

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA BANÍCTVA, EKOLOGIE, RIADENIA A GEOTECHNOLÓGIÍ

Simulácia dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou
dopravou

Michal WEISZER

BAKALÁRSKA PRÁCA

2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA BANÍCTVA, EKOLÓGIE, RIADENIA A
GEOTECHNOLÓGIÍ

Ústav logistiky priemyslu a dopravy

**Simulácia dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou
dopravou**

BAKALÁRSKA PRÁCA

Michal Weiszer

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Gabriel Fedorko, PhD.

Konzultant bakalárskej práce:

Ing. Peter Virdzek, PhD.

Košice 2008

Analytický list

Autor:	Michal Weiszer
Názov práce:	Simulácia dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou dopravou
Podnázov práce:	
Jazyk práce:	slovenský
Typ práce:	Bakalárska práca
Počet strán:	73
Akademický titul:	Bakalár
Univerzita:	Technická univerzita v Košiciach
Fakulta:	Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií (FBERG)
Katedra:	Ústav logistiky priemyslu a dopravy (ÚLPaD)
Študijný odbor:	Získavanie a spracovanie zemských zdrojov
Študijný program:	Riadenie dopravy surovín
Mesto:	Košice
Vedúci BP:	Ing. Gabriel Fedorko, PhD.
Konzultanti BP:	Ing. Peter Virdzek, PhD.
Dátum odovzdania:	28. marec 2008
Dátum obhajoby:	24.4. 2008
Kľúčové slová:	Simulácia, modelovanie, mestská hromadná doprava, prestup, čas premiestnenia
Kategória Konspekt:	Výpočtová technika; Počítačová veda. Výpočtová technika. Informačné technológie
Citovanie práce:	Weiszer, Michal: Simulácia dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou dopravou. Bakalárska práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, 2008. 73 s.
Názov práce v AJ:	Simulation of public transport service in urban area
Podnázov práce v AJ:	
Kľúčové slová v AJ:	Simulation, modelling, public transport, transfer, travel time

Abstrakt v SJ

Simulácia a modelovanie poskytujú široké možnosti uplatnenia pri skúmaní dopravných procesov. Jednou možnosťou aplikácie je porovnávanie rôznych alternatív dopravnej obsluhy určitého územia mestskou hromadnou dopravou. Alternatívy sa môžu líšiť rôznym počtom a smerovaním liniek, kapacitou vozidiel, intervalom spojov a pod. V tejto práci je prezentovaný návrh simulačného modelu dopravnej obsluhy Sídlička Ťahanovce. Predstavené sú viaceré návrhy riešenia, ktoré sú následne testované na vytvorenom modeli. Sledovaním hodnoty času premiestnenia počas simulácie je možné vybrať následne optimálne riešenie dopravnej obsluhy.

Abstrakt v AJ

Simulation and modelling techniques offer a wide range of possibilities within the study of transportation and transportation networks. Comparison of different alternatives of public transport service in urban area is one of the possible application of such techniques. Public transport alternatives may vary in number, routes of lines, capacity of vehicles etc. In this thesis construction of simulation model of public transport service in urban area is presented. Three scenarios are tested on the model and the final decision of optimal solution is based on simulation results of passengers travel time.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Fakulta:
Baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií

Vedecko-pedagogické pracovisko:
Ústav logistiky priemyslu a dopravy

akademický rok: 2007/2008

**ZADANIE
BAKALÁRSKEJ PRÁCE**

pre: Michala Weiszera

Odbor: Získavanie a spracovanie zemských zdrojov

Študijný program: Riadenie dopravy surovín

Vzhľadom k tomu, že ste splnili požiadavky učebného plánu, zadáva Vám dekan fakulty na návrh vedúceho vedecko-pedagogického pracoviska v zmysle zákona o VŠ č. 131/2002 Z.z. a Študijného poriadku TU § 15, ods. 3, túto tému záverečnej práce:

Simulácia dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou dopravou

POKYNY PRE VYPRACOVANIE

Osnova práce:

Úvod

1. Charakteristika simulácie, teória mestskej hromadnej dopravy a prepravných prieskumov
2. Analýza súčasného stavu dopravnej obsluhy územia Sídlička Tahanovce mestskou hromadnou dopravou
3. Návrh simulačného modelu dopravnej obsluhy riešeného územia
4. Návrh alternatív riešenia dopravnej obsluhy, vyhodnotenie a syntéza výsledkov získaných simuláciou

Záver

Rozsah laboratórnych a grafických prác:
podľa potreby

Rozsah záverečnej práce: odporúčaný počet strán 40 a viac

Zoznam odporúčanej literatúry:

- [1] Fedorko, Gabriel.: Simulačné jazyky 2, Edičné stredisko AMS FBERG, Košice, 2005, s. 73, ISBN 80-8073-276-1
- [2] Kušnierová, Jela, Hollarek, Tomáš.: Metódy modelovania a prognózovania prepravného a dopravného procesu, Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 2000, s. 166, ISBN 80-7100-673-4
- [3] Surovec, Pavel.: Tvorba systému mestskej hromadnej dopravy, Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 1998, s. 122, ISBN 80-7100-586-X

Vedúci záverečnej práce: Ing. Gabriel Fedorko, PhD.

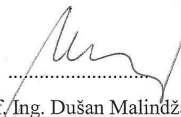
Konzultant: Ing. Peter Virdzek, PhD.

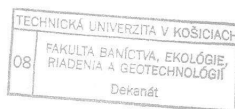
Dátum zadania záverečnej práce: 26.04.2007

Dátum odovzdania záverečnej práce: 28.03.2008

V Košiciach, dňa 30.11.2007


prof. Ing. Gabriel Weiss, PhD.
dekan fakulty


prof. Ing. Dušan Malindžák, CSc.
vedúci vedecko-pedagogického
pracoviska



Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 28. marec 2008

.....

vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Rád by som vyslovil pod'akovanie vedúcemu bakalárskej práce Ing. Gabrielovi Fedorkovi, PhD. za cenné pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovaní práce.

Moja vd'aka patrí taktiež konzultantovi Ing. Petrovi Virdzekovi, PhD. za ochotu a rady počas konzultovania technických detailov bakalárskej práce.

Predhovor

V posledných rokoch došlo k zmene del'by prepravnej práce oproti minulým obdobiam, pričom najvýraznejší nárast podielu zaznamenala individuálna automobilová doprava najmä na úkor verejnej dopravy. V záujme efektívneho fungovania dopravného systému a taktiež pri sledovaní ekologického hľadiska je potrebné prepravné požiadavky rovnomerne rozdeliť medzi jednotlivé druhy dopravy. Ako odpoveď na túto výzvu vznikajú mnohé projekty u nás aj v zahraničí podporujúce a rozvíjajúce verejnú hromadnú osobnú dopravu. Najmä v mestách môže byť mestská hromadná doprava účinným nástrojom proti narastajúcemu individuálnemu automobilizmu.

Európska únia a miestne samosprávy si čoraz viac uvedomujú potrebu investícií do verejnej dopravy. Príkladom je výstavba novej dopravnej infraštruktúry, vytváranie integrovaných dopravných systémov, zvyšovanie kvality verejnej dopravy a pod. V súčasnom období je pripravovaný projekt Košického regionálneho integrovaného dopravného systému (KORID), súčasťou ktorého je plánovaná výstavba novej električkovej trate na Sídliisko Ťahanovce.

V súvislosti s výstavbou infraštruktúry sa vynára otázka budúceho usporiadania dopravnej obsluhy mestskou hromadnou dopravou. Snahou je vytvoriť systém liniek a zvoliť také parametre ich prevádzky, aby celkový návrh najlepšie vyhovoval definovaným kritériám.

Zámerom bakalárskej práce je navrhnuť model dopravnej obsluhy územia košického Sídliiska Ťahanovce mestskou hromadnou dopravou pomocou simulačných techník. Model následne umožní testovanie a výber alternatív dopravnej obslužnosti.

Aplikácia simulácie a modelovania v problematike tvorby systému mestskej hromadnej dopravy odstráni subjektívnosť v rozhodovaní, umožní lepšie skúmanie všetkých aspektov jednotlivých návrhov a v konečnom dôsledku prispeje k zvýšeniu kvality mestskej hromadnej dopravy ako celku.

Obsah

Zoznam obrázkov.....	11
Zoznam tabuliek.....	13
Zoznam symbolov a skratiek	14
Úvod	15
1 Teoretický rozbor a základné pojmy	17
1.1 Charakteristika modelovania a simulácie	17
1.1.1 Klasifikácia simulácie	17
1.1.2 Význam a fázy simulácie.....	18
1.1.3 Charakteristika simulačného prostredia	20
1.2 Teória mestskej hromadnej dopravy	22
1.2.1 Prepravná špička	23
1.2.2 Výmena cestujúcich	25
1.2.3 Čas prepravy a premiestnenia	25
1.2.4 Kapacita vozidiel.....	30
1.2.5 Interval dopravy	31
1.3 Dopravné prieskumy a prognózovanie	32
2 Analýza dopravnej obsluhy riešeného územia.....	36
2.1 Analýza mestskej hromadnej dopravy.....	36
2.1.1 Analýza poskytovaných prepravných kapacít	38
2.1.2 Profilový prieskum MHD	40
2.1.3 Analýza smerovania prepravných prúdov	44
2.1.4 Analýza časovej dostupnosti cieľov premiestnenia	45
2.2 Projekt KORID.....	46
3 Simulačný model.....	48
3.1 Konceptia simulačného modelu	48
3.1.1 Modelové premenné a parametre.....	50
3.2 Základné hierarchické bloky	51
3.2.1 Hierarchický blok „Spoje“.....	51
3.2.2 Hierarchický blok „Nástupná zastávka“	52
3.2.3 Hierarchický blok „Úsek medzi zastávkami“	56
3.2.4 Hierarchický blok „Prestupná zastávka“	57

3.2.5 Hierarchický blok „Konečná zastávka“	58
4 Návrhy riešenia	60
4.1 Nulový variant.....	61
4.2 Návrh č. 1.....	62
4.3 Návrh č. 2.....	63
4.4 Návrh č. 3.....	64
4.5 Zhodnotenie návrhov.....	66
4.6 Výber riešenia	68
5 Záver	70
Zoznam použitej literatúry	71
Prílohy.....	73

Zoznam obrázkov

Obr. 1	Relatívna početnosť ciest uvedená ako percento celodennej hodnoty v počte prepravených osôb za hodinu v priebehu pracovného dňa v MHD [8].....	24
Obr. 2	Pentlogram priebehu intenzity prepravného prúdu na linke MHD	24
Obr. 3	Priemerný čas čakania na spoj cestujúcich bez znalosti cestovného poriadku [7]	27
Obr. 4	Priemerný čas čakania na spoj cestujúcich so znalosťou cestovného poriadku [7]	28
Obr. 5	Závislosť prepravnej kapacity na intervale dopravy [7]	31
Obr. 6	Schéma siete MHD	37
Obr. 7	Priebeh prepravnej kapacity denných liniek.....	40
Obr. 8	Priebeh obsadenosti a kapacity.....	41
Obr. 9	Využitie ponúkanej kapacity	42
Obr. 10	Prepravné kapacity a intenzita prepravného prúdu počas špičkovej hodiny.....	44
Obr. 11	Podiel vystupujúcich osôb k celkovému počtu cestujúcich pripadajúci na jednotlivé zastávky	45
Obr. 12	Trať Nám. Maratónu mieru - Sídliisko Ťahanovce	47
Obr. 13	Základná koncepcia simulačného modelu.....	48
Obr. 14	Prestup medzi linkami.....	48
Obr. 15	Základné hierarchické bloky simulačného modelu	49
Obr. 16	Bloková schéma hierarchického bloku "Spoje"	52
Obr. 17	Bloková schéma hierarchického bloku "Nástupná zastávka", vetva „Čakanie cestujúcich na spoj“	53
Obr. 18	Bloková schéma hierarchického bloku "Nástupná zastávka", vetva "Nástup cestujúcich"	55
Obr. 19	Bloková schéma hierarchického bloku "Úsek medzi zastávkami".....	56
Obr. 20	Bloková schéma hierarchického bloku "Prestupná zastávka".....	57
Obr. 21	Bloková schéma hierarchického bloku "Prestupná zastávka" - vetva "Prestup"	58
Obr. 22	Bloková schéma hierarchického bloku "Konečná zastávka"	59
Obr. 23	Trasa návrhu č. 1.....	62
Obr. 24	Trasy liniek návrhu č. 2.....	64
Obr. 25	Trasy liniek návrhu č. 3.....	65
Obr. 26	Porovnanie hodnôt celkového času premiestnenia pre jednotlivé návrhy	66

Obr. 27	Podiel hodnoty celkového času premiestnenia jednotlivých návrhov k nulovému variantu	67
Obr. 28	Podiel času prestupu na celkovom čase premiestnenia pre jednotlivé návrhy.....	67
Obr. 29	Počty a podiel priamych a prestupujúcich cestujúcich pre jednotlivé návrhy.....	68

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Zoznam knižníc programu Extend a ich charakteristika.....	21
Tab. 2	Maximálne prepravné kapacity u jednotlivých subsystémov MHD.....	31
Tab. 3	Matica vzťahov D_{ij}	34
Tab. 4	Rozdelenie liniek MHD	36
Tab. 5	Intervaly denných liniek počas pracovného dňa.....	38
Tab. 6	Typy vozidiel a ich obsaditeľnosť	39
Tab. 7	Výsledky profilového prieskumu MHD.....	41
Tab. 8	Smerovanie liniek, obsadenie a kapacity počas špičkovej hodiny	43
Tab. 9	Priemerné časy jazdy na vybrané zastávky	46
Tab. 10	Názvy atribútov dynamických prvkov modelu	52
Tab. 11	Pravdepodobnosť príchodu cestujúceho v čase t	54
Tab. 12	Hodnoty zdržania na úsekoch trate Sídliisko Ťahanovce - Nám. Maratónu mieru	56
Tab. 13	Počet cestujúcich smerujúcich na i -tú zastávku	60
Tab. 14	Ponúkané kapacity návrhu č. 1	62
Tab. 15	Prestupné zastávky	63
Tab. 16	Ponúkané kapacity návrhu č. 2	64
Tab. 17	Ponúkané kapacity návrhu č. 3	65
Tab. 18	Hodnoty celkového času premiestnenia pre jednotlivé návrhy	66
Tab. 19	Počet priamych a prestupujúcich cestujúcich pre jednotlivé návrhy	68
Tab. 20	Váhy kritérií.....	69
Tab. 21	Hodnotenie návrhov podľa kritérií	69

Zoznam symbolov a skratiek

MHD **m**estská **h**romadná **d**oprava

KORID **K**ošická **o**sobná **r**egionálna **i**ntegrovaná **d**oprava

min **minúta**, časová jednotka

hod. **hodina**, časová jednotka, 60 minút

Úvod

Prenikanie informačných technológií a ich aplikácia do všetkých vedných odborov je jedným z trendov v súčasnosti. Oblasť dopravy nie je výnimkou. Vzniká tak jedinečná príležitosť ako využiť prínosy vyplývajúce z použitia výpočtovej techniky vo všetkých fázach dopravného procesu.

Simulácia a modelovanie poskytujú široké možnosti uplatnenia pri skúmaní dopravných procesov a dopravných sietí. Testovanie simulačných modelov a výsledky takto získané umožňujú nahradiť heuristické, približné metódy riešenia exaktnými metódami. Jednou z možností aplikácie je porovnávanie rôznych alternatív dopravnej obsluhy určitého územia mestskou hromadnou dopravou. Alternatívy sa môžu líšiť rôznym počtom a smerovaním liniek, kapacitou vozidiel, intervalom spojov a pod. Sledovaním hodnoty zvolenej účelovej funkcie je možné vybrať následne optimálne riešenie dopravnej obsluhy.

Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť model dopravnej obsluhy územia košického Sídlika Ťahanovce mestskou hromadnou dopravou v náväznosti na projektovaný Košický regionálny integrovaný dopravný systém (KORID) v simulačnom prostriedku *Extend*. Model je určený na testovanie a porovnávanie navrhnutých alternatív dopravnej obsluhy. Zámerom je navrhnúť takú koncepciu a štruktúru modelu, ktorá umožní testovanie návrhov a v prípade potreby jednoduchú zmenu parametrov návrhu, prípadne vyvíjanie nových alternatív. Základom pre výber optimálneho riešenia je sledovanie hodnoty celkového času premiestnenia, ako aj výsledky týkajúce sa prestupu cestujúcich. Podkladom pre vytvorenie alternatív a modelových parametrov sú výstupy z analýzy súčasného stavu dopravnej obsluhy riešeného územia.

Prvá kapitola obsahuje teoretické znalosti z oblasti simulácie, teórie hromadnej prepravy osôb, a taktiež definovanie metód a postupov použitých v riešení.

Druhá kapitola analyzuje súčasný stav dopravnej obsluhy mestskou hromadnou dopravou na Sídlisku Ťahanovce, prezentuje výstupy vykonaných prieskumov a objasňuje plánované zámery v oblasti dopravnej infraštruktúry.

Náplňou tretej kapitoly je detailný popis návrhu simulačného modelu, jeho koncepcie, vnútorných väzieb a parametrov. Štruktúra modelu pozostáva z jednotlivých hierarchických úrovní (hierarchických blokov), ktoré odrážajú logické zoskupenie prvkov podľa vykonávanej funkcie.

Jednotlivé návrhy dopravnej obsluhy sú analyzované v štvrtej kapitole, vrátane výsledkov simulácie. Obsahom kapitoly je aj zhodnotenie výstupov zo simulácie a následný výber optimálneho riešenia na základe definovaných kritérií.

1 Teoretický rozbor a základné pojmy

Teoretický rozbor definuje základné pojmy a postupy z oblasti:

- simulácie,
- teórie mestskej hromadnej dopravy.

1.1 Charakteristika modelovania a simulácie

Podstatou modelovania v zmysle výskumnej techniky je náhrada skúmaného systému (originálu) jeho modelujúcim systémom (modelom), s cieľom získať pomocou pokusov (experimentov) s modelom informácie o origináli [1].

Pod pojmom systém sa rozumie účelovo definovaný celok komponentov (prvkov, entít systému), medzi ktorými existujú určité vzťahy [2]. Systém obsahuje určitú abstrakciu reality, ktorá zanedbáva niektoré aspekty, ktoré nie sú z pohľadu konkrétneho typu skúmania dôležité. Okolím systému sa nazývajú tie objekty, ktoré nepatria do systému (neboli vybraté na skúmanie), ale na systém vplývajú. Komponenty tvoriace systém predstavujú na určitej úrovni systému ďalej nedeliteľný celok.

1.1.1 Klasifikácia simulácie

Systémy, ktorých stav sa mení v závislosti od funkcie času sa nazývajú dynamické.

Simulácia je potom definovaná ako výskumná technika, ktorej podstatou je náhrada skúmaného dynamického systému (originálu) jeho simulujúcim systémom (simulačným modelom), s ktorým sa experimentuje s cieľom získať informácie o pôvodnom skúmanom dynamickom systéme [1]. Podľa spôsobu akým premenné skúmaného systému menia svoje hodnoty v čase je možné rozdeliť simuláciu na:

- diskretnú,
- spojitú,
- kombinovanú (diskrétno-spojitú).

V diskkrétnej simulácii premenné menia svoje hodnoty diskrétno v určitých časových okamihoch. Spojitá simulácia je charakteristická spojitou zmenou hodnôt premenných od začiatku do konca sledovaného intervalu simulácie [3].

Podľa vlastností správania sa systému sa simulácia delí na:

- deterministickú,
- stochastickú.

V prípade deterministických systémov je možné hodnoty ich stavových a výstupných premenných určiť v každom časovom okamihu s istotou a pri rovnakých počiatočných podmienkach výsledkom simulácie sú vždy rovnaké hodnoty. Naproti tomu stochastické systémy sa správajú náhodne a určenie hodnôt stavových a výstupných premenných je aj za tých istých počiatočných podmienok známe len s určitou pravdepodobnosťou [3].

1.1.2 Význam a fázy simulácie

Metóda simulácie neponúka automaticky optimálne riešenie, ale na základe vykonaných experimentov umožňuje nájsť „rozumné“ suboptimálne riešenie daného problému [1]. Vhodnosť použitia simulácie ako výskumnej techniky sa líši od konkrétneho problému, vo všeobecnosti však simulácia nachádza uplatnenie v prípadoch keď:

- povaha skutočného systému neumožňuje priame skúmanie,
- je potrebné skúmať viaceré varianty (konfiguráciu) skúmaného systému,
- matematický model nie je schopný dostatočne popísať daný systém,
- objekt, ktorý je potrebné skúmať v skutočnej prevádzke neexistuje,
- experimenty so skutočným systémom sú spojené s rizikom (zdravotné, možnosť vzniku poruchy, ekonomické),
- zmeny stavových veličín sa uskutočňujú za veľmi dlhé resp. krátke obdobie.

Simulačný projekt je možné členiť do niekoľkých základných fáz:

1. Formulácia problému a vymedzenie skúmaného objektu

Na začiatku projektu sa formulujú základné problémy, ktorých vyriešenie má byť uskutočnené pomocou simulácie. Na reálnom objekte, ku ktorému sa uvedené problémy vzťahujú, sa vymedzí objekt skúmania, na ktorý bude v priebehu celého projektu sústredená pozornosť.

2. Stanovenie konkrétnych cieľov

Ciele projektu navodzujú otázky, ktoré majú byť riešením projektu zodpovedané.

3.Vymedzenie systému

Na objekt skúmania sa uplatní abstrakcia, vymedzí sa skúmaný systém, ktorý zohľadňuje tie prvky objektu skúmania a ich vlastnosti, ktoré sú dôležité pre riešenie problémov v súlade s cieľom.

4.Vytvorenie konceptuálneho modelu

Špecifikuje základné funkčné a riadiace časti budúceho simulačného modelu zatiaľ bez nutnosti definovať ich detaily.

5.Zber a analýza dát potrebných pre simulačný model

6.Implementácia simulačného modelu

Zahŕňa navrhovanie riadiacich, výkonných a dátových komponentov simulačného modelu už v konkrétnom simulačnom prostredí resp. simulačnom jazyku. Môže to byť univerzálny jazyk napr. Pascal, C++, alebo niektorý z blokovo orientovaných simulačných jazykov napr. GPSS, SIMAN, resp. niektorý z ikonických jazykov, SIMFACTORY, EXTEND, ktoré obsahujú nástroje uľahčujúce tvorbu simulačného programu. Posledne menované navyše nevyžadujú žiadne, resp. minimálne znalosti programovania.

7.Verifikácia modelu

Overenie správnosti sa deje porovnávaním priebehu simulácie resp. simulačného výpočtu s aktuálnou predstavou vyjadrenou v konceptuálnom modeli, teda, či je model funkčne správny.

8.Validácia modelu

Predstavuje otestovanie pravdivosti (vierohodnosti), skúmanie, či model odráža objekt skúmania na takej úrovni presnosti, ktorá bola zadaná v cieľoch simulácie.

9.Vykonanie simulačných experimentov

Výsledky simulačných experimentov sú spracované a analyzované. Prípadne je prijaté rozhodnutie o ďalších experimentoch, ktorých cieľom je nájsť riešenie problémov, ktoré sú predmetom projektu.

10.Vyhodnotenie simulácie

Na základe vykonaných experimentov a ich výsledkov sa predloží odporúčané riešenie problémov spojených s objektom skúmania [1].

1.1.3 Charakteristika simulačného prostredia

Program „*Extend*“ bol vybratý ako vhodné simulačné prostredie pre vytvorenie modelu. V súčasnosti je jedným z popredných počítačových simulačných nástrojov a je prvým nástrojom určeným pre používateľov z rôznych vedných odborov, ktorý okrem realizovania širokej škály simulácií ponúka aj širokú možnosť vývoja vlastných knižníc a blokov. Program je produktom spoločnosti „Imagine That, Inc.“ a bol vyvinutý v spolupráci s „National Aeronautics And Space Administration (NASA)“.

Pomocou tohto programu môžeme vytvárať dynamické modely skutočných procesov v rôznych oblastiach. Tvorba modelov z vytvorených blokov umožňuje skúmať zložité procesy, vidieť ako spolu navzájom súvisia a nakoniec zmenou ich parametrov nájsť optimálne riešenie. Umožňuje jednoduché a rýchle zhotovenie zložitých modelov rôznych systémov, procesov a zariadení.

V programe môžeme vytvárať blokové schémy procesov a zariadení, kde každý blok popisuje časť procesu alebo zariadenia. Zhotovenie modelov umožňuje existencia knižníc s celým radom hotových blokov, ktoré môže tvorca modelu využiť.

Jednotlivé bloky sa navzájom spájajú jednoducho, pomocou prepojovania ich vstupov a výstupov. Takto pospájané bloky sa môžu ďalej zoskupovať kvôli jednoduchosti a prehľadnosti do hierarchických blokov.

Okrem toho „*Extend*“ ďalej ponúka:

- animáciu vytvorených modelov pre sprehľadnenie prezentácie,
- grafické znázornenie vzťahov v modelovanom systéme,
- neohraničený počet hierarchických úrovní v simulačných modeloch,
- rýchlu a jednoduchú zmenu parametrov modelu,
- možnosť zmeny parametrov aj počas simulácie,
- prepojenie s inými programami ako Excel, Autocad,
- vytváranie vlastných knižníc, blokov, alebo úpravu už existujúcich,
- možnosť konzultácie pri vytváraní modelu s autormi programu, alebo ďalšími špecialistami na program, prípadne odborníkmi zaoberajúcimi sa matematickou simuláciou a matematickým modelovaním.

Základný programový balík Extendu obsahuje sadu 17 knižníc pre vytváranie najrozličnejších modelov. V knižniciach sa nachádzajú bloky, ktoré boli vyvinuté nielen firmou „Imagine that Inc.“, ale aj jednotlivými používateľmi Extend – u pri vytváraní niektorých špecifických simulácií [4]. Zoznam knižníc v „Extend – e“ a ich stručná charakteristika je uvedená v tabuľke (Tab. 1).

Tab. 1 Zoznam knižníc programu Extend a ich charakteristika

Názov knižnice	Charakteristika
Animate	knižnica s blokmi pre pridávanie vlastných animácií k modelom alebo hierarchickým blokom
Control	knižnica obsahuje bloky pre signalizovanie chýb a sčítavanie vstupov
Custom	knižnica obsahuje špecifické bloky, vytvorené rôznymi užívateľmi
DE	knižnica obsahuje bloky pre tvorbu diskretných modelov
Digital	obsahom knižnice sú bloky pre simuláciu činnosti rôznych digitálnych zariadení
DLLXCMD	knižnica s 2 blokmi – XCMD/DLL Executer a XCMD/DLL Sort Block
Electron	obsahuje bloky pre simuláciu elektronických systémov (analogových alebo digitálnych), systémov spracovania signálov a radiacích systémov
Filter	v knižnici sú obsiahnuté bloky pre filtrovanie dát v priebehu simulácie
Generic	obsahuje bloky pre simuláciu spojitých modelov
IPC	knižnica s blokmi pre prepojenie modelov s inými aplikáciami programových balíkov (MS Office a pod.)
ModLTips	knižnica obsahuje bloky pre prácu s poľami a maticami
MYO_DE	obsahuje 1 blok, pre tvorbu vlastných diskretných blokov
Orbit	knižnica blokov pre simuláciu pohybu vesmírnych telies
Plotter	obsahom knižnice sú bloky reprezentujúce rôzne typy grafov
Proof	obsahom knižnice sú bloky využívané pri tvorbe animácií
Utils	knižnica obsahuje kolekciu pomocných blokov, ktoré sa dajú využiť v rôznych modeloch

Prameň: [4]

1.2 Teória mestskej hromadnej dopravy

Mestská hromadná doprava (MHD) je charakterizovaná ako preprava veľkého množstva osôb na krátke vzdialenosti. Je prevádzkovaná na území mesta (itravilánu) a zabezpečuje prepravu osôb verejnými hromadnými dopravnými prostriedkami [5]. Tvorí samostatný dopravný a prepravný systém, ktorý je v koordinácii a integrácii s inými systémami osobnej dopravy a tiež v koordinácii celej dopravnej sústavy mesta [6]. Vyznačuje sa základnými charakteristikami:

- veľký počet prepravených osôb,
- veľká intenzita prepravného prúdu,
- výrazná časová nerovnomernosť intenzity prepravného prúdu,
- relatívne malá cestovná rýchlosť,
- relatívne veľký podiel času pobytu mimo vozidla z celkového času premiestnenia (čas chôdze na zastávku, čas čakania na spoj, čas prestupov),
- častá a svojim rozsahom veľká výmena cestujúcich v priebehu jedného spoja,
- malá priemerná prepravná vzdialenosť,
- veľká prepravná kapacita,
- pravidelná prepravná príležitosť (intervalová doprava), daná počtom spojov v danom časovom úseku dňa,
- sústava pevne stanovených liniek, ktorá tvorí dopravnú sieť MHD s veľkou hustotou,
- malá priemerná vzdialenosť medzi zastávkami MHD,
- malá priemerná dochádzková vzdialenosť k najbližšej zastávke MHD,
- dobrá priestorová a časová dostupnosť zdrojov a cieľov premiestnení.

Systém MHD je možné členiť na jednotlivé subsystemy, ktoré sa líšia druhom používanej jazdnej dráhy, svojou maximálnou kapacitou, ekonomickými charakteristikami:

- autobusy,
- trolejbusy,
- električky,

- rýchlodrážne systémy,
- nekonvenčné systémy [7].

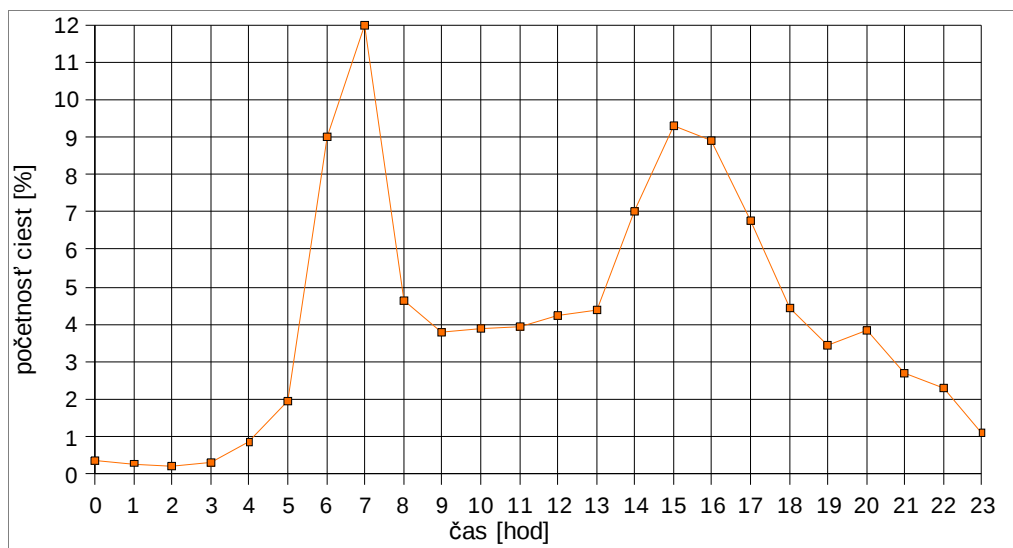
V rámci jedného mesta sa môže použiť viac subsystémov MHD a to najmä vo veľkých mestách, kde výkonnejšie subsystémy (koľajové) sa využívajú ako nosné, menej výkonné (nekoľajové) ako doplnkové [5].

