících sil. Geometrie lze importovat z formátu DXF.

Prostředí je tvořeno plochami, rampami, překážkami, pojízdnými schody, výtahy a nastavením jejich informací ovlivňující chování osob. To je jedním z nastavitelných parametrů osob, mezi které dále patří dynamické vlastnosti nebo rozměry. Osoby je

možné zadat individuálně nebo pomocí matic. Výběr trasy je možný z několika možností a v průběhu se mění dle aktuální situace.

Výstup z programu je ve formě cestovních časů, zobrazení úrovně kvality pěší dopravy, hodnocení pěších front nebo ve formě vizualizace ve 2D nebo 3D [1].

#### 4.2.4 SimWalk

Výrobce Savannah Simulations AG používá pro program SimWalk stejně jako předchozí program model sociálních sil a v mnoha parametrech jsou podobné. Vlastnosti chodců jsou definovány pomocí profilů a zahrnují mimo obecné parametry jako jsou pohlaví, šířka v ramenech a rychlosti pohybu také možnost definovat omezení pohybu v podobě kufří, tašky, hole, invalidního vozíku či opilosti. Nejčastější profily jsou předdefinovány pro každodenní cestující, výjimečné cestující, nakupující nebo radikální sportovní fanoušky a tyto profily lze také následně libovolně upravovat [13].

#### 4.2.5 Další nástroje

V metodice [1] je uvedena tabulka doposud aktivních nástrojů pro modelování pohybu osob. Ostatní modelovací nástroje nejsou předmětem dalšího vývoje nebo zanikly.

**Tabulka 4.1: Další nástroje pro modelování pohybu osob [1].**

Další nástroje pro modelování pohybu osob		
Název	Výrobce	Stručný popis
AENEAS	Germanischer Lloyd SE, Německo	Evakuace plavidel
ASERI	IST GmbH, Německo	Obecný nástroj
FDS+Evac	VTT, Finsko, NIST, USA	Rozšíření nástroje Pyrosim
Legion	Legion Ltd., Velká Británie	Obecný nástroj
Massive Insight	Massive Software, Velká Británie	Experimentální produkt
Myriad II	Crowd Dynamics Int., Velká Británie	Obecný nástroj
PedGo	TraffGo HT GmbH, Německo	Varianta nástroje AENEAS
PEDSIM	Christian Gloor, Německo	Obecný nástroj, open-source
SimWalk	Savannah Simulations AG, Švýcarsko	Obecný nástroj
SMART Move	Move BuroHappold Eng., Velká Británie	Plug-in pro Rhino 3D
STEPS	MacDonald, Velká Británie	Obecný nástroj
TSEA	SFES, Velká Británie	Obecný nástroj, zdarma



## **4.3 VERIFIKACE, KALIBRACE, VALIDACE**

Proces verifikace, kalibrace a validace je důležitou součástí při modelování pohybu osob a jeho výsledky závisí na schopnostech používaného nástroje a znalostech uživatele.

Proces verifikace a validace není v současné době sjednocen napříč nástroji a volba způsobu jak prokázat validitu zůstává na autorech jednotlivých modelů. Existuje však několik směrnic na toto téma standardizujících postupy aplikace validace modelů pohybu osob. Mezi ně patří britská směrnice IMO Guidelines 1238 (2007), z ní vycházející německý standard RIMEA (2009) nebo americký NIST Technical Note 1822 (2013). V současné době existuje snaha o jejich sjednocení v rámci nezávislé organizace ISO a vzniku obecně závazné normy.

### **4.3.1 Verifikace**

Je důležitý parametr pro výběr správného modelu. Zjednodušeným popisem verifikace je ověření souladu možností modelu s uživatelským očekáváním. Při tomto procesu zjišťujeme, zda je chování modelu při jednotlivých detailech i v celkovém pohledu v souladu s našimi požadavky. Příkladem může být případ, kdy výstupem u modelování jsou data, která není model schopen generovat a díky tomu nástroj neprojde verifikací. V případě schopnosti modelu generovat námi požadovaná data model verifikací projde, avšak důležité jsou i klíčové požadavky uživatele, které je nutné splnit.

### **4.3.2 Kalibrace**

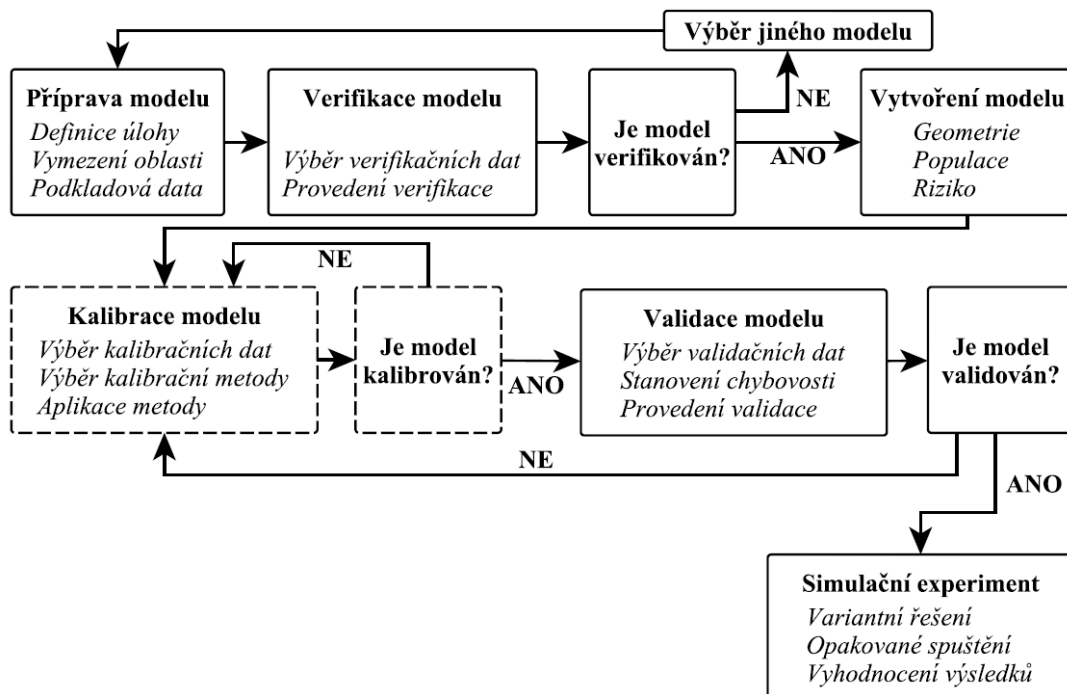
Kalibrace je následujícím procesem po správné verifikaci, který nastavuje jednotlivé parametry modelu v souladu s reálnými daty. Tímto nezbytným procesem se snažíme modifikovat data tak, aby výsledek chování modelu co nejvíce napodobil chování reálného děje.

### **4.3.3 Validace**

Posledním krokem je validace modelu. Validace je zásadním krokem při přijímání jakéhokoli modelu a spočívá v testování výsledků z odlišných dat než při kalibraci a jejich ověření pomocí experimentálních dat. Odlišnost mezi daty pro kalibraci a validaci je nutná kvůli správnému ověření fungování modelu. Snadno totiž může dojít k neúmyslnému poškození modelu příliš pečlivou úpravou při procesu kalibrace.

Vhodným způsobem pro provedení procesu validace je využití jiného pracovníka než autora kalibrace.

Pro správné nastavení modelu, jeho kalibraci a validaci, v daném místě jsou nezbytné údaje z pozorování v terénu. Získání oprávnění pro shromažďování dat v prostředcích hromadné dopravy, na veřejných místech, zejména dopravních uzlech a u vstupů na hromadné akce je obtížné z důvodu bezpečnosti a soukromí. U získávání dat pomocí kamerových systémů je proces komplikovanější při zhoršených světelných podmínkách. Další možností může být zaměřování mobilních přístrojů vysílajících signál.



Obrázek 4.4: Schéma postupu při modelování pohybu osob za použití modelovacích nástrojů [1].

## **5 MODELOVÁNÍ POHYBU OSOB V OKOLÍ FOTBALOVÉHO STADIONU**

Cílem této části bylo vytvoření dvou variant modelu pohybu osob s různým nastavením dle návštěvností a interakce se stávajícími chodci a jejich porovnání mezi sebou. Důležitým krokem byla správná kalibrace modelu. Následně tato kapitola zahrnuje vyhodnocení a posouzení výsledků docházkových dob, úrovně kvality pěší dopravy a zjištění problémů v území souvisejících s pohybem návštěvníků do cílových směrů.

### **5.1 POUŽITÝ NÁSTROJ**

Pro vytvoření modelu jsem zvolil nástroj Pathfinder ve verzi 2018.1.1219 x64 od společnosti Thunderhead Engineering Consultants, Inc. Tento nástroj je určený pro simulaci evakuace i volného pohybu osob a pro tento účel je verifikován a validován dokumentací [14]. Podrobněji je nástroj popsán v kapitole 4.2.2.

Kromě datových výstupů Pathfinder poskytuje i několik druhů zobrazení „obrysů návštěvníků“. Těmi jsou například hustota, úroveň kvality pěší dopravy v rámci chodníků, schodišť a čekajících ploch, rychlosti pohybu osob, čas zbývající k cíli nebo třeba využitelnost místa v daný okamžik nebo za celkový čas.

### **5.2 VSTUPNÍ DATA**

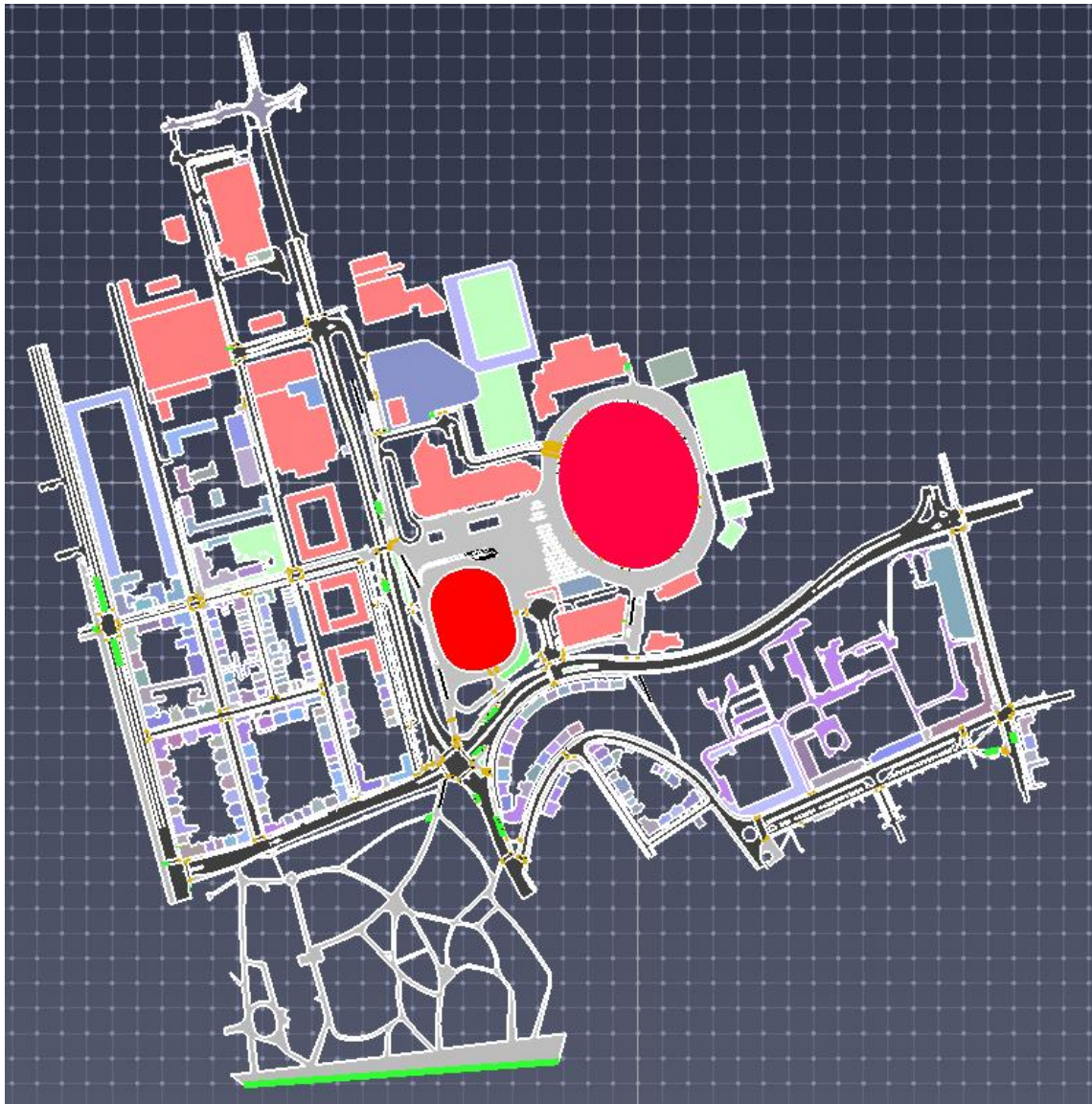
Základními vstupními údaji jsou geometrie a populace. Zatímco údaje o geometrii jsou díky moderním technologiím vizualizace snadno dostupné a relativně přesné, u údajů o osobách musíme často využívat statistik, odborných odhadů a vycházet z vlastních zkušeností a průzkumů.

#### **5.2.1 Geometrie modelu**

Geometrie modelu popisuje prostorové usprádaní řešeného území. Hlavním prvkem geometrie jsou plochy pro pohyb pěších zahrnující chodníky, veřejná prostranství v okolí stadionu a překážky na nich, rampy, lávky, schodiště, stěny, vstupní dveře a východy. Vedlejšími prvky geometrie jsou půdorysy budov a objektů, silnic, ostrůvků atd. Tato část geometrie není potřeba pro výpočet pohybu osob a slouží jako doplněk pro lepší orientování se v modelu. Podkladem pro geometrie bývá nejčastěji výkres

vložený do modelovacího prostředí ve formátu DXF, podle kterého se vytvoří jednotlivé prvky geometrie modelu pohybu osob a prvky vedlejší.

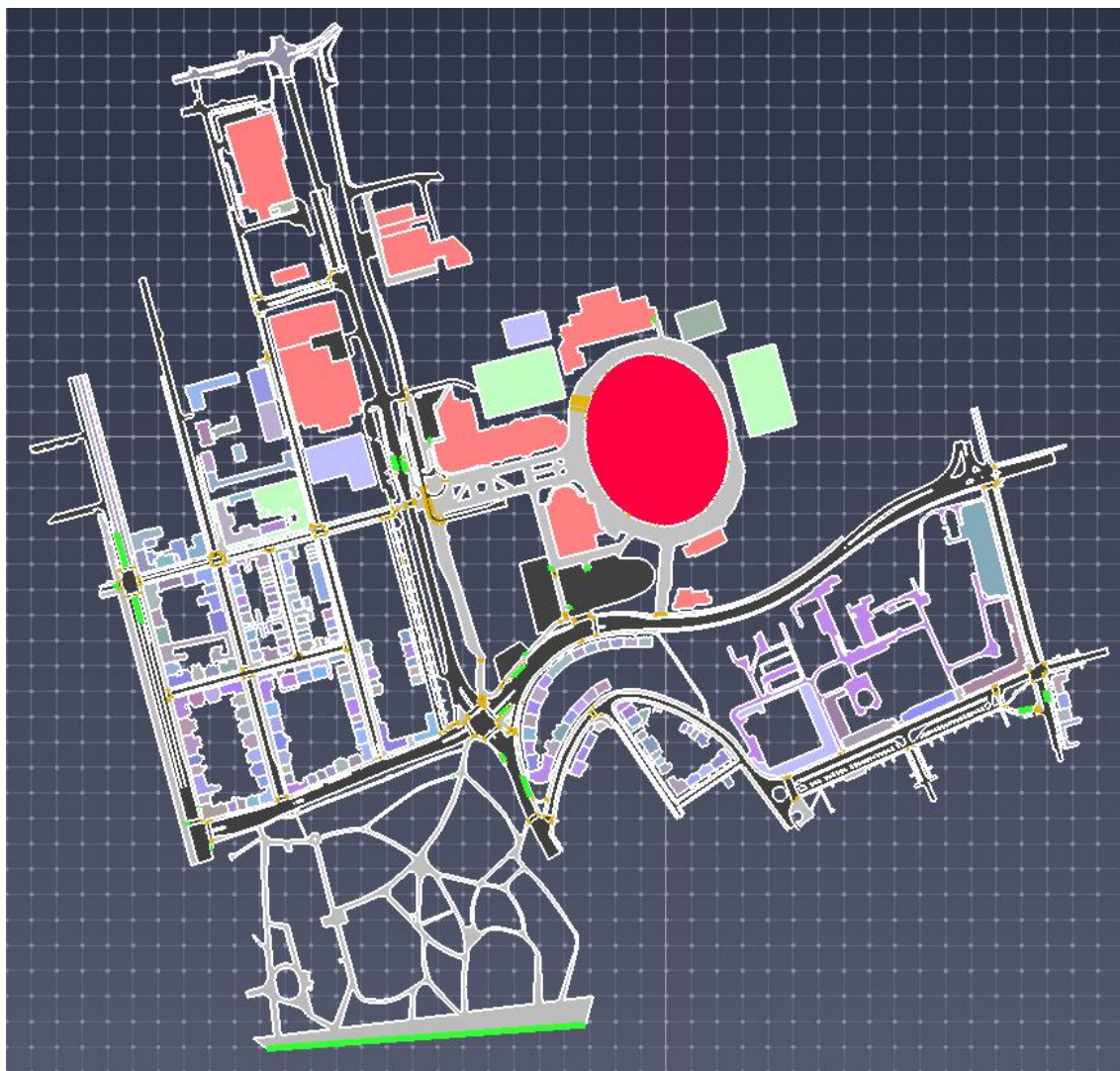
V mém případě byla použita již hotová geometrie modelu pohybu osob pro řešenou lokalitu v navrhovaném stavu, která vycházela z půdorysných výkresů navrhovaného stavu a která odpovídá popisu v předcházející kapitole 3.3.



**Obrázek 5.1: Geometrie navrhovaného stavu.**

Dále bylo třeba vytvořit geometrii modelu pohybu osob pro tzv. nulovou variantu, která představuje současný stav řešeného území za předpokladu vybudování nové budovy stadionu. Tato geometrie je základem pro možnost porovnání s navrhovanou variantou území. Jako podklad pro tuto geometrii jsem použil katastrální mapu stávajícího stavu a vlastní průzkum území.

V geometrii stávajícího stavu se počítá s generováním osob z objektu nového fotbalového stadionu a využitím ploch v jeho nejbližším okolí pro pohyb osob v plném rozsahu. Východy z území jsou rozmístěny v oblasti parkovacích ploch a zastávek MHD v řešené lokalitě a jsou dále podrobněji popsány.



**Obrázek 5.2: Geometrie současného stavu.**

Část geometrie tvoří časově otevírané dveře napodobující intervaly světelných signalizačních zařízení (SSZ) na přechodech pro chodce v místě křižovatky Drobného × Pionýrská × Sportovní, přes ulici Sportovní a Drobného.

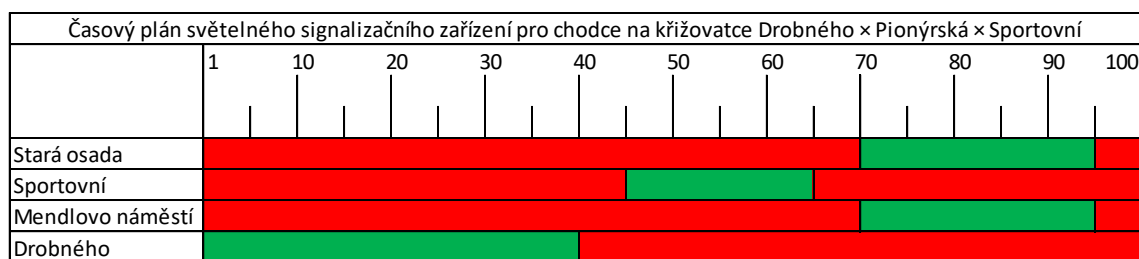
Nastavení intervalů přechodů pro nulovou variantu je dle aktuálního stavu. U přechodu na ulici Sportovní se časový interval liší v délce červeného signálu. Hodnoty naměřené na tomto semaforu pro červenou jsou 30 a 50 s. V modelu jsem uvažoval pouze

s nastavením na 30 s vzhledem k velkému množství osob v okolí přechodu přes tuto komunikaci.

**Tabulka 5.1: Stávající intervaly světelných signalizačních zařízení pro chodce.**

Intervaly světelně signalizačních zařízení pro chodce, stávající stav					
Signál	Sportovní	Křižovatka Drobného × Pionýrská × Sportovní			
		Mendlovo náměstí	Stará osada	Sportovní	Drobného
Zelená	10	25	25	20	40
Červená	30	75	75	80	60

Nastavení posloupnosti signálů na křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní je zobrazeno v časovém plánu viz Obrázek 5.3.



**Obrázek 5.3: Časový plán SSZ pro chodce na křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní.**

Navrhovaný stav jsem převzal společně s modelem navrhovaného stavu, intervaly světelného signalizačního zařízení pro chodce jsou popsány v tabulce 5.2.

**Tabulka 5.2: Navrhované intervaly světelných signalizačních zařízení pro chodce.**

Intervaly světelných signalizačních zařízení pro chodce, navrhovaný stav							
Signál	Sportovní	Křižovatka Drobného × Pionýrská × Sportovní				Drobného	
		Mendlovo náměstí	Stará osada	Sportovní	Drobného	Křižovatka	Stadion
Zelená	25	25	55	25	25	25	20
Červená	75	75	45	75	75	75	20

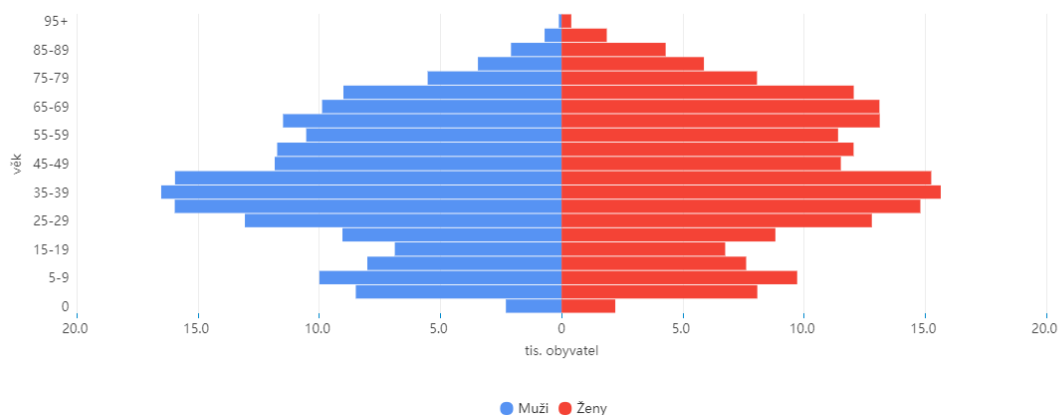
Oproti nulové variantě je zde uvažováno s vytvořením semaforů i přes ulici Drobného v blízkosti VIP parkovacího domu a na křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní u přístupu k zastávce trolejbusů 25 a 26 směr Stará osada.

## 5.2.2 Populace

Důležitými údaji pro modelování pohybu chodců je určení vlastností pohybu chodců viz kapitola 2. Pro správnou kalibraci můžeme využít statistických dat z různých zdrojů, které souvisí s danou lokalitou nebo s návštěvníkem stadionu.

### 5.2.2.1 Zastoupení návštěvníků dle věku a pohlaví

Jedním z podkladů může být věková struktura rozdělená dle pohlaví ve městě Brně z webového portálu data.brno.cz, které můžeme využít jako podklad při stanovení průměrné rychlosti osob dle strany 17, obyvatelé jsou rozděleni do kategorií dle pohlaví a dle věku po pěti letech.



Obrázek 5.4: Věková struktura obyvatel Brna [15].

Tyto hodnoty je vhodné použít v případě celospolečenských akcí, kde neočekáváme zastoupení jednoho druhu návštěvníků, ale celého spektra. Pro tento druh akcí je vhodné si data rozdělit do stejných skupin jako v případě rozdělení rychlostí pohybu chodců.

Tabulka 5.3: Věková struktura obyvatel Brna.

Věková struktura obyvatel Brna [%]			
	Muži	Ženy	Celkem
Věk < 30 let	15,29	14,81	30,10
Věk 30 - 50 let	15,94	15,14	31,08
Věk > 50 let	17,07	21,76	38,82

Jako podklad pro zastoupení návštěvníků utkání na fotbalovém stadionu jsem použil údaje z článku *Regionální aspekty sportovního diváctví* z roku 2009. Jedním z využitelných údajů je zastoupení sportovních diváků dle pohlaví. Pro Jihomoravský kraj se zastoupení žen na sportovních utkáních pohybuje kolem 20–25%.

Dalším důležitým údajem je věkové rozložení diváků. Při započtení 20% zastoupení žen na sportovních utkáních [16] a rozdělení do věkových kategorií dle Wiedmana [8] dostaneme procentuální zastoupení návštěvníků dle pohlaví a věku.

**Tabulka 5.4: Procentuální zastoupení návštěvníků dle pohlaví a věku.**

Procentuální zastoupení návštěvníků dle pohlaví a věku [%]			
	Muži	Ženy	Celkem
Věk < 30 let	51,84	12,96	64,80
Věk 30 - 50 let	15,30	3,82	19,12
Věk > 50 let	12,86	3,22	16,08

### 5.2.2.2 Rychlost pohybu osob

Rychlost pohybu jsem, vzhledem k rovinnému uspořádání modelu a dělení do kategorií dle věku a pohlaví, zvolil dle Weidmanna [8] (Tabulka 5.5). Nejrychlejší chůze dosahují muži pod 30 let, kteří tvoří více jak 50 % zastoupení návštěvníků sportovních utkání [16].

**Tabulka 5.5: Rychlost pohybu osob použitá v modelu.**

Rychlost osob dle Weidmanna [ $m \cdot s^{-1}$ ]				
	Ženy		Muži	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Věk < 30 let	0,516	1,433	0,580	1,610
Věk 30 - 50 let	1,255	1,371	1,410	1,514
Věk > 50 let	0,605	1,255	0,671	1,392

### 5.2.2.3 Prostor a rozměry

Jako podklad pro nastavení rozměrů návštěvníků jsem vycházel z údajů Stilla odpovídajících evropským parametrům člověka s šířkou v ramenech 53 cm. Jako komfortní vzdálenost mezi jednotlivými osobami používám 0,08 m.

## 5.2.3 Pohyb návštěvníků

### 5.2.3.1 Vstup návštěvníků do území

Vstup do území je řešen 18 východy po obvodu stadionu. Pro zjednodušení je počítáno s jednotnou intenzitou jednotlivých vstupů, kde každý z východů produkuje  $1 \text{ osobu} \cdot s^{-1}$  po dobu dovršení celkové návštěvnosti stadionu. Počátek je nastaven hned při startu těchto modelů a výsledek nezahrnuje dobu strávenou na stadionu po ukončení akce. Tyto výsledky jsou předmětem jiné práce.



### 5.2.3.2 Rozdělení návštěvnosti

Pro správnou simulaci pohybu osob je zásadní znát návštěvnost akce. Tento parametr lze získat ze statistických údajů od pořadatele, vlastníka stadionu nebo vlastním průzkumem statistik. Další možností je počítat s maximální kapacitou stadionu.

Jako podklad pro variantu s 5000 návštěvníky jsem vycházel ze statistiky průměrné domácí návštěvnosti stadionu v Brně na ulici Srbská při fotbalovém utkání z webu [www.hetliga.cz](http://www.hetliga.cz). Průměrná domácí návštěvnost v sezóně 2017/2018 byla 4264 návštěvníků na utkání a největší návštěvnost 8026 osob. Tato návštěvnost by měla simulovat běžnou situaci na stadionu.

U zvolení dalších variant jsem vycházel z územní studie *Variantsní využití ploch při ulici Sportovní a návrh nové tramvajové smyčky* [12] zadané městem Brnem. V popisu základního koncepčního řešení se počítá s návštěvností 12 000 osob při běžném režimu, 20 000 osob při nadstandartní situaci několikrát do roka a 30 000 osobami při mimořádných akcích se 100 % naplněním fotbalového stadionu.