1.2.1 Prepravná špička

Hromadná doprava osôb má svoj najväčší výkon v čase prepravy osôb do zamestnania a do škôl a to vzhľadom k začiatkom a koncom zmien a vyučovania vytvára predpoklady časovej nerovnomernosti dopytu po preprave a tým vzniku prepravnej špičky.

Prepravnú špičku je teda možné definovať ako časový úsek, v ktorom je intenzita prepravného prúdu väčšia ako priemer sledovaného obdobia [7]. Intenzitou prepravného prúdu sa označuje počet osôb, ktoré sú prepravované v dopravných prostriedkoch za hodinu cez profil komunikácie v jednom prepravnom smere [8]. Z priebehu prepravnej špičky je zrejmé, že ranná špička sa vyznačuje kratším trvaním a vyššou intenzitou v porovnaní s popoludňajšou špičkou, ktorá dosahuje menšie intenzity a trvá dlhšie. Úsek mimo prepravnej špičky sa nazýva prepravné sedlo (Obr. 1).

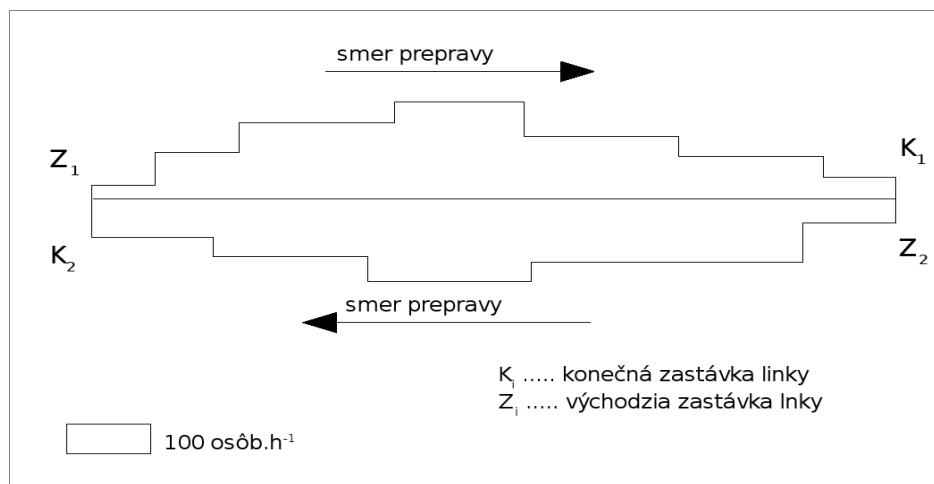
Menšia intenzita popoludňajšej špičky je spôsobená tým, že časť cestujúcich sa nevracia po skončení pracovnej doby z pracoviska do miesta bydliska, ale cestuje za svojimi súkromnými záujmami. Príčinou je taktiež rozdielny čas ukončenia pracovnej doby na rôznych pracoviskách a času vyučovania.



Obr. 1 Relatívna početnosť ciest uvedená ako percento celodennej hodnoty v počte prepravených osôb za hodinu v priebehu pracovného dňa v MHD [8]

Dôsledkom prepravnej špičky sú mimoriadne veľké nároky na prepravnú kapacitu a tým na počet dopravných prostriedkov, pracovníkov a pod. Tieto zdroje sú potom v čase mimo prepravnú špičku nedostatočne využívané. Toto obdobie je teda limitujúcim pri stanovení kapacity hromadnej osobnej dopravy [8].

Okrem časovej nerovnomernosti intenzity prepravného prúdu v priebehu pracovného dňa je možné zaznamenať na konkrétnej linke v rôznych profiloch trate rozdielnú intenzitu prepravného prúdu. Priebeh prepravného prúdu je možné znázorniť graficky pomocou pentlogramu (Obr. 2).



Obr. 2 Pentlogram priebehu intenzity prepravného prúdu na linke MHD

1.2.2 Výmena cestujúcich

V pravidelnej hromadnej osobnej doprave dochádza, v závislosti na prepravnom charaktere linky, k častej a svojím rozsahom k veľkej výmene cestujúcich v priebehu jedného spoja. Na každej zastávke daného spoja, na ktorej je umožnený nástup a výstup cestujúcich, dochádza k zmenám v obsadenosti vozidla. Počet prepravených osôb zistený na jednom spoji môže byť aj niekoľkonásobne väčší ako je hodnota obsaditeľnosti vozidla, ktoré tento spoj vykonáva. Rozsah výmeny cestujúcich sa hodnotí súčiniteľom výmeny cestujúcich:

$$\eta_v = \frac{{}^1O_c}{K \cdot \chi} \quad (1)$$

Kde:

η_v – súčiniteľ výmeny cestujúcich	[-],
1O_c – celkový počet prepravených osôb na jednom spoji	[osoba],
K – kapacita vozidla daná normálnou obsaditeľnosťou vozidla	[miesto],
χ – súčiniteľ využitia kapacity	[-].

Uvedený súčiniteľ charakterizuje prepravné pomery na linke. Obrazne udáva, koľkokrát sa v priebehu jedného spoja vymení nástupom a výstupom celé obsadenie vozidla [8]. V podmienkach MHD dosahuje súčiniteľ výmeny cestujúcich hodnoty $\eta_v = 3,0$ a vyššie.

1.2.3 Čas prepravy a premiestnenia

V mestskej hromadnej doprave hodnotia cestujúci nielen dobu prepravy ale aj dobu celkového premiestnenia zo zdroja do cieľa premiestnenia. Je možné konštatovať, že nedostatočné plnenie kritéria času premiestnenia v ktorejkoľvek jeho zložke pôsobí negatívne na celkové hodnotenie kvality dopravy [6]. Čas premiestnenia je definovaný ako súčet času chôdze na zastávku a zo zastávky, času čakania na spoj, času pobytu vo vozidle a času potrebného na prípadný prestup.

$$t_p = t_1 + t_c + t_{dp} + t_{pre} + t_2 \quad (2)$$

Kde:

t_p – čas premiestnenia	[min],
---------------------------	--------

t_1 – čas chôdze od zdroja premiestnenia k zastávke hromadnej osobnej dopravy	[min],
t_{ξ} – čas čakania na spoj	[min],
t_{dp} – čas pobytu v dopravnom prostriedku, čas prepravy	[min],
t_{pre} – čas prestupu	[min],
t_2 – čas chôdze od zastávky k cieľu premiestnenia	[min].

Relatívne malá cestovná rýchlosť v MHD je charakteristickým znakom v porovnaní s ostatnými druhmi dopravy. Cestovná rýchlosť ovplyvňuje čas pobytu vo vozidle a čas premiestnenia zo zdroja do cieľa premiestnenia [8]. Ďalším charakteristickým znakom hromadnej osobnej dopravy je relatívne veľký podiel času pobytu mimo vozidla (čas čakania, čas chôdze, prestup) k celkovému času premiestnenia [7].

Čas chôdze cestujúceho k najbližšej zastávke odpovedá strednej dĺžke chôdze cestujúceho k najbližšej zastávke a rýchlosti chôdze:

$$t_i = \frac{l_{cest}}{v_{ch}} \cdot 60 \quad (3)$$

Kde:

t_i – čas chôdze k zastávke ($i=1$) alebo od zastávky ($i=2$) k cieľu cesty	[min],
l_{cest} – stredná dĺžka chôdze cestujúceho k najbližšej zastávke	[km],
v_{ch} – rýchlosť chôdze (uvádza sa v rozmedzí 4,0 až 4,4)	[km.h ⁻¹].

Stredná dĺžka chôdze cestujúceho k najbližšej zastávke závisí od hustoty dopravnej siete a priemernej vzdialenosti medzi zastávkami [6].

Čas čakania na spoj je čas meraný od príchodu cestujúceho na zastávku hromadnej osobnej dopravy po odjazd dopravného prostriedku požadovaného spoja. Priemerný čas čakania na spoj závisí na rozdelení času príchodu cestujúceho na zastávku a na pravidelnosti, spoľahlivosti a presnosti dopravy. Pokiaľ cestujúci prichádzajú na zastávku nezávisle na cestovnom poriadku, teda bez znalosti odchodov spojov na danej linke, prichádzajú náhodne. Táto situácia nastáva aj v prípade, kedy nie sú cestovným poriadkom stanovené odchody ale iba linkový interval dopravy. Za predpokladu

pravidelnej a presnej dopravy je priemerný čas čakania na spoj rovný polovici intervalu dopravy. Pri nepravidelnej a nepresnej doprave je tento čas väčší ako polovica intervalu dopravy.

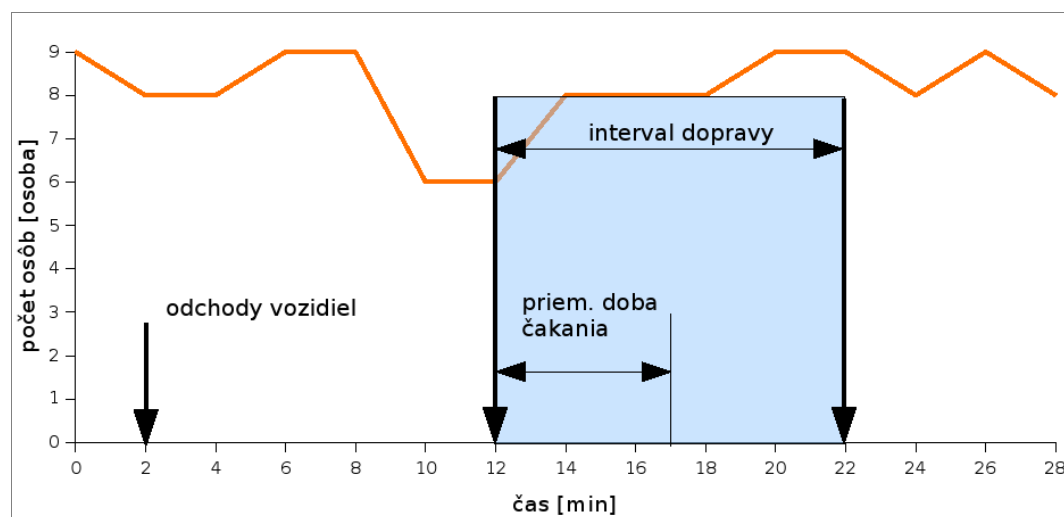
$$\bar{t}_c = \frac{i}{2}(1 + V_k^2) \quad (4)$$

Kde:

$\bar{t}_c$ – priemerný čas čakania na spoj [min],

i – plánovaný interval dopravy (daný cestovným poriadkom) [min],

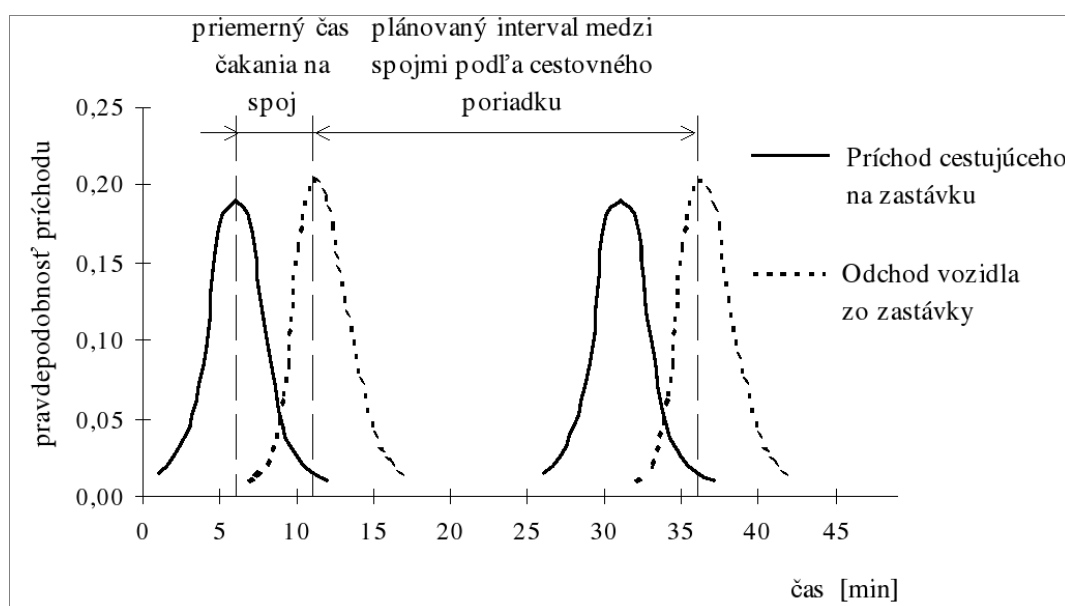
V_k – variačný koeficient intervalu dopravy daný pomerom smerodajnej odchýlky skutočných intervalov dopravy a plánovaného intervalu dopravy [-].



Obr. 3 Priemerný čas čakania na spoj cestujúcich bez znalosti cestovného poriadku [7]

Je možné predpokladať, že pri určitých okolnostiach, akými sú znalosť cestovného poriadku, pravidelná a presná doprava, cestujúci s cieľom znížiť čas čakania na spoj prispôbujú čas svojho príchodu na zastávku odchodu požadovaného spoja.

Pravdepodobnosť príchodu cestujúceho na zastávku hromadnej osobnej dopravy pri znalosti cestovného poriadku má nesymetrické diskkrétne rozdelenie v intervale dopravy, ktoré zodpovedá subjektívnemu správaniu sa cestujúcich [6].



Obr. 4 Priemerný čas čakania na spoj cestujúcich so znalosťou cestovného poriadku [7]

Čas pobytu v dopravnom prostriedku (čas prepravy) závisí od cestovnej rýchlosti a prepravnej vzdialenosti cestujúceho na linke hromadnej dopravy. Tento čas je ovplyvnený dodržiavaním cestovného poriadku. Vypočíta sa ako podiel ubehnutej dráhy a cestovnej rýchlosti:

$$t_{dp} = \frac{l_z}{V_c} \cdot 60 \quad (5)$$

Kde:

t_{dp} – čas pobytu v dopravnom prostriedku [min],
 l_z – prepravná vzdialenosť alebo prevádzková dĺžka linky [km],
 V_c – cestovná rýchlosť [km.h⁻¹].

Čas pobytu v dopravnom prostriedku (čas prepravy) je súčtom času jazdy a celkového času zdržania v súvislosti so zastavením na zastávkach linky:

$$t_{dp} = t_j + n_z \cdot t_z \quad (6)$$

Kde:

t_{dp} – čas pobytu v dopravnom prostriedku [min],
 t_j – čas jazdy na danej ubehnutej dráhe [min],
 n_z – počet zastávok na danej dráhe [-],

t_z – čas zastávky, t.j. čas zdržania v súvislosti so zastavením na zastávke [min].

Čas prestupu je súčtom času chôdze pri prestupe medzi výstupnou a nástupnou zastávkou liniek, medzi ktorými dochádza k prestupu a času čakania na následný spoj. Čas chôdze závisí od vzdialenosti zastávok prestupu a rýchlosti chôdze.

Dobrá časová a priestorová koordinácia v dopravnom systéme je predpokladom minimálneho času prestupu. Čas prestupu je ovplyvnený dodržiavaním cestovného poriadku, t.j. pravidelnosťou, spoľahlivosťou a presnosťou dopravy [8].

$$t_{pre} = \frac{l_{cest}}{v_{ch}} \cdot 60 + t_{cp} \quad (7)$$

Kde:

t_{pre} – čas prestupu	[min],
l_{cest} – vzdialenosť medzi prestupnými zastávkami	[km],
v_{ch} – rýchlosť chôdze (uvádza sa v rozmedzí 4,0 až 4,4)	[km.h ⁻¹],
t_{cp} – čas čakania na následný spoj	[min].

V rámci času prestupu je možné zahrnúť ešte časovú rezervu napr. na vyrovnanie prípadného meškania kmeňového spoja. V prípade intervalovej dopravy sa hodnota rezervy rovná maximálne polovici intervalu, v prípade veľmi krátkych intervalov (metro v špičke), je možné túto veličinu zanedbať. Následne je možné definovať hodnotu φ - zložka času zohľadňujúca subjektívne časové hľadisko cestujúceho [9]:

$$\varphi = t_{pre} + Z \quad (8)$$

Kde:

φ - zložka času zohľadňujúca subjektívne časové hľadisko cestujúceho, resp. zaťaženie varianty s prestupom	[min],
t_{pre} – čas prestupu	[min],
Z – požadovaný zisk času	[min].

Rozhodovanie cestujúcich vyjadruje nerovnica [9]:

$$T_{pre} + \varphi < T \quad (9)$$

Kde:

T_{pre} – cestovný čas varianty s prestupom [min],

φ - zložka času zohľadňujúca subjektívne časové hľadisko cestujúceho, resp. zaťaženie varianty s prestupom [min],

T – cestovný čas varianty bez prestupu [min].

1.2.4 Kapacita vozidiel

Kapacita v doprave je schopnosť dopravných prostriedkov prepraviť určité množstvo osôb a vecí. Zo statického hľadiska je kapacita v hromadnej osobnej doprave definovaná ako obsaditeľnosť vozidla, ktorá je daná technickými parametrami vozidla. Z dynamického hľadiska je kapacita v hromadnej osobnej doprave definovaná ako prepravná kapacita, ktorá vyjadruje schopnosť dopravných prostriedkov prepraviť za jednotku času určité množstvo osôb v jednom prepravnom smere vo vzťahu k určitému profilu trate. Prepravná kapacita je funkciou obsaditeľnosti dopravných prostriedkov a intervalu dopravy [7]:

$$O_t = \frac{K \cdot \chi \cdot 60}{i} \quad (10)$$

Kde:

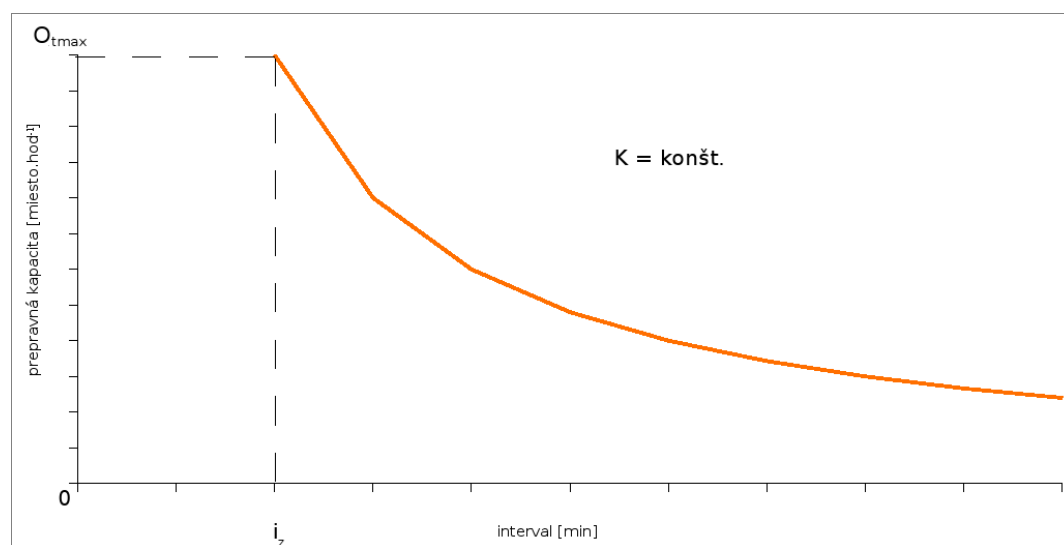
O_t – prepravná kapacita [miesto.h⁻¹],

K – kapacita vozidla daná jeho obsaditeľnosťou [miesto],

χ – súčiniteľ využitia kapacity [-],

i – linkový interval dopravy [min].

Súčiniteľ využitia kapacity sa volí pre obdobie prepravnej špičky $\chi = 1$ a pre obdobie prepravného sedla menší ako $\chi = 0,8$ [8].



Obr. 5 Závislosť prepravnej kapacity na intervale dopravy [7]

Dopravné prostriedky hromadnej osobnej dopravy sú počas špičky obsadzované väčším počtom cestujúcich ako je ich normálna a často i maximálna obsaditeľnosť. Vzhľadom k nerovnomernosti priebehu prepravnej špičky je možné za charakteristický znak MHD tiež považovať preťažiteľnosť dopravných prostriedkov [7].

Tab. 2 Maximálne prepravné kapacity u jednotlivých subsystémov MHD

Druh subsystému	Maximálna prepravná kapacita [miesto.h ⁻¹]
autobus/trolejbus	4 500
električka	12 000
rýchlodrážny systém	50 000

Prameň: [7]

1.2.5 Interval dopravy

Interval dopravy je časový úsek medzi dvoma po sebe idúcimi vozidlami resp. súpravami vozidiel (spojmi) v jednom smere meraný v profile komunikácie. Interval dopravy je jedným z rozhodujúcich faktorov výkonnosti hromadnej osobnej dopravy [8].

Spoj je cestovným poriadkom alebo inak časove a miestne určené jednotlivé prepravné spojenie medzi určitými miestami v rámci pravidelnej dopravnej obsluhy týchto miest. Ako spoj sa chápe jazda vozidla z miesta na linke, kde je určený prvý nástup cestujúcich do vozidla do iného miesta na linke, kde je určený výstup všetkých

cestujúcich. Tieto miesta sa nazývajú konečné zastávky. Zastávky medzi týmito konečnými zastávkami sa nazývajú medziľahlé zastávky.

Linkový interval je definovaný ako časový úsek medzi dvoma po sebe nasledujúcimi spojmi rovnakej linky v jednom prepravnom smere meraný v profile komunikácie. Linkový interval je nutné stanoviť tak, aby odpovedal maximálnej hodnote intenzity prepravného prúdu, zisteného na linke v danom časovom období:

$$i \leq \frac{K \cdot \chi \cdot 60}{O_{h \max}} \quad (11)$$

Kde:

i – linkový interval dopravy	[min],
$O_{h \max}$ – maximálna intenzita prepravného prúdu zistená na linke	[osoba.h ⁻¹],
K – kapacita vozidla daná normálnou obsaditeľnosťou	[miesto],
χ – súčiniteľ využitia kapacity	[-].

Následný interval dopravy je definovaný ako časový úsek medzi dvoma po sebe nasledujúcimi spojmi bez ohľadu na príslušnosť k linke v jednom prepravnom smere meraný v profile komunikácie. Následný interval je priemerný interval dopravy liniek, ktoré sú v prevádzke na spoločnom (súbežnom) úseku trate [7]:

$$\bar{i} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{i_j}} \quad (12)$$

Kde:

$\bar{i}$ – priemerný interval dopravy	[min],
i_j – interval dopravy j-tej linky	[min],
m – počet liniek na súbežnom úseku trate	[-].

1.3 Dopravné prieskumy a prognózovanie

Dopravný prieskum je súhrn činností, ktorých úlohou je zisťovať informácie o doprave [5]. Prognózovaním rozumieme činnosť, ktorá na základe empiricky zistených zákonitostí z analýzy dáva pravdepodobnostnú výpoveď o budúcich požiadavkách na prepravu [10].

Dopravný prieskum je podkladom pre tvorbu dopravnej siete MHD, vedenie liniek, rozmiestnenie zastávok a technológie prevádzky. Medzi najvýznamnejšie sa zaradzuje smerový prieskum, ktorý sa môže realizovať:

- metódou ščitacích lístkov, ktoré sú rozdane cestujúcim na zastávke nástupu a zozbierané na zastávke výstupu,
- metódou ústnych otázok v priebehu dopravy,
- metódou písomných otázok (dotazníková metóda) [6].

Pre potreby optimalizácie dopravného systému, optimalizácie prevádzky, riadenia mestskej hromadnej dopravy a marketingovej obchodnej politiky sa analyzujú výsledky prieskumov tak, aby bolo možné určiť :

- hodiny špičkovej prevádzky, zodpovedajúci interval dopravy na linkách a tým aj ponúkanú prepravnú kapacitu liniek,
- zaťaženie zastávok, autobusových staníc a terminálov v priebehu dňa, týždňa a roka (počet nástupov a výstupov),
- zaťaženie liniek a obsadenie vozidiel,
- úroveň kvality premiestnenia,
- zdroje a ciele ciest,
- medziokrskové a medzioblastné prepravné vzťahy [6].

Zistená intenzita a smerovanie prepravného prúdu medzi dvoma okrskami i pre začínajúce cesty a j pre končiace cesty je zaznamenané do matice vzťahov D_{ij} postupne pre všetkých n okrskov, na ktoré je dané územie rozdelené. Okrsky (ťažiská okrskov) sa pripájajú (predstavujú) jednu prípadne viac zastávok. Vtedy je potrebné určiť podiely zdrojov a cieľov ciest pripadajúce na jednotlivé zastávky [10].

Nasledujúcim krokom je priradenie medziokrskových prepravných vzťahov na dopravnú sieť. Cieľom je zistiť intenzitu prepravných prúdov jednotlivých úsekov dopravnej siete. Stanovenie trás liniek pre medziokrskové prepravné vzťahy je dôležitým prvkom, ktorý priamo ovplyvňuje spotrebu času pri premiestnení osôb a tiež vynaloženie práce na dosiahnutie konečného efektu mestskej hromadnej dopravy. Priradenie prepravných vzťahov je možné pre kalibráciu modelu porovnať so

skutočnými hodnotami intenzít prepravných prúdov jestvujúcej alebo novo navrhutej dopravnej siete [6].

Tab. 3 Matica vzťahov D_{ij}

i/j	11	12	21	22	...	nn
11						
12						
21						
22						
...						
nn						

V mestskej hromadnej doprave nie je možné dosiahnuť, narozdiel od individuálnej automobilovej dopravy, to, aby každý cestujúci bol prepravený zo zdroja do cieľa premiestnenia jedným vozidlom, bez prestupu. Preto je nutné brať do úvahy intenzity prepravných prúdov medzi jednotlivými okrskami a v optimálnej miere zabezpečiť, aby cestujúci boli prepravení z hľadiska času najkratšou trasou a s minimálnym počtom prestupov [6].

Priradenie medziokrskových a medzioblastných vzťahov sa vykonáva metódami [10]:

- metóda najkratšej trasy,
- metóda pridelovania zaťaženia na viac trás,
- metóda obmedzenej kapacity.

Metóda najkratšej trasy sa často používa pre svoju jednoduchosť. Označuje sa tiež ako metóda „všetko alebo nič“. Je založená na predpoklade, že cestujúci si vyberá pre spojenie medzi zdrojom a cieľom cesty vždy najkratšiu trasu, obvykle časovo najvýhodnejšiu. Prepravný vzťah je celý priradený na vyhľadajú najkratšiu trasu a ostatné trasy nie sú uvažované. V mestskej hromadnej doprave sa použije táto metóda pri tvorbe linkového vedenia, pretože ponúka najvýhodnejšie linkové spojenie.

Metóda pridelovania zaťaženia na viac trás, ktorá simuluje rad ďalších vplyvov, pod ktorými sa cestujúci rozhoduje pri výbere prepravného spojenia. Týmto

vpływmi môžu byť kvalita premiestnenia, psychologické aspekty a iné. Výpočtom sa vyhľadáva viac trás aj keď simulácia premiestnenia je stále podľa časového kritéria. Prepravný vzťah je potom v určitom pomere, analogicky k pomeru cestovných časov, priradených na nájdené trasy. Do výpočtu sa zavádzajú rôzne obmedzenia, ktoré zabráňujú nájsť nevhodné trasy.

Metóda obmedzenej kapacity, berie do úvahy vzťah intenzity prepravného prúdu a prepravnej kapacity dopravných prostriedkov na úsekoch dopravnej siete. Určitá trasa, ktorá je najkratšia, je veľmi atraktívna, a preto sa využíva najčastejšie. V čase prepravnej špičky, kedy intenzita prepravného prúdu blíži k prepravnej kapacite, čas na tejto trase sa predlžuje a kvalita dopravy zhoršuje. To núti cestujúcich voliť iné trasy. Metóda prihliada na tieto okolnosti tým, že na jednotlivých úsekoch posudzuje podiel intenzity prepravného prúdu a prepravnej kapacity a podľa tohto pomeru sa upravuje časová charakteristika úseku alebo sa zmení linkové vedenie [6].

Na vyhľadanie najkratšej trasy je možné použiť metódy z oblasti teórie grafov, napr. Floydov algoritmus na výpočet vzdialeností v dopravnej sieti [11], ktorý v rámci úsekovo ohodnotenej siete vyhľadá najkratšiu cestu medzi uzlami siete.

2 Analýza dopravnej obsluhy riešeného územia

Mestská časť Sídliisko Ťahanovce patrí k najmladším častiam mesta Košice a zároveň k posledným stavebným projektom v rámci hromadnej bytovej výstavby. Podľa demografických údajov počet obyvateľov predstavuje 23 192 osôb (stav k 31.12.2006) [12].

2.1 Analýza mestskej hromadnej dopravy

V súčasnosti (k 26.10.2007) je mestská časť obsluhovaná 15 linkami MHD. Sieť MHD tvorí 8 zastávok a úseky medzi nimi : Madridská, Nadchod, Miestny úrad, Berlínska, Hanojská, Belehradská, Sofijská.

Linky je možné podľa času ich prevádzky rozdeliť na:

- Denné (14 liniek),
- nočné (linka N1).

Denné linky je možné podľa charakteru ďalej deliť na :

- Bežné (6 liniek),
- zrýchlené (6 liniek),
- linky RA (2 linky).