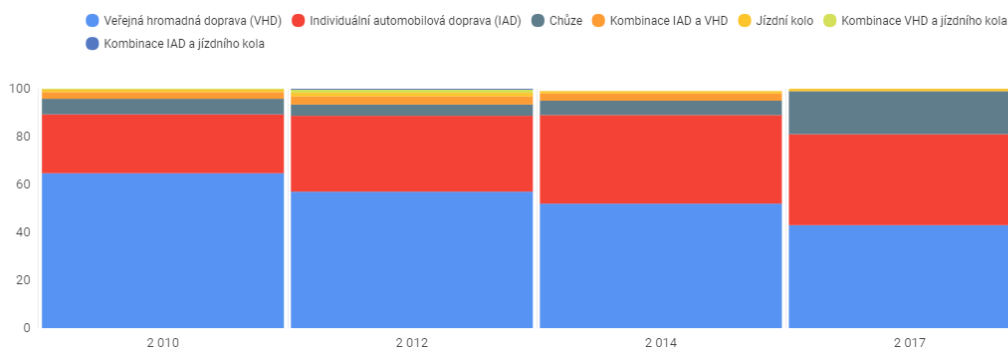
Tyto čtyři varianty tvoří základní rozdělení návštěvníků napříč variantami.

**Tabulka 5.6: Návštěvnost stadionu.**

Návštěvnost stadionu	
Počet osob	Návštěvnost
5000	Aktuální
12 000	Běžná
20 000	Nadstandartní
30 000	Mimořádná (100%)

### 5.2.3.3 Cílové směry

Zastoupení cílových směrů je parametr, který je na rozdíl od modelování evakuace osob složitě zjistit. Při evakuaci osob z budov máme jasně zadaná sběrná evakuační místa, která jsou zároveň cílovými směry. U modelování pohybu osob v intravilánu města máme možných cílů více a jejich kapacita se liší. Možností rozdělení cílových směrů může být využití statistiky dělby přepravní práce v dané lokalitě.



**Obrázek 5.5: Dělna přepravní práce pro město Brno [15].**

Zde vidíme zastoupení veřejné hromadné dopravy (VHD), individuální automobilové dopravy, chůze a ostatních druhů dopravy případně jejich kombinací. Z této statistiky bychom mohli uvažovat přibližná procenta zastoupení cílů ovšem bez rozdělení jednotlivých linek v rámci VHD.

Lepším podkladem je rozdělení zastoupení cílových směrů v okolí stadionu poskytnuté přímo pro navrhovanou variantu od Brněnských komunikací (BKOM)

**Tabulka 5.7: Zastoupení cílových směrů návštěvníků**

Zastoupení cílových směrů návštěvníků	
Cílový směr	%
1 Centrum	23,25
1 Královo Pole	8,25
9 Centrum	0,75
9 Lesná	1,50
26 Mendlovo náměstí	16,50
26 Stará osada	13,88
67 Centrum	6,00
67 Královo Pole	4,87
Centrum	14,00
Parkovací plochy	11,00

Toto zastoupení vhodně rozděluje VHD na jednotlivé linky a směry návštěvníků opouštějící stadion. Nevýhodou je konstantní zastoupení parkovacích ploch. Vzhledem k omezené kapacitě parkování v nulové i navrhované variantě je nutné stanovit pro každou návštěvnost procento zastoupených směrů na parkovací plochy dle kapacity a obsazenosti parkoviště a obsazenosti automobilů. Pro nulovou variantu je celková kapacita parkovacích ploch 420 parkovacích stání a při obsazenosti 2 osoby.automobil<sup>-1</sup> je do těchto směrů směřováno při všech návštěvnostech u nulové varianty 840 osob. Procentuální zastoupení popsáno v podkapitole *obsazenost parkovišť*.

Obsazenost parkovišť je jedním z parametrů ovlivňujících cílové směry pohybu osob po ukončení akce na stadionu. V závislosti na kapacitě parkovacích ploch a parkovacích domů se mění procentuální zastoupení návštěvníků.

Pro případ nulové varianty jsem vycházel z minimálních možností parkování v okolí stadionu. Vzhledem k menším kapacitám počítám se 100% zaplněním parkovacích ploch pro všechny varianty. Plochy pro parkování jsou parkoviště Stadion i s podzemními garážemi, Drobného a parkoviště Sportovní, Střední. Parkoviště Bobycentrum společně s hotelovými garážemi nebylo vzhledem k možnosti parkování pouze s povolením hotelového komplexu zahrnuto do cílových směrů návštěvníků.

S měnící se návštěvností stadionu se mění i procentuální zastoupení osob směřujících na výše zmíněné parkovací plochy. Rozdělení je zobrazeno v tabulce 5.8.

**Tabulka 5.8: Zastoupení osob směřujících na parkovací plochy pro nulovou variantu.**

Zastoupení osob směřujících na parkovací plochy [%]				
	Návštěvnost [osob]			
	5 000	12 000	20 000	30 000
Parkoviště Drobného	2,40	1,00	0,60	0,40
Parkoviště Sportovní	6,00	2,50	1,50	1,00
Parkoviště Stadion	8,40	3,50	2,10	1,40

U navrhované varianty počítám s realizací velkokapacitních parkovacích domů na ulici Dělostřelecká, Sportovní a parkovacího domu pro VIP návštěvníky v místech dnešního parkoviště Stadion při ulici Drobného. Díky těmto kapacitám a zrušení parkoviště Stadion neuvažuji zaplnění stávajících parkovacích ploch.

Díky společné kapacitě parkovacích domů kolem 1070 parkovacích stání uvažuji s využitím parkovacích domů na 50% u normální návštěvnosti 5000 osob. Při tomto využití bude k těmto cílovým místům směřovat přibližně 21,4% návštěvníků, tedy 1070 osob k parkovacím plochám a 3930 osob k ostatním cílovým bodům. Toto zastoupení je přibližné se zastoupením u nulové varianty. Pro další varianty s návštěvností 12 000–30 000 počítám se 100 % zaplněním parkovacích domů.

Stejně jako u nulové varianty se procentuální zastoupení návštěvníků směřujících k parkovacím stáním po skončení akce mění v závislosti na počtu osob opouštějící stadion. Rozdělení je zobrazeno v tabulce 5.9.

**Tabulka 5.9: Procentuální zastoupení osob směřujících na parkovací plochy.**

Procentuální zastoupení osob směřující na parkovací plochy [%]	Návštěvnost [osob]			
	5 000	12 000	20 000	30 000
Parkovací dům Sportovní	4,40	1,83	1,10	0,73
Parkovací dům Dělostřelecká	13,00	5,42	3,25	2,17
Parkovací dům VIP	4,00	1,67	1,00	0,67

Jedním s faktorů, který ovlivňuje kapacitu parkovacích ploch, je obsazenost automobilů. Jako podklad jsem využil statistiky (<https://www.jezdimprobrno.cz/vedelijsteze>) magistrátu města Brna z roku 2014 na webu [jezdimprobrno.cz](https://www.jezdimprobrno.cz) uvádějící průměrné zastoupení osob v automobilech při cestě do práce nebo školy. Více jak polovina automobilů je v tomto případě obsazena pouze jedním člověkem, pouze v 8 % je automobil zaplněn více jak dvěma pasažéry. Průměrná obsazenost je 1,6 osob na jeden automobil.

Při cestě na stadion předpokládám, že obsazenost automobilů bude mírně vyšší, vzhledem k jednotné cílové destinaci a přibližně stejnému časovému rozmezí příjezdu na parkovací plochy stadionu. Proto pro všechny varianty uvažuji obsazenost automobilů 2 osobami.

Zastoupení směrů pro stávající chodce v řešeném území je popsáno v podkapitole experimentální sběr dat.

#### **5.2.4 Experimentální sběr dat**

Sběr dat pro tuto práci byl proveden ve dne 3. 4. 2018 mezi 16–18 hodinou na křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní a u přechodu pro chodce přes ulici Sportovní u hotelu Bobycentrum.

Základem bylo změřit počty stávajících chodců společně s jejich cíli směřování a intervaly SZZ na přechodech pro chodce. Na každém místě jsem provedl hodinové měření intenzit pohybu chodců se zaznamenáváním jejich příchozích a odchozích směrů z území. Výsledek je popsán v tabulce 5.10.

**Tabulka 5.10: Směry pohybu chodců v okolí stadionu.**

Směry pohybu chodců v okolí stadionu		
Výchozí bod	Cílový bod	os.h <sup>-1</sup>
26 Mendlovo náměstí	Lužánky	12
	Pionýrská	30
	Zimní stadion zastávka autobusu 67 směr centrum	18
26 Stará osada	Lužánky	24
	Pionýrská	48
	Sportovní	48
Hrnčířská	26 Stará osada	11
	Okolí stadionu	14
	Sportovní	11
Lužánky	26 Mendlovo náměstí	10
	26 Stará osada	24
	Okolí stadionu	10
	Zimní stadion zastávka autobusu 67 směr centrum	5
Okolí stadionu	Hrnčířská	16
	Lužánky	16
	Sportovní	16
Pionýrská	Lužánky	22
	Stará osada	36
	Zimní stadion zastávka autobusu 67 směr centrum	14
Sportovní	26 Stará osada	24
	Hrnčířská	14
	Okolí stadionu	10
Zimní stadion zastávka Autobusu 67 směr centrum	26 Mendlovo náměstí	6
	26 Stará osada	6
	Lužánky	6
	Pionýrská	6

Výsledek měření intervalů SZZ je zjištění délky jednoho cyklu na křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní a vytvoření časového plánu. Všechny hodnoty jsou popsány v podkapitole Intervalů přechodů.

### 5.2.5 Další nastavované parametry

V programu Pathfinder lze nastavit několik faktorů ovlivňující jednotlivé profily skupin osob a geometrii modelu. Pro zjednodušení nastavení těchto parametrů jsem vycházel z podkladu *Sensitivity analysis of evacuation simulations* [17], který uvádí minima a maxima pro jednotlivé nastavitelné parametry.

## 5.3 VÝSLEDKY DOCHÁZKOVÝCH DOB A VZDÁLENOSTÍ

Výsledky docházkových dob a vzdáleností odpovídají předpokladu, že s rostoucí návštěvností se prodlužuje doba příchodu posledního návštěvníka do cíle a spolu s ní roste i maximální vzdálenost, kterou návštěvníci urazí.

### 5.3.1 Nulová varianta

Nulová varianta slouží převážně k porovnání docházkových dob s navrhovanou variantou. Vyhodnoceny byly všechny varianty, tedy s 5000–30 000 návštěvníky zahrnující vstupní parametry z předchozí kapitoly. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 5.11 a 5. 12, celkové porovnání všech cílů napříč variantami je přehledně zobrazeno na obrázku 5.6.

**Tabulka 5.11: Docházkové doby nulové varianty s 5000 a 12 000 návštěvníky.**

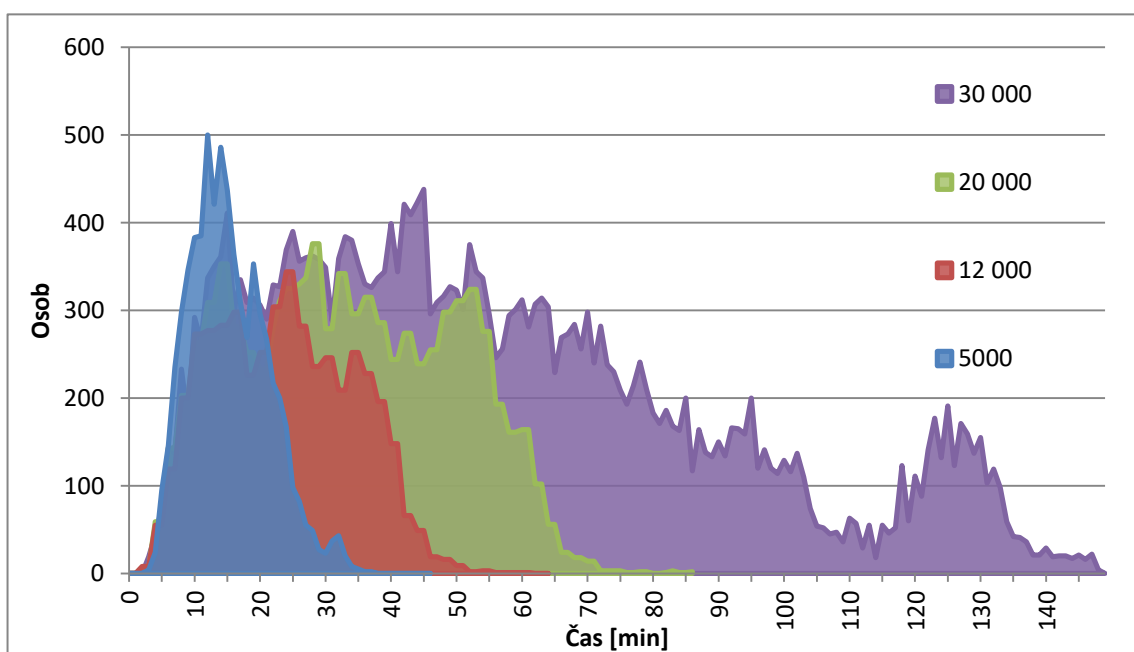
Docházkové doby nulové varianty	5000			12 000		
	Počet	První	Poslední	Počet	První	Poslední
	[osob]	[s]	[s]	[osob]	[s]	[s]
1 Hrnčířská centrum	741	422	1762	2023	420,1	2845
1 Hrnčířská Krpole	278	445	1770	806	446,1	2793,7
1 Pionýrská centrum	307	526	2006	866	544,6	3157,3
1 Pionýrská Krpole	71	609	2037	190	513,1	3080,3
26 Mendlovo náměstí	675	199	3250	1745	207,2	3250,2
26 Stará osada	776	296	1439	2070	294	2546,3
67 Sportovní centrum	186	207	1142	453	244,3	2243
67 Sportovní Krpole	145	183	971	422	202,1	2060,8
67 Zimní stadion centrum	119	340	1495	290	339,6	2499,1
67 Zimní stadion Krpole	67	394	1475	184	404,1	2486,3
9 Centrum	37	708	1908	105	612	3043,3
9 Lesná	75	637	2157	230	614,3	3324,9
Centrum	682	574	2285	1776	533,2	3274,5
Park Drobného	120	265	3288	120	262,6	3288,3
Park Sportovní	300	225	1099	300	229,8	2187,9
Park Stadion	420	88	927	420	91,1	1231,8

Z tabulky vyplývá, že první návštěvník se dostane do cíle po první minutě, a to vždy v případě využití parkoviště Stadion. Celkovým posledním návštěvníkem u 12 000 varianty je osoba směřující na linku 9 směrem na Lesnou.

**Tabulka 5.12: Docházkové doby nulové varianty s 20 000 a 30 000 návštěvníky.**

Docházkové doby nulové varianty	20 000			30 000		
	Počet	První	Poslední	Počet	První	Poslední
	[osob]	[s]	[s]	[osob]	[s]	[s]
1 Hrnčířská centrum	3498	420,8	3992,4	5351	420,5	8275,5
1 Hrnčířská Krpole	1356	459,6	3973,1	2079	460,5	8229,1
1 Pionýrská centrum	1476	526,8	4488	2262	514,1	8608,1
1 Pionýrská Krpole	356	513,4	4543,2	579	549,2	8610,5
26 Mendlovo náměstí	2967	203,1	3250,2	4558	204,2	3250,2
26 Stará osada	3600	294,4	3860,6	5452	293,1	8028,1
67 Sportovní centrum	732	240	3436,1	1189	238,2	7617,2
67 Sportovní Krpole	776	203,2	3113,9	1095	203	7493,9
67 Zimní stadion centrum	528	417,9	3972,5	802	337,7	8093,8
67 Zimní stadion Krpole	335	310	3669,6	461	324,1	8083,8
9 Centrum	149	664,6	4217,9	288	583	8628,1
9 Lesná	344	610,9	4102,1	489	768,2	8737,4
Centrum	3044	595,1	4682,9	4555	594,9	8768,6
Park Drobného	120	267,2	3288,3	120	356,4	3288,3
Park Sportovní	300	224,5	3387,9	300	304,8	7585,3
Park Stadion	420	122,6	1705,9	420	124,3	7423,2

Poslední chodec směřující přímo do centra dorazí do cíle ve variantě s největší návštěvností až po dvou hodinách. Rozdíl mezi 20 000 a 30 000 je nejvýraznějším v porovnání se všemi návštěvnostmi.



**Obrázek 5.6: Grafické znázornění celkových docházkových dob nulové varianty.**

### 5.3.2 Navrhovaná varianta

Výsledky docházkových dob navrhované varianty v rámci jednotlivých návštěvností jsou zobrazeny v následujících tabulkách. Tyto hodnoty vychází ze vstupních dat z předcházející podkapitoly 5.2. U navrhované varianty jsem porovnával i vliv stávajících chodců v okolí stadionu na návštěvníky a docházkové doby při použití různých vstupních rychlostí.

**Tabulka 5.13: Docházkové doby navrhované varianty s 5000 a 12 000 návštěvníky.**

Docházkové doby navrhované varianty	5000			12 000		
	Počet	První	Poslední	Počet	První	Poslední
	[osob]	[s]	[s]	[osob]	[s]	[s]
1 Dělostřelecká centrum	323	478	2372	862	477,9	2845,4
1 Hrnčířská centrum	679	475	2186	1632	476,2	2815,9
1 Pionýrská centrum	0	0	0	0	0	0
1 Dělostřelecká Krpole	142	455	2235	315	460,4	2433,1
1 Hrnčířská Krpole	230	495	1988	606	496,3	2718,1
1 Pionýrská Krpole	0	0	0	0	0	0
26 Mendlovo náměstí	748	282	1546	1833	289,3	2082,1
26 Stará osada	576	305	1713	1520	312,5	2194,1
67 Sportovní centrum	182	283	1546	409	277,5	2224,9
67 Sportovní Krpole	139	221	1334	358	201,4	1918
67 Zimní stadion centrum	105	367	1614	274	373,9	2224,1
67 Zimní stadion Krpole	54	425	1394	166	333,9	1836,6
9 Centrum	30	535	1638	78	658,2	2316,5
9 Lesná	79	608	2001	173	648,7	2257,2
Centrum	596	566	2762	1587	569	2950,5
PARK Dělostřelecká	684	496	2368	1349	496,1	3281,1
PARK Sportovní	228	155	1372	453	195	1698,1
PARK VIP	207	88	927	389	87,6	1390,6

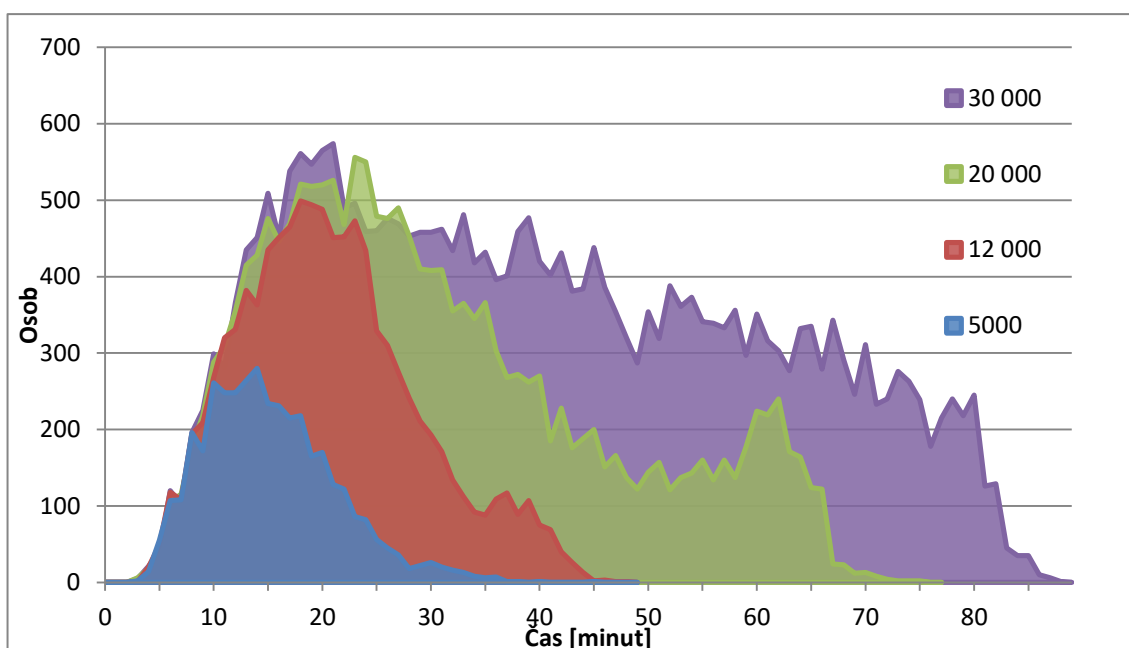
Zajímavým zjištěním je nevyužití zastávky Pionýrská. Důvodem je nejdelší docházková vzdálenost tohoto místa společně a možností využití zastávky Dělostřelecká a Hrnčířská. Nejrychleji se ve všech variantách dostanou návštěvníci na parkoviště VIP.



**Tabulka 5.14: Docházkové doby navrhované varianty s 20 000 a 30 000 návštěvníky.**

Docházkové doby navrhované varianty	20 000			30 000		
	Počet	První	Poslední	Počet	První	Poslední
	[osob]	[s]	[s]	[osob]	[s]	[s]
1 Dělostřelecká centrum	1602	477,9	3835	3186	477,9	4710,4
1 Hrnčířská centrum	3014	475,3	4050,7	4108	475,4	5230,3
1 Pionýrská centrum	0	0	0	0	0	0
1 Dělostřelecká Krpole	573	466,7	3191,7	831	467,8	4520,9
1 Hrnčířská Krpole	1102	485,4	3991,5	1782	485,1	5216,8
1 Pionýrská Krpole	0	0	0	0	0	0
26 Mendlovo náměstí	3267	286,5	4027,6	5055	287,6	4888,2
26 Stará osada	2771	301,1	4252,6	4261	302,3	5142,1
67 Sportovní centrum	683	275,3	3443	1142	274,8	4725,2
67 Sportovní Krpole	685	200,3	3017	1069	197,6	4158,8
67 Zimní stadion centrum	476	368,2	4004,3	772	376,4	4632,3
67 Zimní stadion Krpole	295	375,2	3796	429	435,3	4609,2
9 Centrum	160	556,8	2619,1	252	583,5	3427,5
9 Lesná	300	598,4	2945	507	633,7	3495,8
Centrum	2914	529,4	4501,8	4453	541	5289,6
Park Dělostřelecká	1300	501,9	3981	1335	500,2	5294,3
Park Sportovní	454	180,2	2686,4	426	221,7	3855,9
Park VIP	400	84,7	1729,8	398	84,6	2351,1

Porovnání docházkových dob je vyobrazeno i v grafu. Zde je vidět tendence zvyšování křivky v jejím závěru společně se zvyšující se návštěvností.



**Obrázek 5.7: Grafické znázornění celkových docházkových dob navrhované varianty.**

Tento jev je způsoben uvolněním míst, ve kterých se setkávaly dva protisměrné dopravní proudy a míst kde byla zvýšená hustota v rámci zúžení.

Minimální a maximální docházkové vzdálenosti měřené pro varianty 5000–30 000 jsou zobrazeny v následující tabulce. Je vidět, že s rostoucí návštěvností se maximální docházkové vzdálenosti do jednotlivých cílů zvyšují, zatímco minimální docházkové vzdálenosti zůstávají stejné. Příčinou tohoto jevu je obcházení míst s větší hustotou osob vzniklou především v užších místech území a u křížení a čas strávený v zácpách.

**Tabulka 5.15: Docházkové doby navrhované varianty.**

Vzdálenosti pohybu osob navrhované varianty	5000		12 000		20 000		30 000	
	min	max	min	max	min	max	min	max
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1 Centrum	629,6	1314,7	627,3	1345,5	626,9	1487,3	626,3	2143,6
1 Královo pole	631,3	1241,9	630,7	1388,6	631,1	1392,2	630,1	1977,1
26 Mendlovo náměstí	376,5	929,3	377,5	954,8	376,7	1572,3	376	1024,1
26 Stará osada	394,8	1056,9	399,8	1121,1	403,6	1448,7	394,5	1369,9
67 Sportovní centrum	297,7	867,4	298,2	1045,1	299,9	1015,5	296,3	1010,2
67 Sportovní Krpole	273,3	832,3	272,5	838,5	271,3	860,2	271,8	1574,4
67 Zimní stadion centrum	447,7	975,6	456	1027,4	455,5	1106,9	460,4	1021,6
67 Zimní stadion Krpole	441,6	996,5	439,5	1075,7	446,1	1224,7	446,5	1049,5
9 Centrum	723,5	1173,4	724,9	1177,1	723,9	1953,1	730,3	1596,9
9 Lesná	764,5	1203,9	764,6	1675,2	767,4	1934,7	764,6	1955,1
Centrum	775,5	1408	775,7	1434,5	776,3	1958,6	775,2	1460,2
PARK Dělostřelecká	619,8	1273,9	621,1	1298,8	619,3	1361,4	72	2140,5
PARK Sportovní	223,9	654,1	224,2	681,6	223,9	698,8	101,5	2143,3
PARK VIP	72,8	508,4	72,1	510,4	71,8	517,2	74,8	1427,1

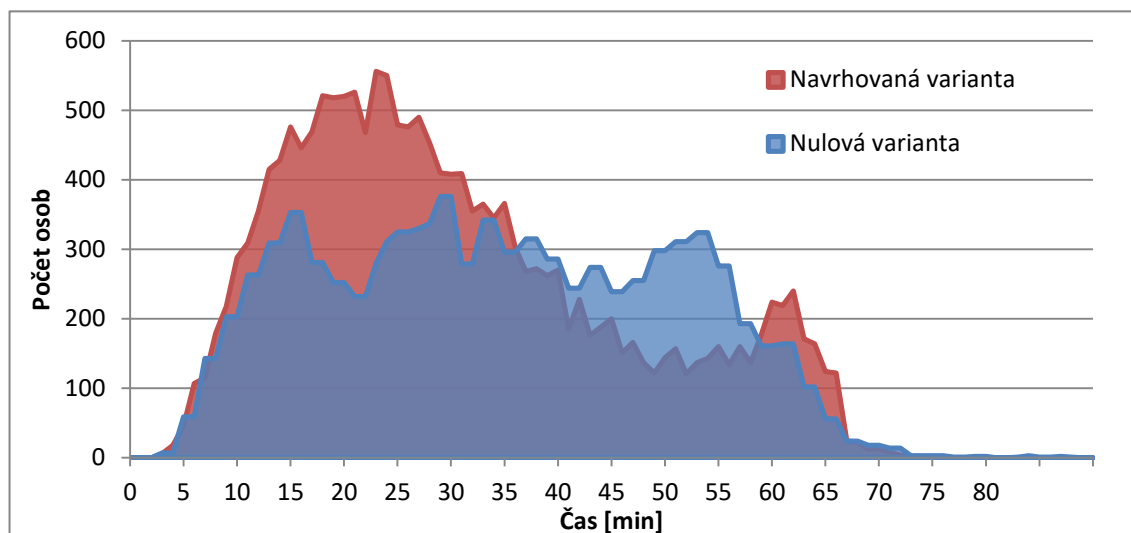
## 5.4 POROVNÁNÍ VARIANT A VÝPOČTŮ

V této části porovnávám navrhovanou variantu se stávajícím stavem a vliv stávajících chodců na docházkové doby návštěvníků a docházkové doby při simulaci s rozdílnou rychlostí pohybu osob. Dále zde řeším využitelnost změny simulačního kroku a vstupních parametrů k eliminaci nepřesností ve výpočtu.