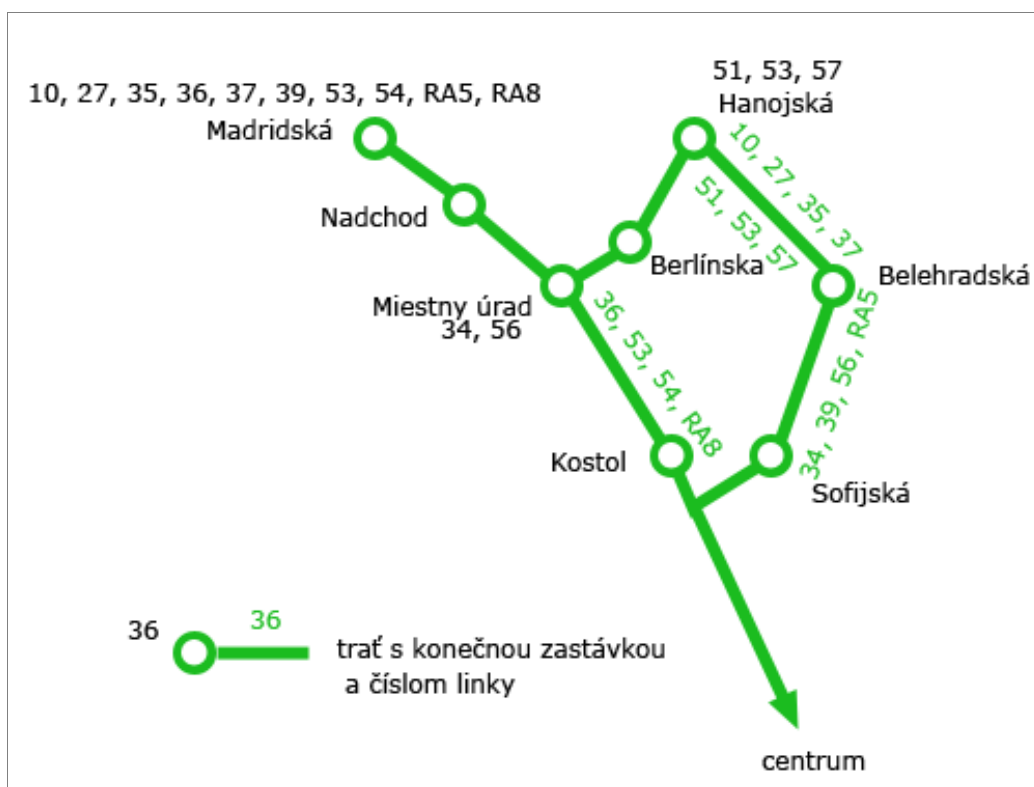
Tab. 4 Rozdelenie liniek MHD

Denné linky				Nočné linky
Číslo linky	Druh	Číslo linky	Druh	Číslo linky
10	bežné	51	zrýchlené	N1
27		53		
34		54		
35		56		
36		57		
37		RA5	RA	
39		RA8		

Zrýchlené linky premávajú na trase bežných liniek, pričom na určených zastávkach, kde je predpoklad malej výmeny cestujúcich, nezastavujú, čím dochádza k úspore cestovného času. Rozsah prevádzky zrýchlených liniek je obmedzený na čas rannej a popoludňajšej špičky počas pracovných dní. Zrýchlené linky umožňujú pokryť výrazne zvýšený dopyt po preprave v špičkových obdobiach dňa a vytvárajú rýchle spojenie centra mesta s okrajovými časťami. V súvislosti s platnou časovou tarifou a zavádzaním zastávok na znamenie je koncept zrýchlených liniek prekonaný, pričom spôsobuje preferenciu zrýchlených liniek u cestujúcich a zvyšuje celkovú linkovú variabilitu (celkový počet liniek).

Dopravu do areálu US Steel Košice zabezpečujú 2 linky RA, ktorých prevádzka je spojená so začiatkom a koncom pracovných zmien. Linky RA sú využívané najmä zamestnancami US Steel Košice.

Plošné rozloženie siete MHD v mestskej časti zobrazuje schéma na obrázku (Obr. 6). Väčšina liniek obsluhuje hornú vetvu (zastávky Berlínska, Hanojská, Belehradská, Sofijská). Spodná vetva obsahuje zastávku Kostol.



Obr. 6 Schéma siete MHD

Všetky spoje na linkách sú zabezpečované autobusmi. Výjazd zo sídliska v smere do centra mesta je riešený jedinou cestnou komunikáciou (Americká trieda), ktorou

prechádzajú všetky linky. Obmedzenosť prístupových komunikácií vytvára podmienky pre vznik kongescií, ktoré zhoršujú kvalitatívne parametre MHD, a takisto nemožnosť náhradného prístupu v prípade krízových situácií, pri ktorých dochádza k uzavretiu komunikácie (dopravná nehoda, nepriaznivé poveternostné podmienky a pod.).

Pomerne nedávna výstavba mestskej časti a s tým spojený vysoký podiel obyvateľstva nižších vekových kategórií podmieňuje vznik prepravných prúdov vysokej intenzity práve v špičkových obdobiach pracovného dňa, ktoré sú zapríčinené pravidelnými cestami do škôl a zamestnania. V sedlových obdobiach je charakteristický výrazný pokles intenzít prepravných prúdov.

2.1.1 Analýza poskytovaných prepravných kapacít

Podľa rovnice (10) je rozhodujúcim faktorom pri určovaní prepravnej kapacity (za predpokladu konštantnej kapacity vozidla) interval dopravy. Tabuľka (Tab. 5) vyjadruje intervaly denných liniek počas pracovného dňa, pričom posledný riadok udáva hodnotu syntetického ukazovateľa následného intervalu dopravy podľa rovnice (12):

Tab. 5 Intervaly denných liniek počas pracovného dňa

Číslo linky	Interval [min]				
	Ranný okrajový režim	Ranná špička	Sedlo	Popoludňajšia špička	Večerný okrajový režim
10	30	15	30	20	30
27	20	15	30	20	30
34	30	15	30	20	30
35	30	15	-	20	-
36	30	15	30	20	30
37	-	30	30	-	30
39	-	20	-	60	-
51	-	12	-	15	-
53	20	20	-	20	-
54	60	15	-	20	-
56	30	30	-	30	-
57	-	15	-	20	-
Následný interval	3,5	1,5	6	2	6

V tabuľke ani v nasledujúcich výpočtoch nie sú zahrnuté linky RA5 a RA8, ktoré vykonávajú prevažne zamestnaneckú dopravu, a ich odchody sú viazané na začiatok a koniec pracovnej doby.

Najnižšiu hodnotu dosahuje interval pri linke 51 ($i=12$ min.). Následný interval je priemerný interval dopravy liniek, ktoré sú v prevádzke na spoločnom (súbežnom) úseku trate. Koordinácia odchodov spojov je v bežnej prevádzke kvôli veľkému počtu liniek zložitá, preto vzniká nerovnomernosť medzi odchodmi spojov, kedy interval medzi spojmi iných liniek je v určitom čase výrazne menší resp. väčší ako vypočítaný následný interval.

Prepravná kapacita je ovplyvňovaná taktiež kapacitou vozidla vykonávajúceho spoj danej linky (Tab. 6):

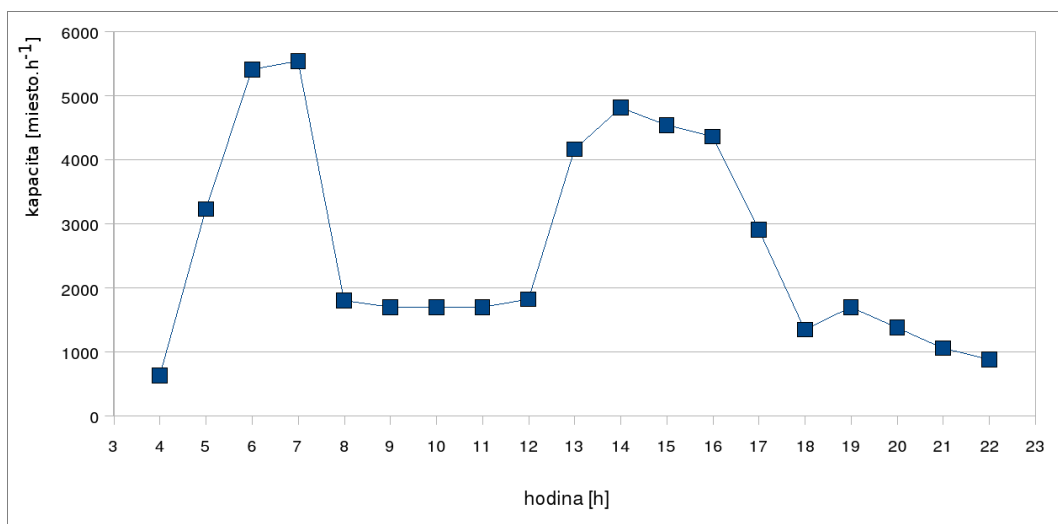
Tab. 6 Typy vozidiel a ich obsaditeľnosť

Typ autobusu	Obsaditeľnosť		Skupina	Priem. obsaditeľnosť	
	normálna	maximálna		normálna	maximálna
Ikarus 280.87	128	185	veľko-kapacitné	124	176
Solaris Urbino 18	139	198			
Ikarus 280.08	122	173			
Ikarus 435.18D	127	180			
Karosa B741	122	170			
Karosa B941E	118	164			
Karosa C744	123	161		123	161
Solaris Urbino 15	106	145	stredne-kapacitné	106	145
Solaris Urbino 15 CNG	107	146			
Ikarus 415.30	75	104	malo-kapacitné	74	99
Solaris Urbino 12	74	100			
Karosa B731-2	76	103			
Novoplan C 12	71	96			
Karosa B952	72	96			
Karosa B932	71	95			

Linky je možné podľa prevládajúceho typu nasadzovaných vozidiel rozdeliť na:

- linky s veľkokapacitnými vozidlami: 10,27,34,53,56,
- linky so strednekapacitnými vozidlami: 36, 37,
- linky s malokapacitnými vozidlami: 35, 39, 51, 54, 57.

Pri dosadení priemerných kapacít vozidiel nasadzovaných na linky obsluhujúce dané územie a intervalov jednotlivých liniek celková prepravná kapacita má priebeh vyznačený na grafe (Obr. 7).



Obr. 7 Priebeh prepravnej kapacity denných liniek

2.1.2 Profilový prieskum MHD

Profilový prieskum je prieskum o poskytovaných kapacitách a obsadenosti jednotlivých vozidiel meraný v jednom prepravnom smere vo vzťahu k určitému profilu komunikácie.

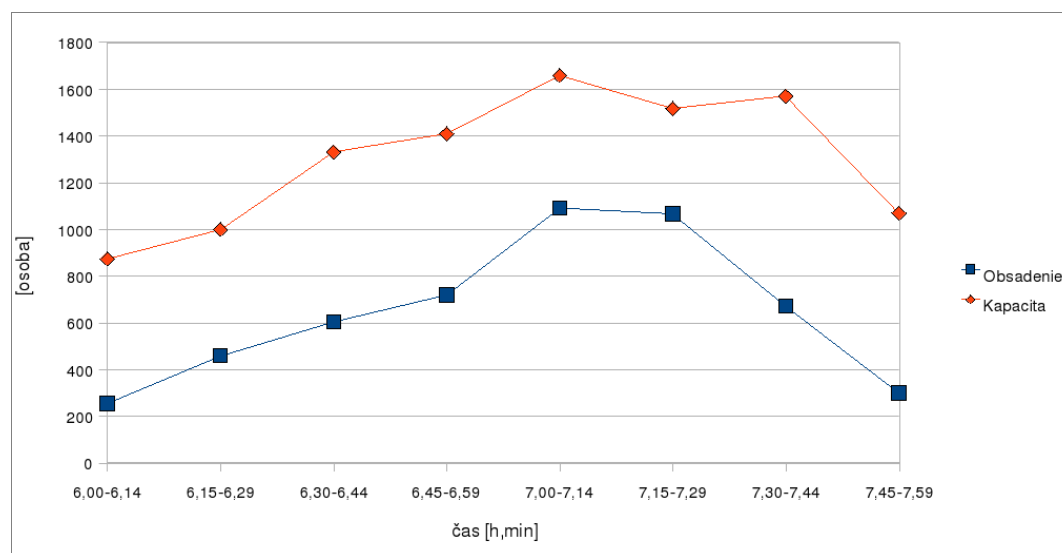
Nasledujúca analýza vychádza z profilového prieskumu vykonaného Dopravným podnikom mesta Košice a.s., v čase od 6:00 do 8:00 v profile komunikácie Americká trieda, stanovište v smere do centra mesta [13].

V uvedenom čase bolo vykonaných 72 spojov. Prieskumom boli zistené nasledovné celkové hodnoty, merané po 15 minútových intervaloch:

Tab. 7 Výsledky profilového prieskumu MHD

Čas [h,min]	Obsadenie [osoba]	Kapacita [miesto]	Prepravná kapacita [miesto.h ⁻¹]
6,00 – 6,14	255	873	3492
6,15 – 6,29	458	999	3996
6,30 – 6,44	603	1331	5324
6,45 – 6,59	719	1409	5336
7,00 – 7,14	1091	1658	6632
7,15 – 7,29	1066	1517	6068
7,30 – 7,44	672	1570	6280
7,45 – 8,00	300	1069	4276
6,00 – 8,00	5164	10426	5213

Na základe hodnôt obsadenosti bola určená špičková hodina v čase od 6:45 do 7:44. Priebeh obsadenosti a ponúkanej kapacity (v absolútnych jednotkách) je znázornený na grafe (Obr. 8).

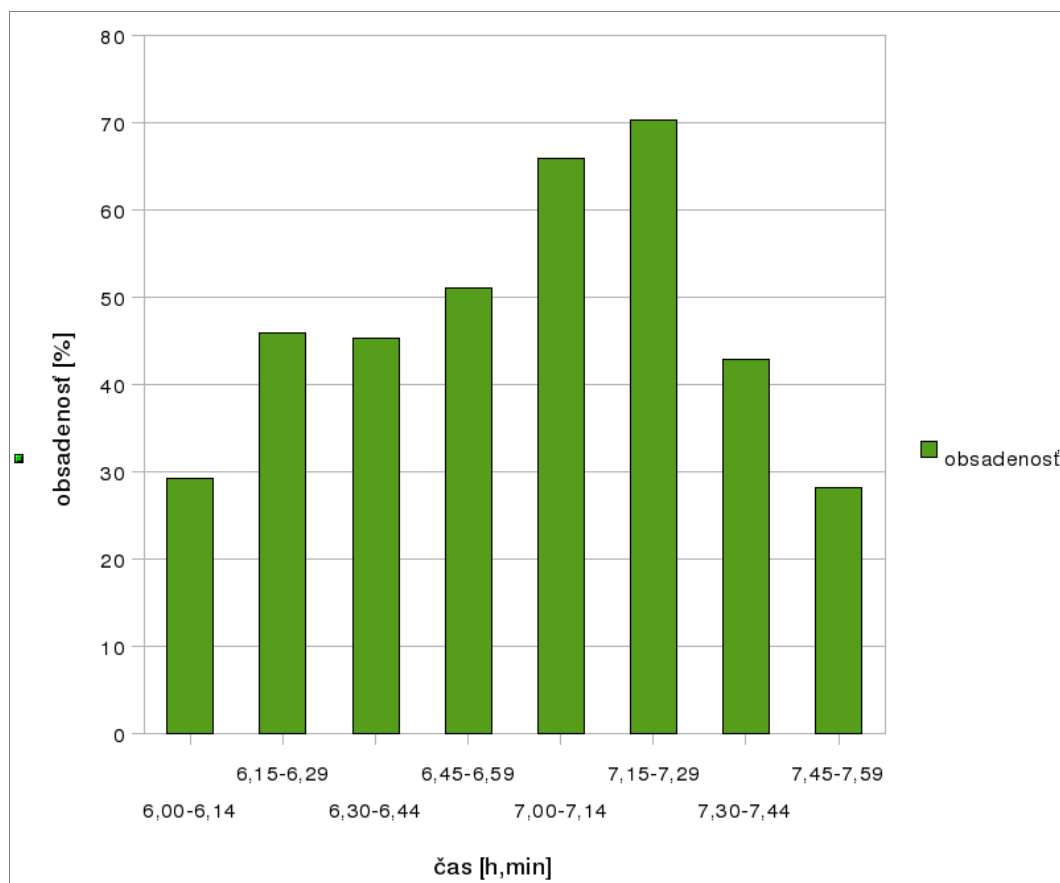


Obr. 8 Priebeh obsadenosti a kapacity

Obe sledované veličiny rastú od začiatku sledovania, svoj vrchol dosahujú v čase od 7:00 do 7:14, nasleduje stagnácia až mierny pokles v čase od 7:15 do 7:29 a prudký pokles do konca sledovaného obdobia. Zistené hodnoty zodpovedajú všeobecným poznatkom o priebehu prepravnej špičky uvedeným v kapitole 1.