### 5.4.1 Porovnání nulové a navrhované varianty

Z předešlých výsledků docházkových vzdáleností vyplývá, že největší rozdíl mezi navrhovanou a nulovou variantou je při 30 000 návštěvnosti. U nulové varianty dochází poslední návštěvníci do cílů až po dvou hodinách od začátku opouštění stadionu

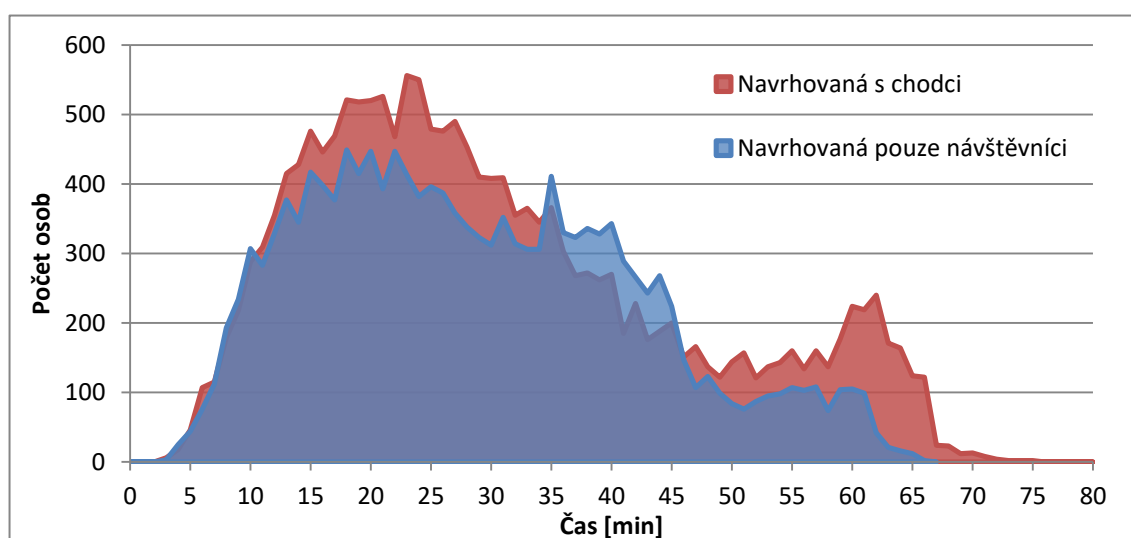
prvními návštěvníky. Při ostatních návštěvnostech se mění především průběh dosažení cílů, celkové docházkové doby se liší v rámci desítek minut. Příkladem je srovnání 20 000 návštěvnosti.



Obrázek 5.8: Srovnání docházkových dob u 20 000 návštěvnosti navrhované a nulové varianty.

### 5.4.2 Vliv chodců na návštěvníky

Jedním z cílů simulace bylo posouzení vlivu stávajících chodců na docházkové doby návštěvníků. U variant s nižší návštěvností se pohyb chodců na docházkové doby výrazně neprojevil. Rozdíly jsou patrné až u návštěvnosti 20 000 osob a vyšší. Zde dochází k omezení pohybu návštěvníků a výsledná doba se liší v rozmezí 5–10 minut, viz Obrázek 5.9.



Obrázek 5.9: Srovnání docházkových dob u 20 000 návštěvnosti navrhované varianty s chodci a varianty pouze s návštěvníky.

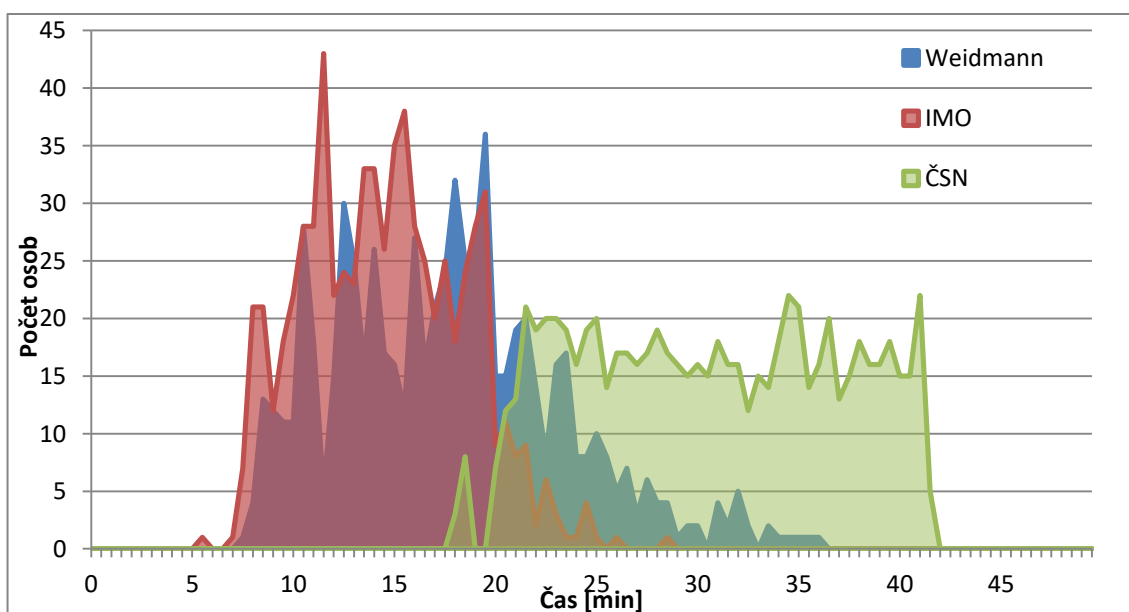
### 5.4.3 Porovnání rychlostí dle ČSN, IMO a Weidmanna

Rychlosti pohybu osob dle Weidmanna jsou popsány v kapitole 2.3 a veškeré předešlé výpočty zahrnují tyto hodnoty.

Další skupina výpočtů je na základě britské směrnice IMO Guidelines se stejným věkovým zastoupením, ale s mírně odlišným spektrem rychlostí pohybu osob. V porovnání s výsledky dle rychlostí Weidmanna dostaneme podobné data i podobný průběh pohybu osob v území.

Třetím zdrojem rychlostí pohybu osob je ČSN 73 0802 uvádějící rychlost pohybu osob po rovině  $0,583 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pro všechny věkové kategorie. Při porovnání je vidět značný rozdíl docházkových dob ČSN a Weidmanna s IMO Guidelines.

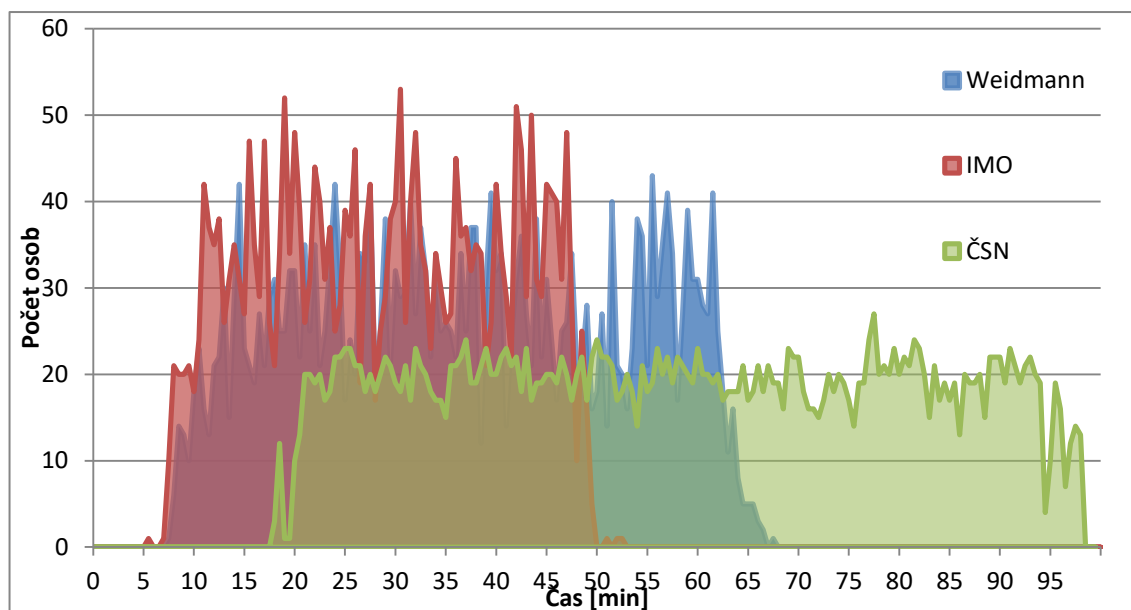
Pro porovnání jsem zvolil docházkové doby na zastávku 1 Hrnčířská u 5000 a 20 000 návštěvnosti.



Obrázek 5.10: Docházkové doby navrhované varianty na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum pro 5000 návštěvníků v rámci různých zdrojů rychlostí osob.

Zatímco první příchozí ve variantě s podklady Weidmanna a IMO Guidelines dosahují cíle mezi 5–10 minutou, u ČSN je první příchozí zaznamenán až po 17 minutě. Důvodem je výrazně nižší, konstantní, rychlost osob pro všechny věkové kategorie. Vlivem stejného důvodu je na grafu krásně znázorněno rozložení počtu příchozích do cíle.

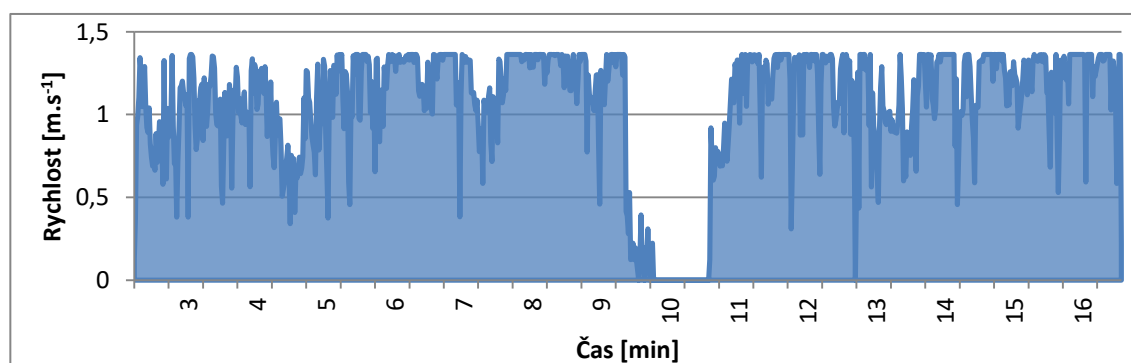
U 20 000 návštěvnosti lze na grafu pozorovat změny oproti předchozímu počtu osob. Počáteční fáze zůstává stejná, změny se odehrávají v druhé polovině grafu. U Weidmanna i směrnice IMO dochází k většímu rozložení příchodu osob do cíle. Dále je vidět, především u Weidmanna, mírné zvýšení počtu osob před příchodem posledních návštěvníků do cíle. Toto navýšení je způsobeno náhlým uvolněním přeplněných dopravních proudů v kritických místech. Kolísání, v rozmezí  $20 \text{ osob} \cdot \text{minuta}^{-1}$ , je způsobeno časovým intervalem přechodu pro chodce přes ulici Sportovní.



Obrázek 5.11: Docházkové doby navrhované varianty na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum pro 20 000 návštěvníků v rámci různých zdrojů rychlosti osob.

#### 5.4.4 Časový průběh pohybu chodců a jejich zdržení

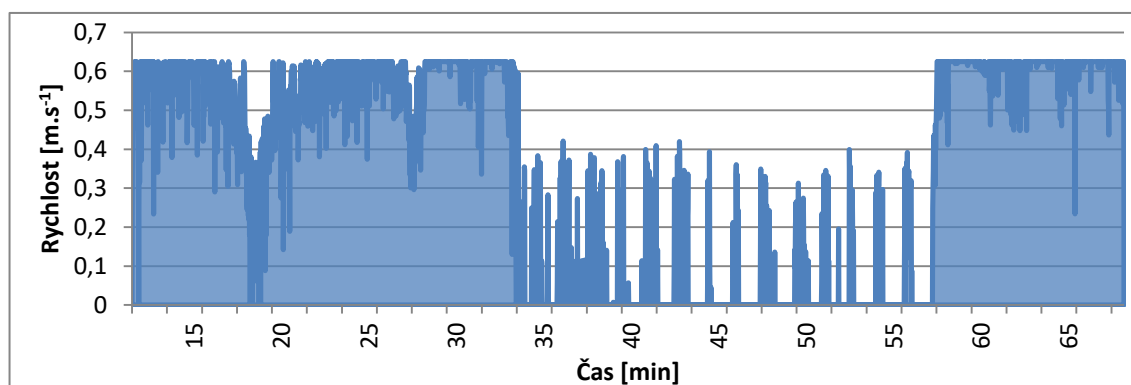
Jedním ze zjišťovaných údajů může být i průběh pohybu jednotlivých chodců. Jako příklad uvádím časový úsek návštěvníka směřujícího na stejnou zastávku 1 Hrnčířská ve směru do centra.



Obrázek 5.12: Časový průběh rychlost pohybu návštěvníka směřujícího na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum u varianty s 5000 návštěvníky.

Na grafu lze zřetelně poznat místo, ve kterém návštěvník čekal v prostoru před přechodem pro chodce na ulici Sportovní. V této části grafu je hodnota rychlosti rovna nule.

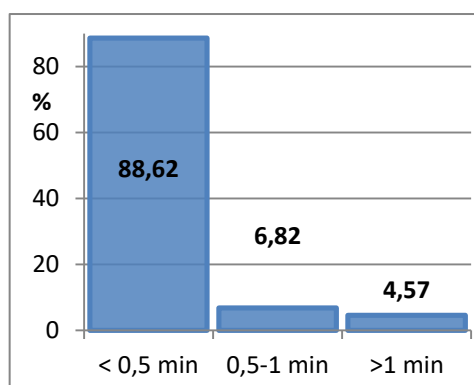
Další graf zobrazuje stejnou situaci při 20 000 návštěvnosti s rozdílem, že návštěvník vychází ze vzdálenějších dveří stadionu.



**Obrázek 5.13:** Časový průběh rychlosti pohybu návštěvníka směřujícího na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum u varianty s 20 000 návštěvníky.

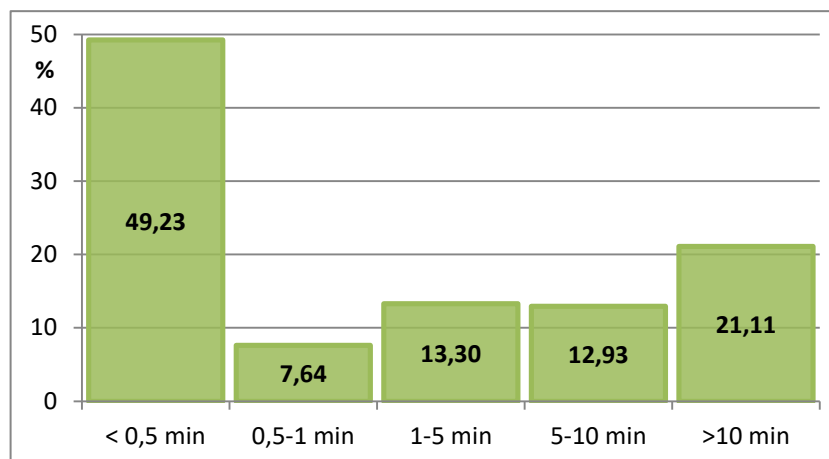
Při porovnání s předchozím grafem je zřejmě vidět snížená rychlost pohybu mezi 40–55 minutou s občasnými nulovými hodnotami. To je způsobeno čekáním ve frontě před přechodem pro chodce na ulici Sportovní.

Pokud chceme zjistit celkovou dobu strávenou ve frontě pro všechny návštěvníky, můžeme k tomu využít další z výstupních souborů simulace, který nabízí celkovou nebo maximální kontinuální dobu strávenou ve frontě. Výsledky jsou v následujících grafech.



**Obrázek 5.14:** Procentuální zdržení ve frontách u 5000 návštěvnosti u navrhované varianty.

Při nízkých návštěvnostech nedochází ke zdržení ve frontě. Hodnoty zdržení nad 1 minutu jsou v místech přechodů pro chodce s delším časovým intervalem.



**Obrázek 5.15:** Procentuální zdržení ve frontách u 20 000 návštěvnosti u navrhované varianty.

S vyšší návštěvností narůstá doba strávená ve frontě a v kritických místech doba zdržení přesahuje 10 minut.

#### 5.4.5 Změna simulačního kroku

Obvykle se výsledné hodnoty pohybují v rozsahu směrodatné odchylky kolem střední hodnoty. Toho je možné docílit pouze opakovaným spuštěním simulace a sběrem výsledných dat. Použitím funkce zdrojů osob (occupants source), vzhledem k neznalosti podrobných výstupních dat pohybu osob ze stadionu, nelze simulaci vypočítat vícekrát s různými výsledky. Při tomto nastavení dosáhneme vždy stejných hodnot.

Pro získání odlišných výsledků můžeme využít různého nastavení simulačního kroku. U tohoto způsobu je však důležité volit krok ve vhodném rozmezí. V případě zvolení příliš vysokého kroku se výpočet modelu znehodnotí. Maximální velikost kroku je 1,0 s. Pro daný výpočet byly použity hodnoty kroku v rozmezí 1–0,05 s.

Při využití změny kroku dosahuje směrodatná odchylka u počtu osob a prvních příchozích hodnot v řádech jednotek procent a vyhovují statistickým výsledkům. U hodnot posledních příchozích je směrodatná odchylka v rozmezí 4–30 %. Z tohoto vyhodnocení vyplývá, že změna velikosti simulačního kroku není příliš vhodným způsobem dosažení statistických výsledků a záleží především na zvoleném rozmezí simulačního kroku.

**Tabulka 5.16: Aritmetický průměr a směrodatná odchylka při zastoupení různé velikosti simulačního kroku pro navrhovanou variantu s 5000 návštěvníky.**

Docházkové doby navrhované varianty s 5000 návštěvníky	Aritmetický průměr a směrodatná odchylka					
	Počet		První		Poslední	
	[osob]		[s]		[s]	
1 Dělostřelecká centrum	323	0,000	479	1,283	2525	250,148
1 Hrnčířská centrum	678	3,130	479	3,612	2360	300,847
1 Pionýrská centrum	0	0,000	0	0,000	0	0,000
1 Dělostřelecká Krpole	142	0,000	458	3,942	2340	202,246
1 Hrnčířská Krpole	230	0,447	496	6,695	2191	362,696
1 Pionýrská Krpole	0	0,000	0	0,000	0	0,000
26 Mendlovo náměstí	748	0,000	287	7,317	1694	261,351
26 Stará osada	577	0,548	308	2,854	1850	245,325
67 Sportovní centrum	182	0,000	284	3,314	1702	304,459
67 Sportovní Krpole	139	0,000	225	6,846	1471	232,388
67 Zimní stadion centrum	105	0,000	366	0,782	1758	262,264
67 Zimní stadion Krpole	54	0,000	435	11,913	1549	276,265
9 Centrum	30	0,000	536	1,347	1726	212,145
9 Lesná	79	0,000	608	8,453	2142	234,826
Centrum	596	0,000	572	7,425	2803	92,249
Park Dělostřelecká	684	0,894	498	2,294	2778	567,337
Park Sportovní	228	0,000	155	0,590	1480	190,667
Park VIP	208	0,548	88	1,099	1042	220,739

#### 5.4.6 Změna vstupních parametrů

Dalším způsobem jak zajistit průměrné hodnoty a směrodatnou odchylku je místo konstantních vstupních dat použít náhodné vstupní intervaly. Pro simulaci jsem využil náhodného rozdělení intenzity  $0-2 \text{ osoby} \cdot \text{s}^{-1}$  v rámci stejného času jako při konstantním zastoupení.

U tohoto způsobu nejsou výsledky ucelenější i navzdory malému počtu opakování výpočtu simulace. Ve většině případů se směrodatná odchylka u počtu osob a docházkové doby prvních návštěvníků pohybuje do 1 %. I u docházkových dob je směrodatná odchylka celkem malá.

Tento způsob je vhodnější pro stanovení přesnosti ovšem nemůže nahradit přesná výstupní data ze simulace pohybu osob na stadionu.



**Tabulka 5.17: Aritmetický průměr a směrodatná odchylka při náhodném rozdělení vstupních intenzit pro navrhovanou variantu s 5000 návštěvníky.**

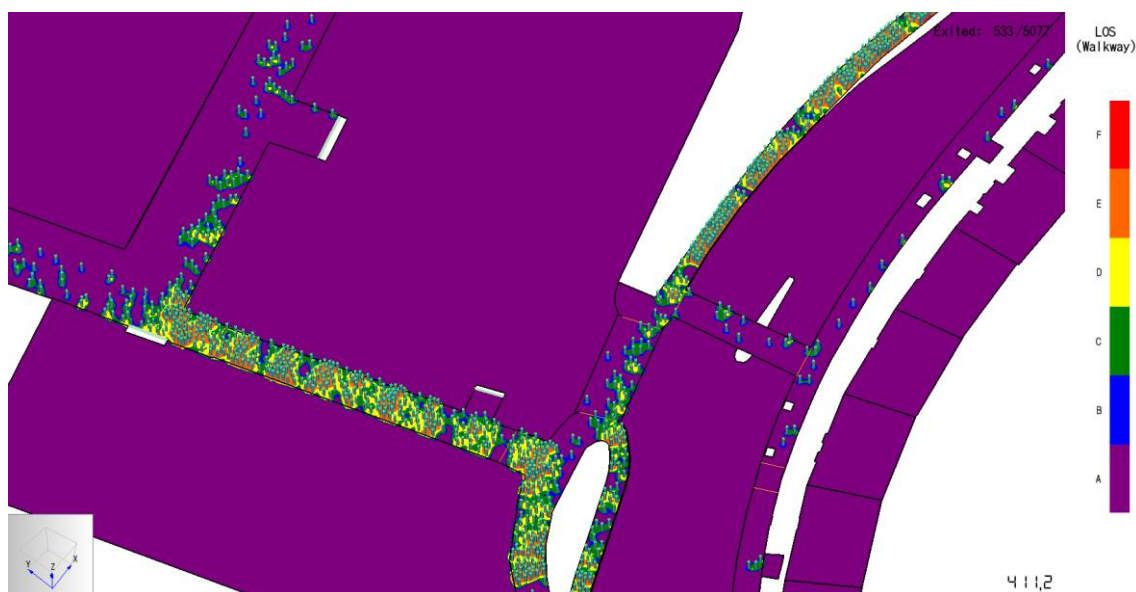
Docházkové doby navrhované varianty s 5000 návštěvníky	Aritmetický průměr a směrodatná odchylka					
	Počet		První		Poslední	
	[osob]		[s]		[s]	
1 Dělostřelecká centrum	326	2,510	491	12,248	2379	3,841
1 Hrnčířská centrum	679	2,490	475	1,120	2149	5,585
1 Pionýrská centrum	0	0,000	0	0,000	0	0,000
1 Dělostřelecká Krpole	144	1,140	458	1,424	2225	29,633
1 Hrnčířská Krpole	231	0,548	492	7,278	2004	49,816
1 Pionýrská Krpole	0	0,000	0	0,000	0	0,000
26 Mendlovo náměstí	744	3,421	279	8,469	1626	75,745
26 Stará osada	580	2,387	298	3,608	1713	3,290
67 Sportovní centrum	183	0,894	282	2,524	1540	5,321
67 Sportovní Krpole	140	1,000	239	5,692	1341	29,344
67 Zimní stadion centrum	103	0,707	388	4,358	1624	70,521
67 Zimní stadion Krpole	53	0,837	431	6,485	1395	22,529
9 Centrum	30	0,894	574	6,562	1671	102,954
9 Lesná	79	0,447	598	8,280	2117	130,359
Centrum	594	4,147	568	4,500	2762	0,277
Park Dělostřelecká	685	1,581	495	2,030	2367	2,002
Park Sportovní	227	0,707	156	2,092	1367	3,517
Park VIP	209	2,049	89	2,775	923	13,211

## 5.5 HODNOCENÍ KVALITY PĚŠÍ DOPRAVY (LOS)

Úroveň kvality dopravy je jedním ze zásadních výstupů simulace pohybu osob. Software vyhodnocuje sám kategorie úrovně kvality pěší dopravy a výstupy jsou zobrazovány graficky po celou délku simulace.

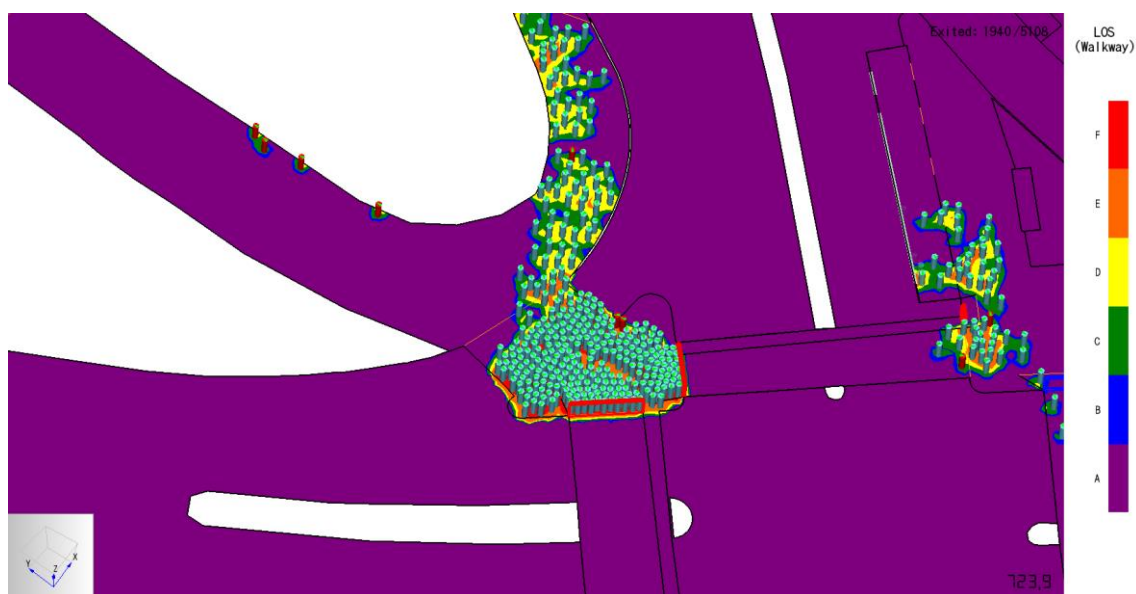
### 5.5.1 Nulová varianta

Už při 5000 návštěvnosti se u nulové varianty začíná projevovat zhoršená úroveň kvality pěší dopravy a to zejména v místě napojení na ulici Drobného.



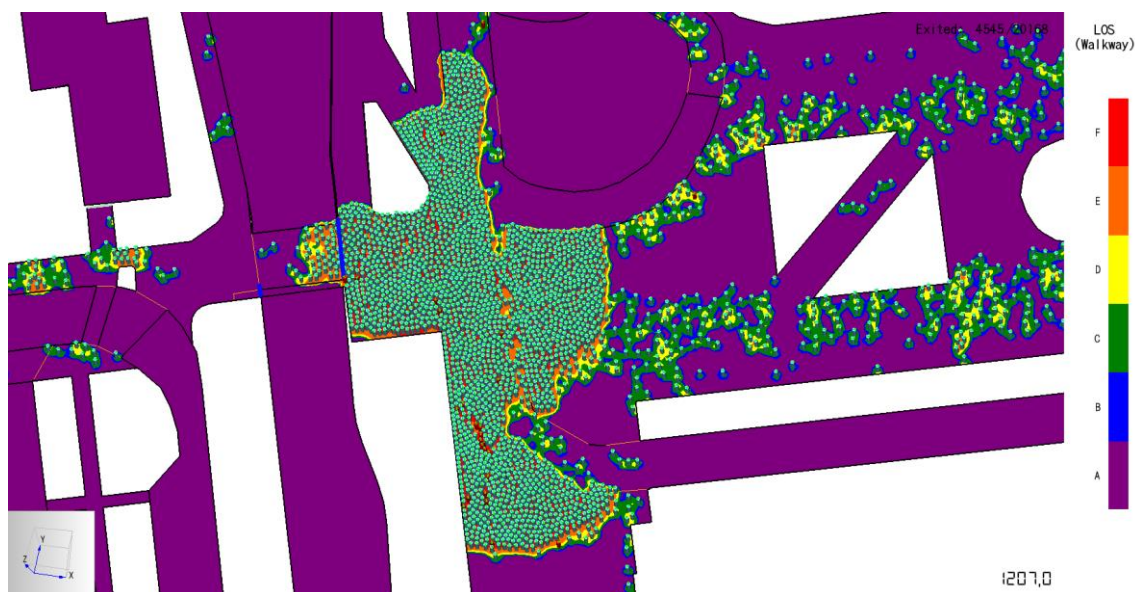
**Obrázek 5.16: Zhoršená úroveň kvality pěší dopravy v okolí parkoviště Stadion.**

Další problém nastává přímo v křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní. Zde, vlivem dlouhého intervalu světelného signalizačního zařízení na přechodech pro chodce a absence navrhované lávky, dochází k naplnění čekající plochy před přechody a přicházející návštěvníci zůstávají stát i ve vozovce.