Podielom kapacity (danou maximálnou obsaditeľnosťou) a obsadenosti (počet osôb vo vozidle) je zistené celkové využitie ponúkanej kapacity (obsadenosť vyjadrená v percentách) a jeho priebeh zaznamenaný na grafe (Obr. 9). Najväčšie hodnoty dosahuje v čase špičkovej hodiny, maximálnu hodnotu ($\gamma = 70\%$) dosahuje v čase od 7:15 do 7:29. Je potrebné poznamenať, že hodnoty využitia γ blížiac sa k 100%, znamenajú výrazné zhoršenie kvalitatívnych podmienok prepravy a cestujúcimi sú vnímané veľmi negatívne. Celkové využitie pre obdobie od 6:00 do 7:59 dosahuje hodnotu $\gamma = 50\%$ a pre špičkovú hodinu od 6:45 do 7:44 $\gamma = 58\%$.

Zo všetkých 72 spojov vykonaných v sledovanom období pri 16 spojoch dosiahlo využitie $\gamma \geq 80\%$, z toho pri 5 spojoch $\gamma \geq 95\%$. Je možné predpokladať, že v týchto prípadoch niektorým cestujúcim nebola poskytnutá príležitosť na prepravu daným spojom.



Obr. 9 Využitie ponúkanej kapacity

Smerová analýza liniek, ponúkanej prepravnej kapacity a prepravných prúdov ukazuje 2 hlavné smerovania smerujúce v prvom prípade v smere na zastávku Námestie Osloboditeľov a v druhom prípade na zastávku Mlynská bašta.

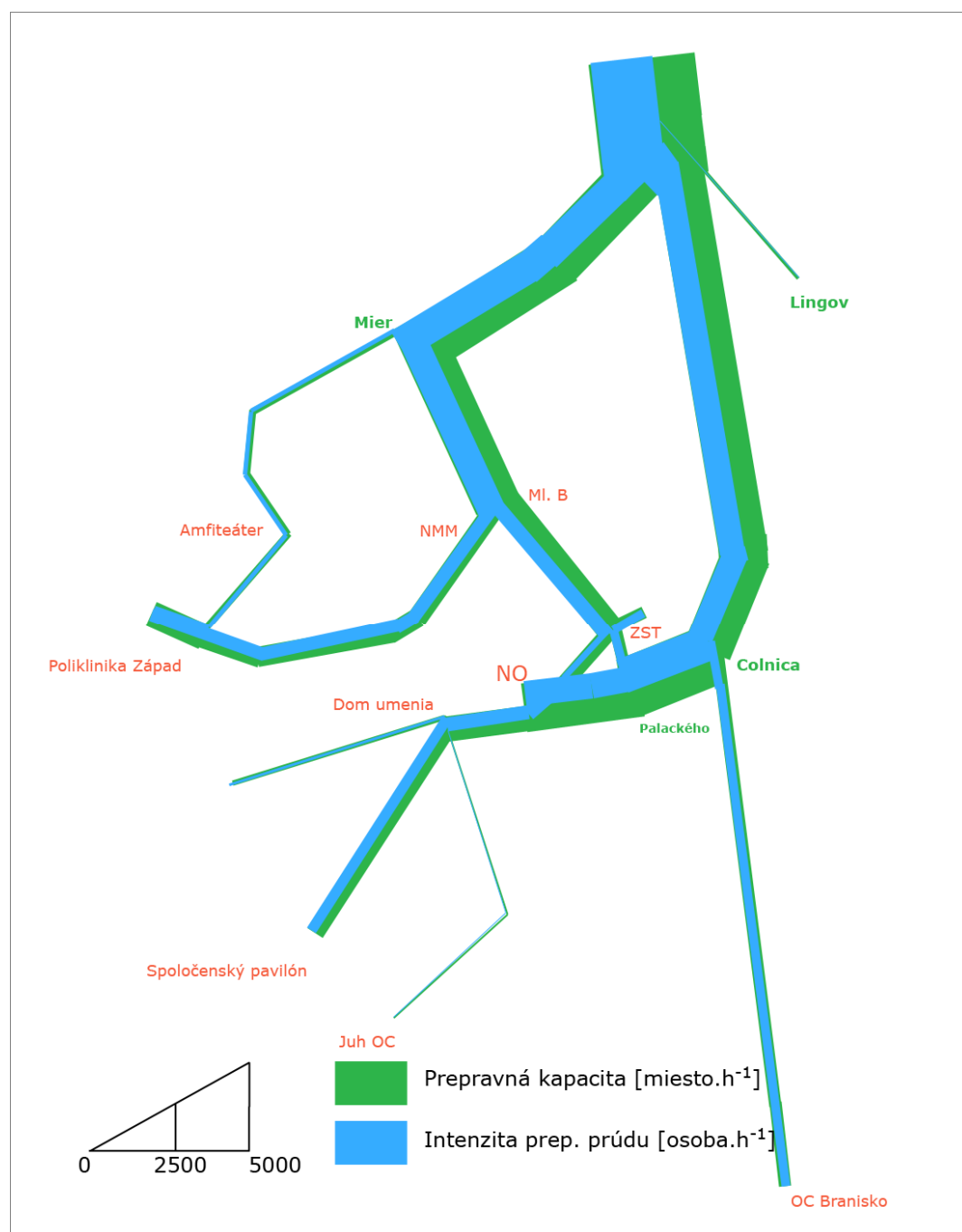
Tab. 8 Smerovanie liniek, obsadenie a kapacity počas špičkovej hodiny

Číslo linky	Smer	Obsadenie [osoba.h ⁻¹]	Kapacita [miesto.h ⁻¹]	Počet spojov [-]
11*	N. Osloboditeľov	347	692	4
27	Mlynská bašta	495	698	4
34	Mlynská bašta	541	674	4
35	Amfiteáter	282	388	4
36	Mlynská bašta	213	480	4
37	N. Osloboditeľov	72	103	1
39	Lingov	191	206	2
51	N. Osloboditeľov	288	492	5
531**	Mlynská bašta	358	879	5
532**	N. Osloboditeľov	354	884	5
54	N. Osloboditeľov	140	293	3
56	N. Osloboditeľov	267	365	2
57***	Mlynská bašta	-	-	-

* Na trase linky 11 premáva v súčasnosti linka 10.

** Označenie linky 531 predstavuje linku 53 smer Hanojská, 532 smer Madridská.

*** V čase prieskumu uvedená linka nepremávala.



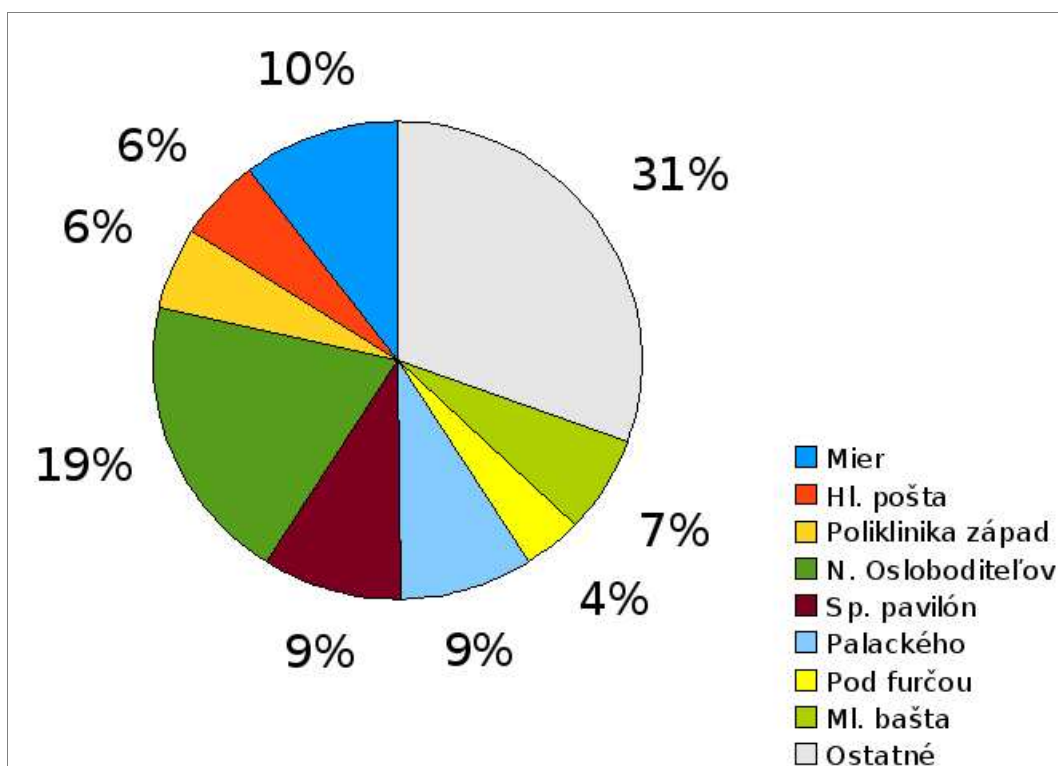
Obr. 10 Prepravné kapacity a intenzita prepravného prúdu počas špičkovej hodiny

2.1.3 Analýza smerovania prepravných prúdov

Z výsledkov profilového prieskumu je možné určiť smerovanie prepravných prúdov podľa smeru liniek (napr. pri linke 10 sa predpokladá, že prepravný prúd smeruje na zastávku Námestie Osloboditeľov). Na presné určenie smerovania prepravných prúdov na jednotlivé zastávky sa používa smerový prieskum.

Vzhľadom na náročnosť vykonania smerového prieskumu, ktoré predpokladá prítomnosť sčítačov na všetkých nástupných a výstupných zastávkach počas obdobia trvania prieskumu, bol zvolený iný typ prieskumu na zistenie smerovania prepravných prúdov.

Vykonaný prieskum spočíval v počítaní počtu vystupujúcich osôb na jednotlivých zastávkach v čase od 6:00 do 8:00 v období od 25.10.2007 do 8.11.2007 počas pracovných dní. Výsledky prieskumu a vypočítaný podiel vystupujúcich osôb k celkovému počtu cestujúcich pripadajúci na jednotlivé zastávky sú uvedené v prílohe. Graficky sú výsledky znázornené na grafe (Obr. 11).



Obr. 11 Podiel vystupujúcich osôb k celkovému počtu cestujúcich pripadajúci na jednotlivé zastávky

Najviac cestujúcich vystupovalo na zastávke Námestie Osloboditeľov, s odstupom nasledujú zastávky Mier, Palackého a Spoločenský pavilón.

2.1.4 Analýza časovej dostupnosti cieľov premiestnenia

Podľa predchádzajúcej analýzy rozhodujúcimi smermi, ktorými sú vedené linky sú zastávky Námestie Osloboditeľov a Mlynská bašta. Je potrebné poznamenať, že v prípade liniek 34, 36, 57, v smere do centra mesta, zastavujú len na zastávke Námestie Maratónu mieru. Na zastávke Mlynská bašta zastavujú len v smere na Sídliisko

Ťahanovce. Priemerné časy jazdy na vybrané zastávky podľa cestovného poriadku nezrýchlených a zrýchlených liniek zo zastávky Sofijská sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Jazdné časy sa v prípade niektorých liniek môžu líšiť ± 1 min.

Tab. 9 Priemerné časy jazdy na vybrané zastávky

Nezrýchlené (bežné) linky	
Názov zastávky	Priemerný čas jazdy [min]
Mlynská bašta/Nám. Maratónu mieru	12
Námestie Osloboditeľov	10
Amfiteáter	13
Železničná stanica	16
Zrýchlené linky	
Mlynská bašta/Nám. Maratónu mieru	9
Námestie Osloboditeľov	10
Amfiteáter	14
Jakabov palác	11

2.2 Projekt KORID

V súčasnom období je pripravovaný projekt Košického regionálneho integrovaného dopravného systému (KORID). Hlavným zámerom projektu je prepojenie železničných a električkových koľají tak, aby regionálne vlaky mohli na území mesta pokračovať v jazde ako mestská električka. Vzájomné prepojenie je umožnené rovnakým rozchodom (1435 mm) koľají oboch dopravných systémov. Súčasťou realizácie je výstavba novej a úprava existujúcej infraštruktúry:

- Výstavba terminálu Sever,
- trať Nám. Maratóna Mieru – Sídliisko Ťahanovce,
- prepojenie železničných a električkových koľají na Staničnom námestí,
- úprava železničnej stanice Košice (sektor Východ),
- úprava električkových tratí v centre mesta,
- elektrifikácia trate Haniska pri Košiciach – Moldava nad Bodvou,
- napojenie priemyselných parkov Bočiar a Kechnec,

- napojenie priemyselného parku Pereš a letiska [14].

Investične najnáročnejšou je výstavba trate Nám. Maratónu Mieru – Sídliisko Ľahanovce v dĺžke 4,7 km s 9 zastávkami. Čiastočne segregovaná trať môže výrazne znížiť cestovný čas v smere do centra mesta najmä v čase špičky, kedy vplyvom tvoriacich sa kongescií na cestných komunikáciách dochádza k zdržaniu vozidiel MHD.



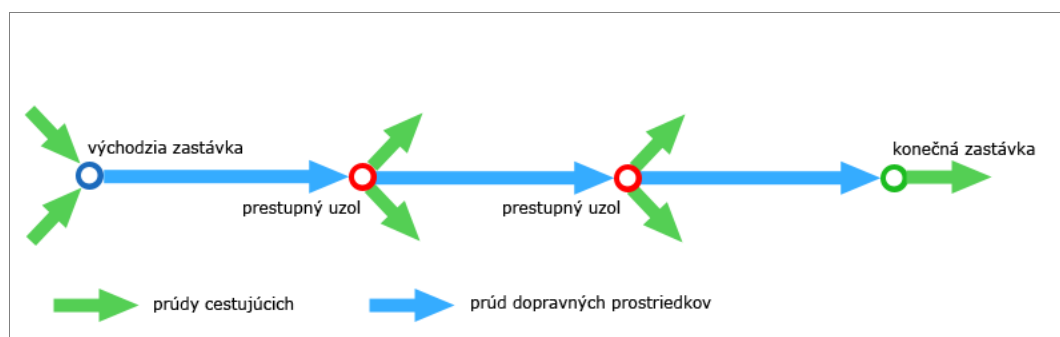
Obr. 12 Trať Nám. Maratónu mieru - Sídliisko Ľahanovce

3 Simulačný model

Simulačný model dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou dopravou umožňuje testovanie a výber alternatív dopravnej obslužnosti.

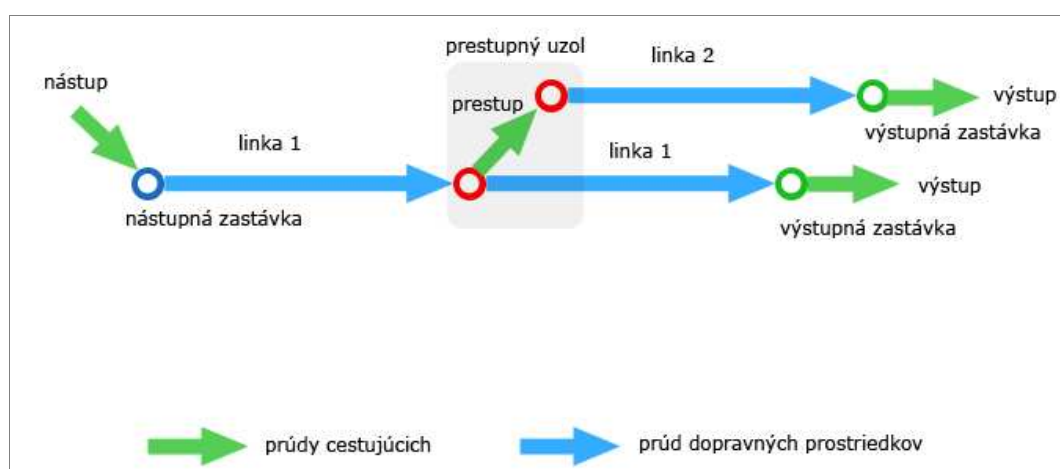
3.1 Konceptia simulačného modelu

Základná koncepcia modelu spočíva v simulácii prúdu cestujúcich z miesta ich nástupu do miesta výstupu. Prepravu medzi týmito miestami zabezpečuje prúd dopravných prostriedkov (spojov).