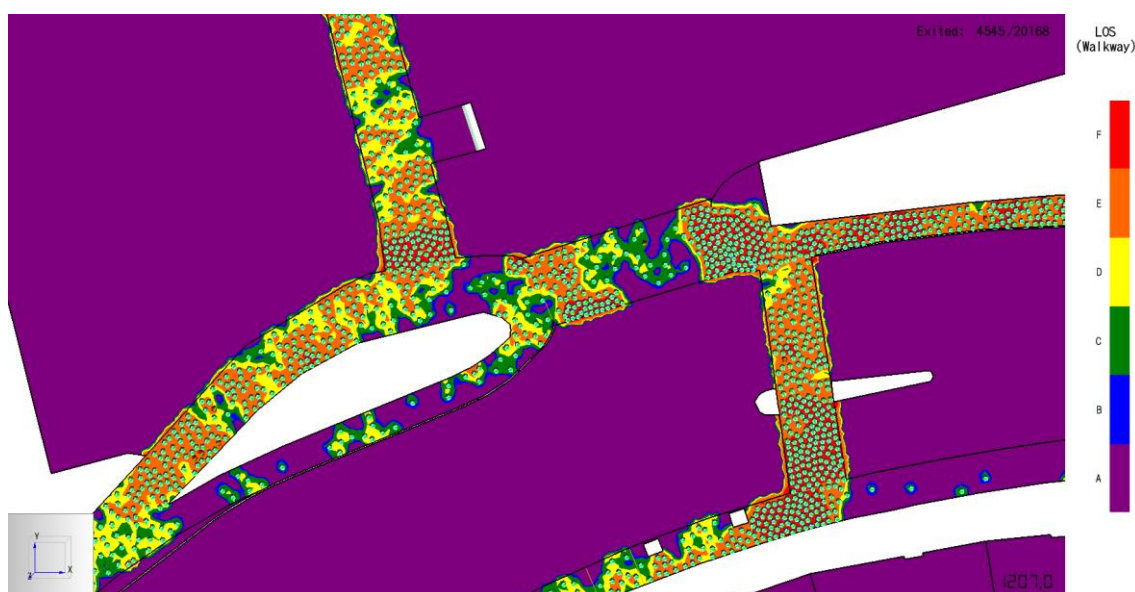
**Obrázek 5.17: Úroveň kvality pěší dopravy v blízkosti křižovatky, čekání chodců ve vozovce.**

Na těchto místech se problémy s rostoucí návštěvností navyšují a přibývají k nim i místa další. Jedním z nich je prostor před přechodem pro chodce vedle hotelu Boby a u křížení dopravních proudů v blízkosti parkoviště Stadion. Zde se hodnoty úrovně kvality pěší dopravy dostávají až ke stupni F.



Obrázek 5.18: Úroveň kvality pěší dopravy v blízkosti přechodu pro chodce přes ulici Sportovní.

Na přechodu pro chodce přes ulici Drobného vzniká vlivem absence světelného signalizačního zařízení stálý dopravní proud s velmi malými rychlostmi. Toto chování návštěvníků negativně ovlivňuje dopravní situaci pro MHD i ostatní druhy dopravy v okolí stadionu.



Obrázek 5.19: Úroveň kvality pěší dopravy v okolí stadionu při vyšší návštěvnosti.

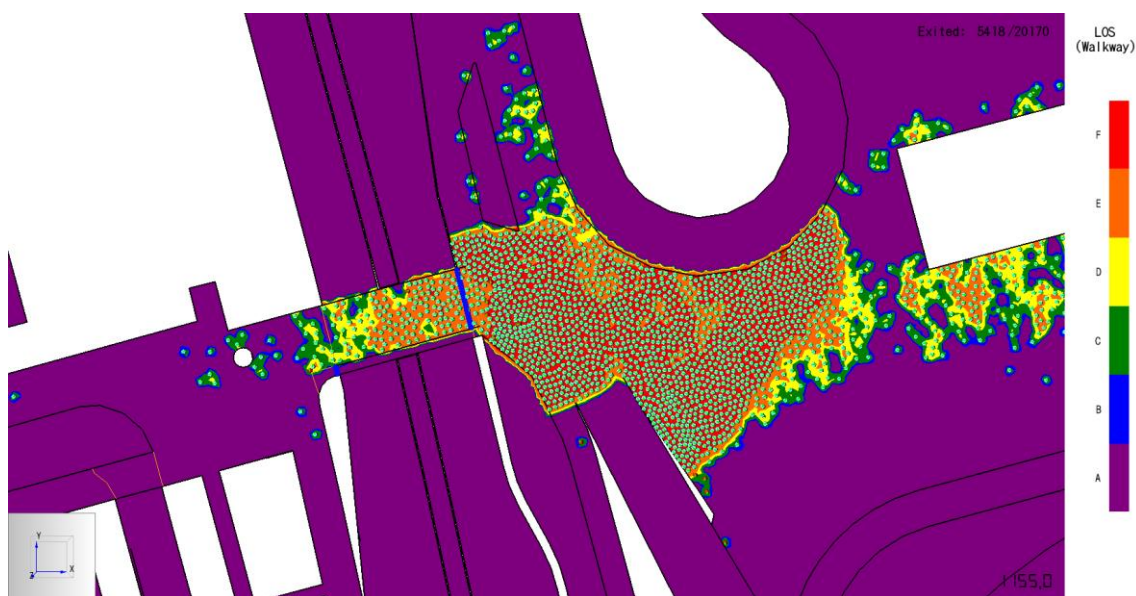
### 5.5.2 Navrhovaná varianta

U návštěvnosti s 5000 osobami je úroveň kvality pěší dopravy bez výrazných problémů. Nejhůře jsou vyhodnoceny místa čekajících ploch před přechodem pro chodce na ulici Sportovní, kde hodnocení LOS dosahuje kvality D a dochází k mírné interakci mezi chodci.



**Obrázek 5.20: LOS navrhované varianty s 5000 návštěvníky – přechod pro chodce Sportovní.**

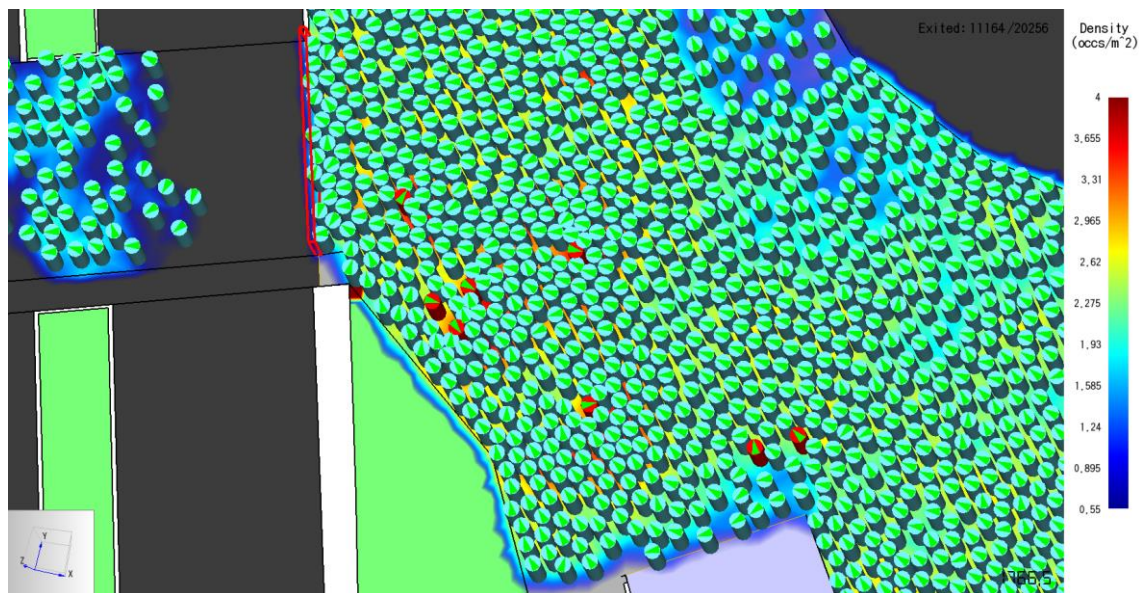
Při pohybu 12 000 osob se již začínají odkrývat místa, kde při větší návštěvnosti budou s největší pravděpodobností vznikat kolize mezi návštěvníky i chodci v okolí stadionu. Tyto předpoklady se plně začínají projevovat při návštěvnosti s 20 000 osobami. Zde nastávají hlavní problémy u křižovatky Drobného × Pionýrská × Sportovní a před hotelem Bobycentrum. Před hotelem vzniká problém díky dlouhému časovému intervalu přechodu pro chodce a zúžení plochy pro pěší, dochází k tlačenci, která postupně může přejít v davový kolaps.



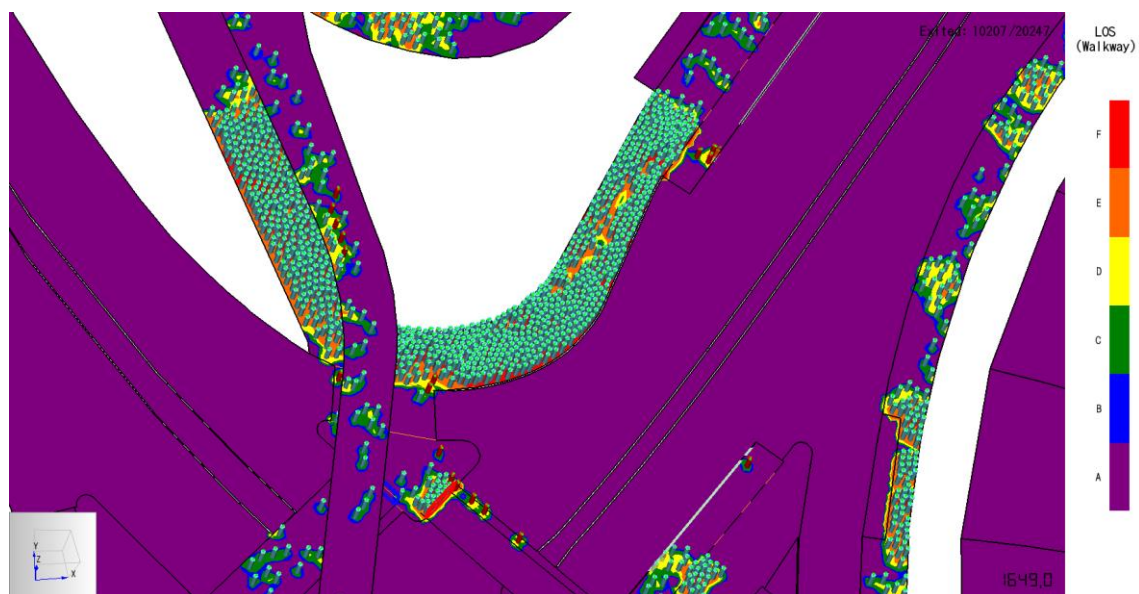
**Obrázek 5.21: Hodnocení úrovně kvality pěší dopravy před hotelem v rámci varianty s 20 000 návštěvníky.**

V případě hodnocení místa jako čekající plochy dostáváme úroveň kvality D, pro chodníky se hodnota v centru davu pohybuje mezi E a F. Hustota dosahuje místy až 4 osoby.m<sup>-2</sup>, a to především v místech kde prostupují stávající chodci davem návštěvníků.

**Obrázek 5.22: Hustota před přechodem pro chodce přes ulici Sportovní v blízkosti hotelu.**

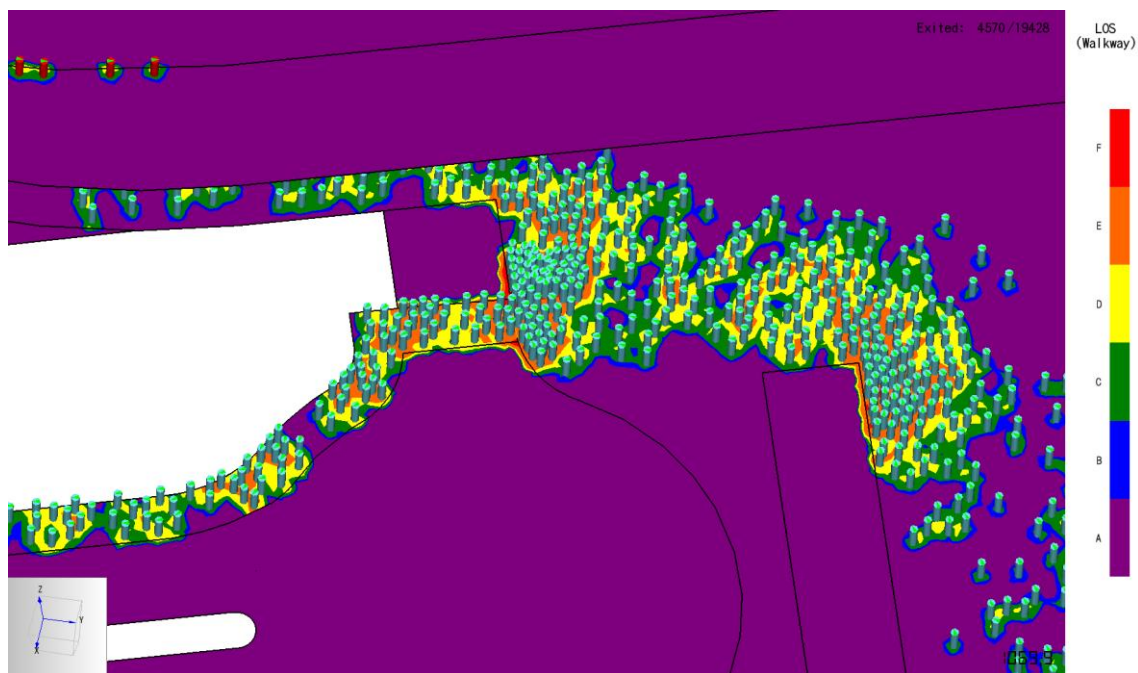


V prostoru křižovatky se pak střetávají dva protisměrné proudy návštěvníků, hustota se blíží k 4 osobám.m<sup>-2</sup>, dav se zastavuje. Úroveň kvality pěší dopravy pro chodníky je v rozmezí D – F.



**Obrázek 5.23: Střet dvou proudů směřujících opačnými směry s vyhodnocením úrovně kvality pěší dopravy v okolí křižovatky Drobného × Pionýrská × Sportovní.**

U 30 000 varianty problémy zaznamenané u předešlých návštěvností mírně rostou a to především před vstupy na úzké chodníky.



Obrázek 5.24: Zvýšená koncentrace osob vedoucí k horší kvalitě pěší dopravy před vstupem na úzký chodník.

## 6 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce byla analýza běžných rizik vázaných na úroveň kvality dopravy a zjištění docházkových dob na zastávky městské hromadné dopravy a parkovací plochy.

U nulové varianty vznikají problémy vázané na úroveň kvality pěší dopravy v místech křížení dopravních proudů a přechodů pro chodce již při nižších návštěvnostech. S jejím nárůstem se počet kritických míst rozrůstá a může docházet k nebezpečným davovým situacím. Celková docházková doba roste v porovnání s navrhovanou variantou u všech návštěvností, u těch vyšších jsou rozdíly patrnější.

Navrhovaná varianta dosahuje v rámci úrovně LOS lepších hodnot. U nižších návštěvností nevznikají žádná kritická místa. S vyšším počtem návštěvníků však klesá kvalita dopravy především v místech zúžení a v prostorech před přechody pro chodce. Docházkové doby na cílové plochy nezaznamenávají velké výkyvy průběhu při porovnání mezi odlišnými návštěvnostmi. Celková doba strávená ve frontách je při nižších návštěvnostech velmi malá, ale s jejím nárůstem se ve frontě více jak 20 % návštěvníků zdrží déle jak 10 minut.

Pohyb chodců v okolí stadionu ovlivňuje doby příchodů návštěvníků na parkovací plochy a zastávky MHD přibližně do 10 % celkové doby.

Na základě porovnání výsledků v rámci změny parametrů rychlosti dle různých podkladů docházím k závěru, že rychlosti dle ČSN nejsou, oproti Weidmannovi a směrnici IMO, vhodné pro simulaci pohybu osob v okolí stadionu vzhledem ke konstantní rychlosti napříč věkovými kategoriemi a pro pomalou udávanou rychlost. Výsledky mezi Weidmannem a směrnicí IMO jsou si celkově více podobné.

Při opakovaném výpočtu je vhodnější použít náhodné vstupní intenzity než změny simulačního kroku, ovšem ani jeden ze způsobů nenahradí přesné údaje ze simulace pohybu osob na stadionu.

## 7 CITOVANÁ LITERATURA

1. **APELTAUER, Tomáš, Petr BENEŠ a Luděk VRÁNA.** *Aplikace pokročilých modelů pohybu osob a dynamiky požáru pro bezpečnou evakuaci osob a analýzu rizik. 1/2016.* Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2015.
2. **SINGH, Natasha, Purnima PARIDA, Mukti ADVANI a Rajesh GUJAR.** *Human Ellipse of Indian Pedestrians, ISEHP: International Symposium on Enhancing Highway, 2016.*
3. **Still, G. K.** *Crowd Dynamics. Dizertační práce, University of Warwick, Department of Mathematics, 2000.*
4. **PHEASANT, Stephen.** *Bodyspace: anthropometry, ergonomics, and the design of work. 2nd ed.* Bristol, PA: Taylor & Francis, 1996. ISBN isbn0-7484-0326-4.
5. **DRBLA, Pavel.** *Technologie a řízení dopravy - MHD. Pardubice, 2005. Skripta. Univerzita Pardubice.*
6. Crowd Safety and Risk Analysis. [Online] 19. Duben 2018. [Citace: 16. Květen 2018.] <https://www.gkstill.com/>.
7. **LAKSHMI, Devi Vanumu, Rao K. RAMACHANDRA a Geetam TIWARI.** *Fundamental diagrams of pedestrian flow characteristics: A review. 5 September 2017. 2017.*
8. **Weidmann, U.** *Transporttechnik der Fussgänger. Technická zpráva, Institut für Verkehrsplanung,.*
9. ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty.2009.
10. **FRUIN, J.J.** *Pedestrian Planning and Design, Revised Edition, Elevator World, Inc., Alabama. 1987.*
11. **S.R.O., UAD STUDIO.** *Generel pěší dopravy na území města Brna: Trasy celoměstského a oblastního významu [1:25000]. Brno. 2010.*
12. *Variantní využití ploch při ulici Sportovní Návrh nové tramvajové smyčky: Územní studie „Areál Ponava“.* Brno, 2017. ISBN sdružení architektů Fixel a Pech.
13. **PÖSCHL, David a Lukáš TÝFA.** *Simulační modely pěších proudů. Perner's Contacts. 2011, 6(1), 249 - 255. ISSN 1801-674X.*
14. Verification\_validation. *Pathfinder Thunderhead.* [Online] 2 2017. [Citace: 18. Květen 2018.] [https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2012/05/verification\\_validation\\_2017\\_2.pdf](https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2012/05/verification_validation_2017_2.pdf).
15. DATA.BRNO. [Online] [Citace: 17. Květen 2018.] <https://data.brno.cz/>.
16. **KOTLÍK, Kamil, Pavel SLEPIČKA a Pavel Landa.** *REGIONÁLNÍ ASPEKTY SPORTOVNÍHO DIVÁCTVÍ. Tělesná kultura. 2009, 2008(32(1), 56-72.*
17. SENSITIVITY ANALYSIS OF EVACUATION SIMULATIONS. RDO-JOURNAL. 2014, 2014(2), 22-26. [Online]



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Porovnání půdorysných rozměrů lidského těla dle Fruina (nahore) a Stilla (dole) [3].	12
Obrázek 2.2: Statická hustota osob při půdorysném zobrazení pro interval 1,0 – 5,0 osob.m <sup>-2</sup> [6].	13
Obrázek 2.3: Porovnání půdorysného a šikmého pohledu na stejnou hustotu osob.m <sup>-2</sup> [6].	14
Obrázek 2.4: Porovnání statické a dynamické hustoty při půdorysném zobrazení [6].	14
Obrázek 2.5: Přibližný vztah mezi rychlostí dopravního proudu osob a jejich hustotou [1].	15
Obrázek 2.6: Přibližný vztah mezi intenzitou dopravního proudu pohybujících se osob a jejich hustotou [1].	15
Obrázek 2.7: Porovnní fundamentálních diagramů dle různých autorů [7].	16
Obrázek 2.8: Závislost intenzity a hustoty s porovnáním rizika přetížení pro statickou a dynamickou skupinu osob a [6].	16
Obrázek 2.9: Vyobrazení progresivního davového kolapsu na tribuně [6].	19
Obrázek 2.10: Půdorysné zobrazení úrovně kvality pěší dopravy dle Fruina [10].	20
Obrázek 2.11: Srovnání úrovně kvality pěší dopravy dle Fruina pro různé typy komunikace [10].	21
Obrázek 2.12: Srovnání úrovně kvality pěší dopravy dle HCM, HBS a Fruina pro plochy a chodníky [1].	22
Obrázek 3.1: Lokalizace řešeného území v rámci města Brna.	23
Obrázek 3.2: Lokalizace řešeného území s vyznačením obvodu a stabilizovaných ploch.	24
Obrázek 3.3: Mapa ulic a ploch v okolí stadionu.	25
Obrázek 3.4: Mapa ulic v řešeném území.	26
Obrázek 3.5: Mapa zastávek MHD v řešeném území.	29
Obrázek 3.6: Mapa významných parkovacích ploch v řešeném území.	30
Obrázek 3.7: Mapa navrhovaného stavu území [12].	32
Obrázek 4.1: Makroskopický model nahlíží na pohyb chodců jako na celek. Na obrázku je vizualizace modelu v okolí bývalého Světového obchodního centra, barevně jsou odlišeny hustoty osob [1].	36
Obrázek 4.2: Model na základě celulárních automatů pracuje s diskretním rozdělením prostoru a času. Na obrázku je příklad evakuace z místnosti, barevně je oddělena lokální hustota [1].	36
Obrázek 4.3: Příklad simulace pohybu osob na principu celulárních automatů ve dvou po sobě následujících krocích [1].	37
Obrázek 4.4: Schéma postupu při modelování pohybu osob za použití modelovacích nástrojů [1].	42
Obrázek 5.1: Geometrie navrhovaného stavu.	44
Obrázek 5.2: Geometrie současného stavu.	45
Obrázek 5.3: Časový plán SSZ pro chodce na křižovatce Drobného × Pionýrská × Sportovní.	46
Obrázek 5.4: Věková struktura obyvatel Brna [15].	47
Obrázek 5.5: Dělbba přepravní práce pro město Brno [15].	50

Obrázek 5.6: Grafické znázornění celkových docházkových dob nulové varianty. ....	55
Obrázek 5.7: Grafické znázornění celkových docházkových dob navrhované varianty.....	57
Obrázek 5.8: Srovnání docházkových dob u 20 000 návštěvnosti navrhované a nulové varianty. ....	59
Obrázek 5.9: Srovnání docházkových dob u 20 000 návštěvnosti navrhované varianty s chodci a varianty pouze s návštěvníky. ....	59
Obrázek 5.10: Docházkové doby navrhované varianty na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum pro 5000 návštěvníků v rámci různých zdrojů rychlosti osob. ....	60
Obrázek 5.11: Docházkové doby navrhované varianty na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum pro 20 000 návštěvníků v rámci různých zdrojů rychlosti osob. ....	61
Obrázek 5.12: Časový průběh rychlost pohybu návštěvníka směřujícího na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum u varianty s 5000 návštěvníky. ....	61
Obrázek 5.13: Časový průběh rychlosti pohybu návštěvníka směřujícího na zastávku 1 Hrnčířská směr centrum u varianty s 20 000 návštěvníky. ....	62
Obrázek 5.14: Procentuální zdržení ve frontách u 5000 návštěvnosti u navrhované varianty....	62
Obrázek 5.15: Procentuální zdržení ve frontách u 20 000 návštěvnosti u navrhované varianty.	63
Obrázek 5.16: Zhoršená úroveň kvality pěší dopravy v okolí parkoviště Stadion.....	66
Obrázek 5.17: Úroveň kvality pěší dopravy v blízkosti křižovatky, čekání chodců ve vozovce.	66
Obrázek 5.18: Úroveň kvality pěší dopravy v blízkosti přechodu pro chodce přes ulici Sportovní. ....	67
Obrázek 5.19: Úroveň kvality pěší dopravy v okolí stadionu při vyšší návštěvnosti. ....	67
Obrázek 5.20: LOS navrhované varianty s 5000 návštěvníky – přechod pro chodce Sportovní.	68
Obrázek 5.21: Hodnocení úrovně kvality pěší dopravy před hotelem v rámci varianty s 20 000 návštěvníky. ....	68
Obrázek 5.22: Hustota před přechodem pro chodce přes ulici Sportovní v blízkosti hotelu. ....	69
Obrázek 5.23: Sřet dvou proudů směřujících opačnými směry s vyhodnocením úrovně kvality pěší dopravy v okolí křižovatky Drobného × Pionýrská × Sportovní. ....	69
Obrázek 5.24: Zvýšená koncentrace osob vedoucí k horší kvalitě pěší dopravy před vstupem na úzký chodník. ....	70

## 9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: Rozměry elipsy těla dle různých autorů [2].	12
Tabulka 2.2: Rozměry lidského těla dle pohlaví a národnosti dle Phaesanta [4].	12
Tabulka 2.3: Rychlost pohybu osob dle ČSN 73 0802 [9].	17
Tabulka 2.4: Rozdělení rychlosti osob v závislosti na pohlaví a věku dle Weidmanna [8].	17
Tabulka 2.5: Rozdělení rychlosti pohybu osob na schodišti v závislosti na pohlaví, věku a směru pohybu dle Fruina [10].	18
Tabulka 2.6: Hodnocení kvality pěší dopravy dle Fruina [10].	20
Tabulka 2.7: Kvalitativní popis kvality pěší dopravy [10].	21
Tabulka 2.8: Úrovně kvality pěší dopravy dle HBS a HCM [1].	22
Tabulka 4.1: Další nástroje pro modelování pohybu osob [1].	40
Tabulka 5.1: Stávající intervaly světelných signalizačních zařízení pro chodce.	46
Tabulka 5.2: Navrhované intervaly světelných signalizačních zařízení pro chodce.	46
Tabulka 5.3: Věková struktura obyvatel Brna.	47
Tabulka 5.4: Procentuální zastoupení návštěvníků dle pohlaví a věku.	48
Tabulka 5.5: Rychlost pohybu osob použitá v modelu.	48
Tabulka 5.6: Návštěvnost stadionu.	49
Tabulka 5.7: Zastoupení cílových směrů návštěvníků.	50
Tabulka 5.8: Zastoupení osob směřujících na parkovací plochy pro nulovou variantu.	51
Tabulka 5.9: Procentuální zastoupení osob směřujících na parkovací plochy.	52
Tabulka 5.10: Směry pohybu chodců v okolí stadionu.	53
Tabulka 5.11: Docházkové doby nulové varianty s 5000 a 12 000 návštěvníky.	54
Tabulka 5.12: Docházkové doby nulové varianty s 20 000 a 30 000 návštěvníky.	55
Tabulka 5.13: Docházkové doby navrhované varianty s 5000 a 12 000 návštěvníky.	56
Tabulka 5.14: Docházkové doby navrhované varianty s 20 000 a 30 000 návštěvníky.	57
Tabulka 5.15: Docházkové doby navrhované varianty.	58
Tabulka 5.16: Aritmetický průměr a směrodatná odchylka při zastoupení různé velikosti simulačního kroku pro navrhovanou variantu s 5000 návštěvníky.	64
Tabulka 5.17: Aritmetický průměr a směrodatná odchylka při náhodném rozdělení vstupních intenzit pro navrhovanou variantu s 5000 návštěvníky.	65

# 10 SEZNAM PŘÍLOH

## 1 CD

- 1.1 Nulová varianta s 20 000 návštěvníky v okolí křižovatky
- 1.2 Nulová varianta s 20 000 návštěvníky v okolí křižovatky, hustota
- 1.3 Nulová varianta s 20 000 návštěvníky v okolí křižovatky, LOS
- 1.4 Nulová varianta s 20 000 návštěvníky, ulice Drobného, LOS
- 1.5 Nulová varianta s 20 000 návštěvníky, ulice Sportovní, LOS
- 1.6 Navrhovaná varianta s 20 000 návštěvníky v okolí křižovatky
- 1.7 Navrhovaná varianta s 20 000 návštěvníky v okolí křižovatky, hustota
- 1.8 Navrhovaná varianta s 20 000 návštěvníky v okolí křižovatky, LOS
- 1.9 Navrhovaná varianta s 20 000 návštěvníky, ulice Drobného, LOS
- 1.10 Navrhovaná varianta s 20 000 návštěvníky, ulice Sportovní, LOS