Obr. 13 Základná koncepcia simulačného modelu

Cestujúci môžu zmeniť dopravný prostriedok (prestup na inú linku) v prestupných zastávkach (prestupných uzloch). Možnosť prestupu je v modeli obmedzená na 1 prestup.



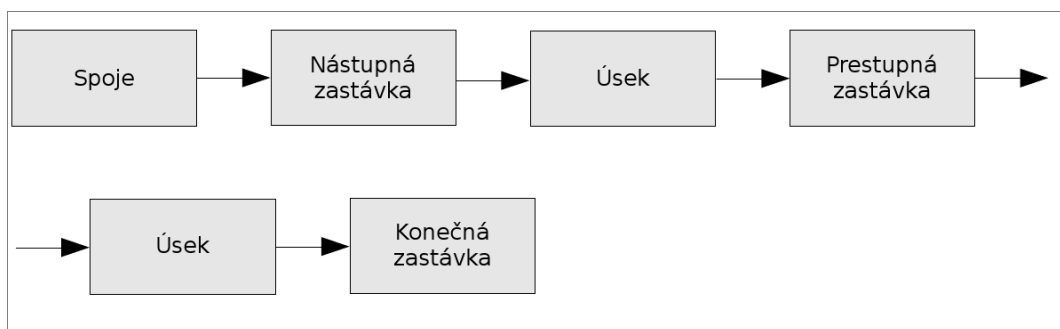
Obr. 14 Prestup medzi linkami

Simulačný model sa skladá z jednotlivých hierarchických blokov. Hierarchický blok predstavuje zoskupenie základných blokov, ktoré sú dostupné z knižníc programu *Extend*, do väčšieho celku. Použitie hierarchických blokov umožňuje zoskupovať bloky

do logických skupín, vyjadrujúcich štruktúru modelu. V simulačnom modeli je použitých 5 základných hierarchických blokov, ktoré je možné kopírovať a vzájomne spájať, a tak jednoducho vytvárať variácie modelu.

Medzi základné hierarchické bloky patria:

- spoje (generátor spojov),
- nástupná zastávka,
- prestupná zastávka (prestupný uzol),
- konečná zastávka,
- úsek medzi zastávkami.



Obr. 15 Základné hierarchické bloky simulačného modelu

Základné hierarchické bloky predstavujú statické prvky modelu. Medzi dynamické prvky patria:

- spoje,
- cestujúci,
- skupina cestujúcich.

Cestujúci prichádzajú na nástupnú zastávku jednotlivo, kde čakajú na spoj zvolenej linky. Následne po príchode spoja sú cestujúci združovaní do skupín podľa výstupnej, cieľovej zastávky (smeru cesty). Každá skupina cestujúcich je teda charakterizovaná smerom cesty a počtom cestujúcich.

3.1.1 Modelové premenné a parametre

Funkciou modelu je transformovať vstupné premenné podľa definovaných vzťahov a parametrov na výstupné premenné. Premenné počas simulácie menia svoje hodnoty, kým modelové parametre ostávajú konštantné.

Vstupné premenné:

- interval dopravy na kmeňovej linke (linkách),
- počty nastupujúcich cestujúcich na nástupných zastávkach.

Modelové parametre:

- kapacita dopravných prostriedkov,
- cestovné časy úsekov,
- interval dopravy na prípojných linkách,
- podiely prestupujúcich cestujúcich,
- čas chôdze na prestupných zastávkach,
- rezervný čas.

Výstupné premenné:

- hodnota celkového času premiestnenia,
- časy čakania na nástupných zastávkach,
- časy čakania na prestupných zastávkach,
- počty prestupujúcich cestujúcich,
- obsadenosť jednotlivých spojov.

Pri posudzovaní jednotlivých variantov modelu je dôležitá hodnota celkového času premiestnenia T_{celk} , ktorý vyjadruje súčet časov potrebných k premiestneniu všetkých cestujúcich :

$$T_{celk} = \sum_{i=1}^m T_i \quad (13)$$

$$T_i = T_{ci} + T_{dpi} + T_{prei} \quad (14)$$

$$T_i = (t_c + t_{dp} + t_{pre}).C_i \quad (15)$$

Kde:

T_{celk} – celkový čas premiestnenia	[min],
T_i – čas premiestnenia i-tej skupiny cestujúcich	[min],
m – počet skupín cestujúcich	[-],
T_{ci} – čas čakania i-tej skupiny cestujúcich	[min],
T_{dpi} – čas pobytu v dopr. prostriedku i-tej skupiny cestujúcich	[min],
T_{prei} – čas prestupu i-tej skupiny cestujúcich	[min],
t_c – čas čakania na spoj	[min],
t_{dp} – čas pobytu v dopravnom prostriedku, čas prepravy	[min],
t_{pre} – čas prestupu	[min],
C_i – počet cestujúcich i-tej skupiny	[osoba].

3.2 Základné hierarchické bloky

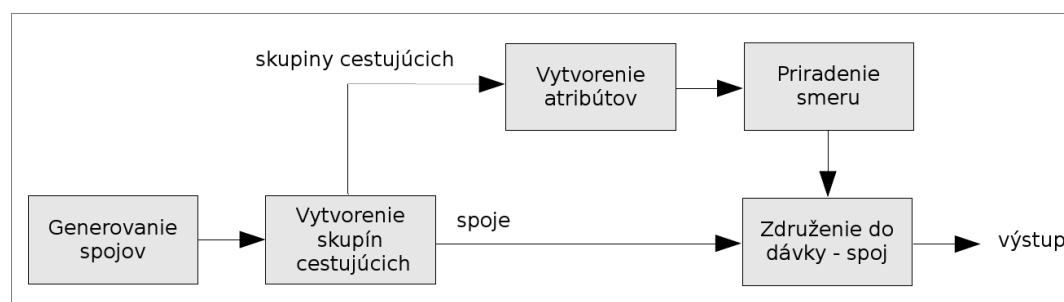
Ako už bolo spomenuté, medzi základné hierarchické bloky patria:

- spoje (generátor spojov),
- nástupná zastávka,
- prestupná zastávka (prestupný uzol),
- konečná zastávka,
- úsek medzi zastávkami.

3.2.1 Hierarchický blok „Spoje“

Hierarchický blok „Spoje“ zabezpečuje generovanie spojov podľa zadaného cestovného poriadku linky. Následne sú vytvorené skupiny cestujúcich, ktorých počet je stanovený pri zostavovaní modelu na základe počtu smerov (výstupných zastávok) prúdov cestujúcich. Jednotlivým skupinám sú priradené atribúty vyjadrujúce počet cestujúcich a celkový čas premiestnenia danej skupiny cestujúcich. Počiatočné hodnoty atribútov sa rovnajú 0. Rovnako je vytvorený atribút určujúci čas nástupu skupiny cestujúcich do spoja.

Každý skupine je priradený atribút určujúci smer. Spoj a skupiny cestujúcich sú pred výstupom z hierarchického bloku združené do dávky spoj a pokračujú ako jeden prvok. Obsadenie spoja je dané súčtom počtu cestujúcich všetkých skupín cestujúcich.



Obr. 16 Bloková schéma hierarchického bloku "Spoje"

Tab. 10 Názvy atribútov dynamických prvkov modelu

Prvok	Názov atribútu
Spoj	obsadenie
Skupina cestujúcich	čas
	smer
	cestujúci
	čas nástupu

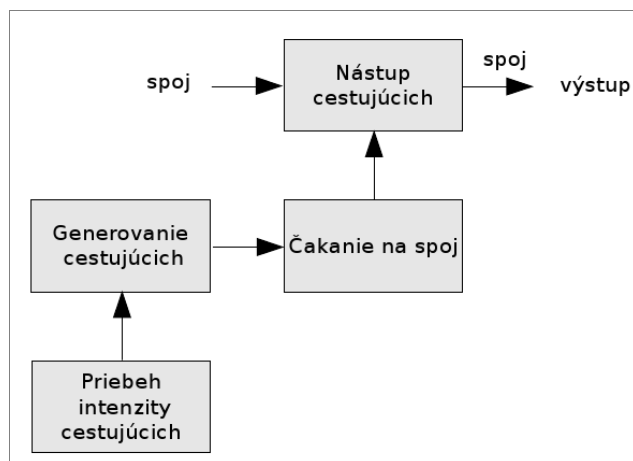
3.2.2 Hierarchický blok „Nástupná zastávka“

Hierarchický blok „Nástupná zastávka“ zabezpečuje proces nastupovania cestujúcich na nástupnej zastávke do spoja, pričom tento proces je možné rozdeliť na čiastkové podprocesy (vetvy):

- čakanie cestujúcich na spoj,
- nástup cestujúcich.

a) Čakanie cestujúcich na spoj

Podproces čakanie cestujúcich na spoj zahŕňa generovanie cestujúcich a ich následné čakanie na spoj. Počet cestujúcich je daný výsledkami smerového prieskumu [13].



Obr. 17 Bloková schéma hierarchického bloku "Nástupná zastávka", vetva „Čakanie cestujúcich na spoj“

Podľa dĺžky času, aký v modeli je simulovaný, počet cestujúcich zodpovedá celkovému počtu cestujúcich zisteného profilovým prieskumom za daný čas. Všetci cestujúci sú vygenerovaní na začiatku simulácie. Keďže príchod cestujúcich na zastávku je náhodný, ale intenzita je daná podľa výsledkov profilového prieskumu, je potrebné následne celkový počet cestujúcich rozvrhnúť na celé simulované obdobie. Rozvrhovanie je vykonávané náhodne s určitou pravdepodobnosťou príchodu cestujúceho na zastávku v čase t . Pravdepodobnosť je vypočítaná podľa vzťahu:

$$p_t = \frac{c_t}{C} \quad (16)$$

Kde:

- p_t – pravdepodobnosť príchodu cestujúceho v čase t [-],
 c_t – počet cestujúcich zistený profilovým prieskumom v čase t [osoba],
 C – celkový počet cestujúcich zistený prieskumom za dané obdobie [osoba].

Rozdelenie času na 15 minútové intervaly je dané spôsobom vykonania profilového prieskumu. Rozvrhovaním je zabezpečené, že najviac cestujúcich príde na zastávku v špičkovej hodine (69%). Konkrétne hodnoty pravdepodobnosti príchodu cestujúceho na zastávku pre jednotlivé časové obdobia sú uvedené v tabuľke (Tab. 11):

Tab. 11 Pravdepodobnosť príchodu cestujúceho v čase t

čas [h,min]	pravdepodobnosť príchodu [-]
6,00 – 6,14	0,0494
6,15 – 6,29	0,0887
6,30 – 6,44	0,1168
6,45 – 6,59	0,1392
7,00 – 7,14	0,2113
7,15 – 7,29	0,2064
7,30 – 7,44	0,1301
7,45 – 8,00	0,0581
6,00 – 8,00	1,0000

Cestujúci na zastávke čakajú na príchod spoja. V prípade existencie viacerých liniek sa použije viacero hierarchických blokov „Nástupná zastávka“, pričom každý hierarchický blok prideluje cestujúcich len spojom jednej linky.

V okamžiku príchodu spoja je počet cestujúcich spočítaný a následne táto hodnota sa spracuje vo vetve hierarchického bloku „Nástup cestujúcich“. Hodnota času čakania cestujúceho na zastávke je vypočítaná ako rozdiel času príchodu spoja na zastávku a času príchodu cestujúceho na zastávku. Následne je vypočítaný priemer časov čakania všetkých nastupujúcich cestujúcich na daný spoj:

$$\bar{t}_{\bar{c}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\bar{c}i}}{n} \quad (17)$$

Kde:

$\bar{t}_{\bar{c}}$ - priemerný čas čakania na spoj [min],

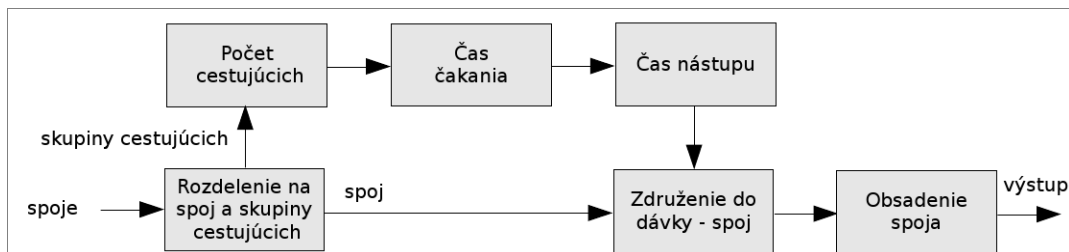
$t_{\bar{c}i}$ – čas čakania na spoj i-teho cestujúceho [min],

n – počet cestujúcich nastupujúcich na daný spoj [-].

Hodnota priemerného času čakania na spoj sa podľa rovnice (4) rovná pri presnej doprave polovici intervalu dopravy na linke. Spôsob výpočtu použitý v modeli umožňuje určenie času čakania bez znalosti intervalu dopravy (problematické pri prvých spojoch a meniacich sa intervaloch).

b) Nástup cestujúcich

Po príchode spoja na nástupnú zastávku sa dávka *spoj* rozdelí na skupiny cestujúcich a samotný spoj (vozidlo). Každej skupine cestujúcich je pridelený počet cestujúcich na základe údajov z podprocesu „Čakanie cestujúcich na spoj“.



Obr. 18 Blokové schéma hierarchického bloku "Nástupná zastávka", vetva "Nástup cestujúcich"

Počet cestujúcich pridelený skupine cestujúcich sa vypočíta:

$$C_i = \frac{d_i}{C} \cdot n \quad (18)$$

Kde:

C_i – počet cestujúcich pridelený i-tej skupine cestujúcich	[osoba],
d_i – počet cestujúcich i-tej skupiny cestujúcich zistený prieskumom	[osoba],
i – počet skupín cestujúcich	[-],
C – celkový počet cestujúcich zistený prieskumom za dané obdobie	[osoba],
n – počet cestujúcich nastupujúcich na daný spoj	[osoba].

Následne je každej skupine cestujúcich pridelený čas čakania T_{ci} podľa vzťahu:

$$T_{ci} = \bar{t}_c \cdot C_i \quad (19)$$

Kde:

T_{ci} – čas čakania i-tej skupiny cestujúcich	[min],
$\bar{t}_c$ – priemerný čas čakania na spoj	[min],
i – počet skupín cestujúcich	[-],
C_i – počet cestujúcich pridelený i-tej skupine cestujúcich	[osoba].

Do času premiestnenia nie je započítavaný čas chôdze cestujúceho na zastávku z toho dôvodu, že pri porovnávaní rôznych alternatív riešenia táto hodnota zostáva konštantná, teda nemá vplyv na zmenu celkového času premiestnenia.

Skupine cestujúcich je pridelený atribút *čas nástupu*. Na základe času nástupu bude v ďalšom priebehu simulácie určený čas prepravy (čas strávený v dopravnom prostriedku).

Skupiny cestujúcich a spoj sa znova združia do dávky a pokračujú ako jeden element. Následne je prvku pridelený údaj o obsadenosti (obsadení) spoja. Obsadenie spoja je dané súčtom počtu cestujúcich všetkých skupín cestujúcich.

3.2.3 Hierarchický blok „Úsek medzi zastávkami“

Hierarchický blok „Úsek medzi zastávkami“ zabezpečuje zdržanie spoja na úseku medzi zastávkami. Súčet časov zdržania na úsekoch sa rovná času prepravy (času pobytu v dopravnom prostriedku) t_{dp} v rovnici (2).



Obr. 19 Bloková schéma hierarchického bloku "Úsek medzi zastávkami"

Dĺžky zdržania v jednotlivých úsekoch sú dané cestovným poriadkom liniek. Orientovaný, úsekovo ohodnotený graf dopravnej siete autobusových liniek obsluhujúcich Sídliisko Ťahanovce a električkových liniek je zobrazený v prílohe. Hodnota zdržania t_{dp} na úseku plánovanej trate Sídliisko Ťahanovce – Námestie Maratónu mieru je vypočítaná podľa vzťahu (5), kde prepravná vzdialenosť je rovná 3,6 km [14] a cestovná rýchlosť je zvolená $V_c = 27 \text{ km.h}^{-1}$ [7] s ohľadom na čiastočnú segregáciu trate v úseku Rampová – Americká trieda.

$$t_{dp} = \frac{3,6}{27} \cdot 60$$

$$t_{dp} = 8 \text{ min} \quad (20)$$

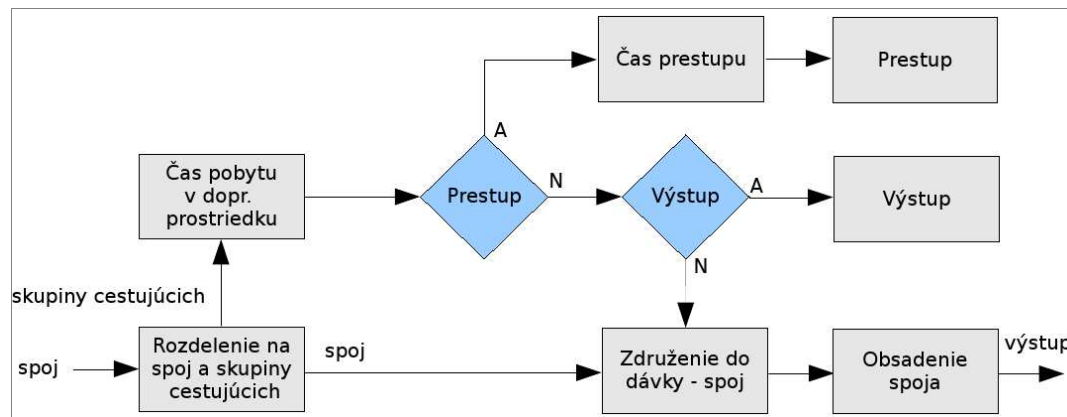
Vypočítaná hodnota je rozdelená na menšie úseky nasledovne:

Tab. 12 Hodnoty zdržania na úsekoch trate Sídliisko Ťahanovce - Nám. Maratónu mieru

Názov úseku	Hodnota zdržania [min]
Sídl. Ťahanovce (Sofijská) – HM Tesco	3
HM Tesco – Mlynská bašta	4
Mlynská bašta – Nám. Maratónu mieru	1

3.2.4 Hierarchický blok „Prestupná zastávka“

Hierarchický blok „Prestupná zastávka“ predstavuje časť modelu, v ktorej dochádza k prestupu cestujúcich medzi linkami. Po príchode spoja do hierarchického bloku dochádza k rozdeleniu na skupiny cestujúcich a samotný spoj (vozidlo).



Obr. 20 Bloková schéma hierarchického bloku "Prestupná zastávka"

Skupine cestujúcich sa prideli čas pobytu v dopravnom prostriedku T_{dpi} zodpovedajúci súčinu času prepravy a počtu cestujúcich, podľa vzťahu:

$$T_{dpi} = t_p \cdot C_i \quad (21)$$

Kde:

T_{dpi} – čas pobytu v dopravnom prostriedku i -tej skupiny cestujúcich [min],

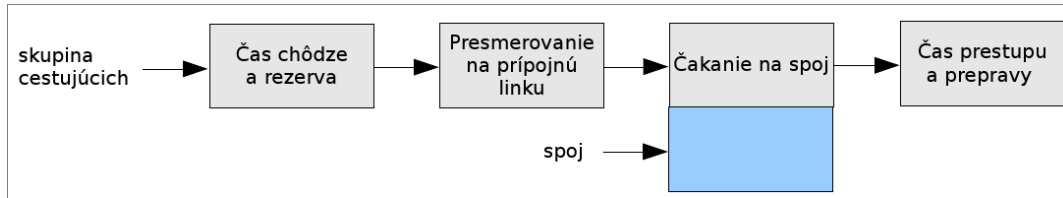
t_p – čas prepravy [min],

i – počet skupín cestujúcich [-],

C_i – počet cestujúcich pridelený i -tej skupine cestujúcich [osoba].

Čas prepravy je vypočítaný ako rozdiel aktuálneho času, v ktorom sa zisťuje čas prepravy a času nástupu. Keďže čas prepravy je daný zdržaním na úseku medzi zastávkami, teda cestovným poriadkom liniek, tento čas zahŕňa aj čas zdržania v súvislosti so zastavením na zastávkach linky. Následne skupina cestujúcich môže vykonať prestup, výstup alebo pokračovať v jazde na kmeňovej linke. Výstupom sa rozumie ukončenie cesty v prestupnej zastávke. Pri zostavovaní modelu sa určí, ktoré zo skupín cestujúcich budú prestupovať, resp. vystupovať. V prípade pokračovania v jazde na kmeňovej linke, sa skupiny cestujúcich a spoj združia do jedného elementu. Následne je určené obsadenie spoja. Obsadenie spoja je dané súčtom počtu cestujúcich všetkých skupín cestujúcich, ktoré pokračujú v jazde.

Prestup znamená zmenu spoja medzi kmeňovou linkou a prípojnou linkou. Skupina cestujúcich prekonáva pri prestupe vzdialenosť medzi prestupnými zastávkami (v prípade, že sa jedná o rovnakú zastávku, vzdialenosť je rovná 0). Čas chôdze sa určí zo vzťahu (7), zvlášť pre každý prestupný uzol. K času chôdze je možné pripočítať ešte časovú rezervu napr. na vyrovnanie prípadného meškania kmeňového spoja.



Obr. 21 Bloková schéma hierarchického bloku "Prestupná zastávka" - vetva "Prestup"

Skupina cestujúcich je následne presmerovaná na určenú prípojnú linku. Na zastávke skupina cestujúcich čaká až do príchodu spoja prípojnej linky. Po príchode spoja sa určí čas prestupu skupiny cestujúcich:

$$T_{prei} = (t_{ch} + t_r + t_{cp}).C_i \quad (22)$$

Kde:

T_{prei} – čas prestupu i-tej skupiny cestujúcich	[min],
t_{ch} – čas chôdze medzi zastávkami	[min],
t_r – časová rezerva	[min],
t_{cp} – čas čakania na spoj prípojnej linky	[min],
i – počet skupín cestujúcich	[-],
C_i – počet cestujúcich pridelený i-tej skupine cestujúcich	[osoba].

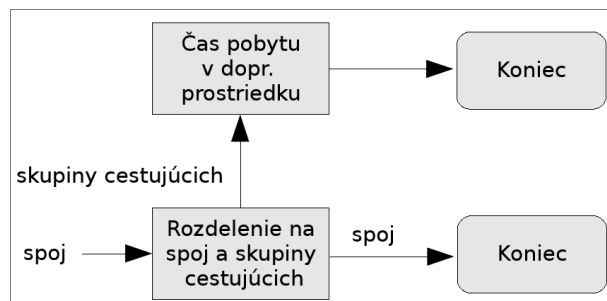
Čas pobytu v dopravnom prostriedku (čas prepravy) prípojnej linky je rovný zdržaniu na úseku medzi prestupnou a cieľovou zastávkou. Dĺžky zdržania sú dané cestovným poriadkom liniek. Výpočet času pobytu v dopravnom prostriedku prípojnej linky je analogický so vzťahom (21).

Skupina cestujúcich vykoná výstup, ak cieľová zastávka je totožná s prestupnou zastávkou. Pri výstupe sú zistené údaje o zaznamenaných hodnotách atribútov.

3.2.5 Hierarchický blok „Konečná zastávka“

Hierarchický blok „Konečná zastávka“ zabezpečuje výstup všetkých skupín cestujúcich, ktoré neprestúpili ani nevystúpili v predošlých zastávkach. Po príchode

spoja do hierarchického bloku dochádza k rozdeleniu na skupiny cestujúcich a samotný spoj (vozidlo). Spoj ukončí svoju cestu.



Obr. 22 Bloková schéma hierarchického bloku "Konečná zastávka"

Skupine cestujúcich sa prideli čas pobytu v dopravnom prostriedku T_{dpi} podľa vzťahu (21). Následne skupina cestujúcich ukončí svoju cestu.

4 Návrhy riešenia

Na základe výsledkov analýzy súčasného stavu dopravnej obsluhy v kapitole 2 sa zostavia jednotlivé alternatívy riešenia a následne sa simuláciou zistí hodnota celkového času premiestnenia $T_{celk.}$ Vzhľadom na vykonané prieskumy, určilo sa simulované obdobie od **6:00 do 8:00** (120 minút).

Pre účely modelovania jednotlivým zastávkam (uzlom) bolo priradené číslo (index) a počet cestujúcich smerujúcich na danú zastávku D_i :

$$D_i = \sum_0^k \sum_0^j O_j \cdot p_i \quad (23)$$

Kde:

D_i – počet cestujúcich smerujúcich na i-tú zastávku [osoba],

O_j – obsadenosť j-teho spoja k-tej linky, zistená profil. prieskumom [osoba],

p_i – podiel cestujúcich, vystupujúcich na i-tej zastávke zistený prieskumom počtu vystupujúcich osôb [%],

k – počet liniek obsluhujúcich i-tú zastávku [-],

j – počet spojov k-tej linky v simulovanom období [-].

Tab. 13 Počet cestujúcich smerujúcich na i-tú zastávku

i	Názov zastávky	D_i	i	Názov zastávky	D_i
1	Lingov	191	13	Železničná stanica	83
2	HM Tesco	47	14	Hlavná pošta	285
3	OD Mier	538	15	Poliklinika západ	285
4	Krajský úrad	63	16	Jakabov palác	155
5	Štadión TU	36	17	Nám. osloboditeľov	1006
6	Amfiteáter	197	18	Dom umenia	166
7	Stará radnica	45	19	Spoločenský pavilón	480
8	Nám. Maratónu mieru	119	20	Juh – Obch. centrum	48
9	Mlynská bašta	339	21	Palackého	451
10	Alvinczyho	192	22	Nad jazerom (OC Branisko)	64
11	Colnica	63	23	Pod furčou	201
12	Vodná	109			

4.1 Nulový variant

Nulový variant predstavuje súčasný stav dopravnej obsluhy analyzovaný v kapitole 2. Pre získanie hodnoty celkového času premiestnenia pre túto alternatívu bol zvolený numerický výpočet analogicky podľa vzťahu (15).

$$T_{celk} = \sum_{k=0}^k \sum_{i=0}^i (D_{ik} \cdot (t_{\varepsilon} + t_{dp})) \quad (24)$$

Kde:

T_{celk} – celkový čas premiestnenia	[min],
D_{ik} – počet cestujúcich smerujúcich na i-tú zastávku k-tou linkou	[osoba],
t_{ε} – čas čakania na spoj	[min],
t_{dp} – čas pobytu v dopravnom prostriedku, čas prepravy	[min],
k – celkový počet liniek	[-],
i – počet zastávok	[-].

Počet cestujúcich smerujúcich na i-tú zastávku k-tou linkou sa vypočíta:

$$D_{ik} = \sum_{j=0}^j O_j \cdot p_i \quad (25)$$

Kde:

D_{ik} – počet cestujúcich smerujúcich na i-tú zastávku k-tou linkou	[osoba],
O_j – obsadenosť j-teho spoja k-tej linky, zistená profil. prieskumom	[osoba],
p_i – podiel cestujúcich, vystupujúcich na i-tej zastávke zistený prieskumom počtu vystupujúcich osôb	[%],
j – počet spojov k-tej linky v simulovanom období	[-].

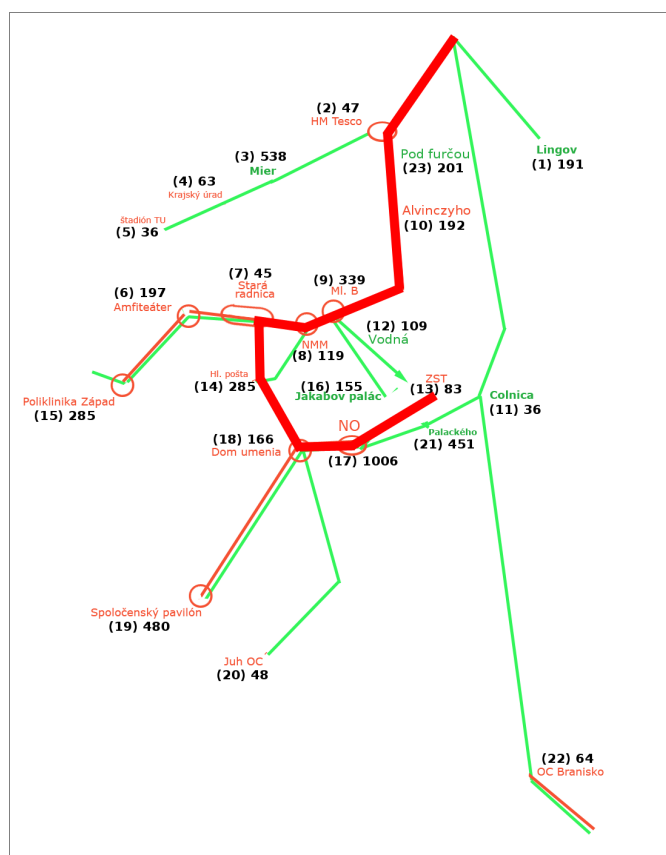
Čas čakania na spoj t_{ε} sa podľa vzťahu (4) pri predpoklade presnej dopravy rovná polovici intervalu dopravy na linke. Hodnota času pobytu v dopravnom prostriedku (čas prepravy) t_{dp} bola zistená z cestovného poriadku. Výpočet bol realizovaný pomocou tabuľkového procesora a je uvedený v prílohe. Hodnota celkového času premiestnenia pre nulový variant sa rovná:

$$T_{celk} = 100\,676,5 \text{ min}$$

Vypočítaná hodnota bude slúžiť na porovnanie s ostatnými návrhmi.

4.2 Návrh č. 1

Návrh č.1 navrhuje vedenie 1 električkovej linky v trase Sídliisko Ťahanovce – Nám. Maratónu mieru – Nám. osloboditeľov - Železničná stanica (Obr. 23). Ponúkané kapacity (intervaly) vychádzajú z potrieb zistených v kapitole 2 (Tab. 14).



Obr. 23 Trasa návrhu č. 1

Tab. 14 Ponúkané kapacity návrhu č. 1

Čas [h:min]	6:00 – 6:44	6:45 – 7:44	7:45 – 8:00
Interval [min]	5	3	5

Tab. 15 Prestupné zastávky

Názov zastávky	Prestup na smer	Prestupné linky
Sídl. Ťahanovce		
HM Tesco	Lingov	71, 72, 18, 55
	OD Mier	71, 72, 18, 55, 22
	Krajský úrad, Štadión TU	18, 55
	Pod furčou	22
Alvinczyho		
Mlynská bašta	Vodná, Jakabov palác	71, 72, 14, 16, 22, 29
Nám. Maratónu mieru	Amfiteáter, Poliklinika západ	6, 9
Stará radnica		
Hlavná pošta		
Dom umenia	Juh – Obch. centrum	16, 30
	Spoločenský pavilón	6
Nám. osloboditeľov	Nad jazerom (OC Branisko)	19
	Palackého, Colnica	15, 18, 19, 25, 30, 55, 20
Železničná stanica		

Priemerná hodnota celkového času premiestnenia pre návrh č. 1 zistená simulačným pokusom sa rovná:

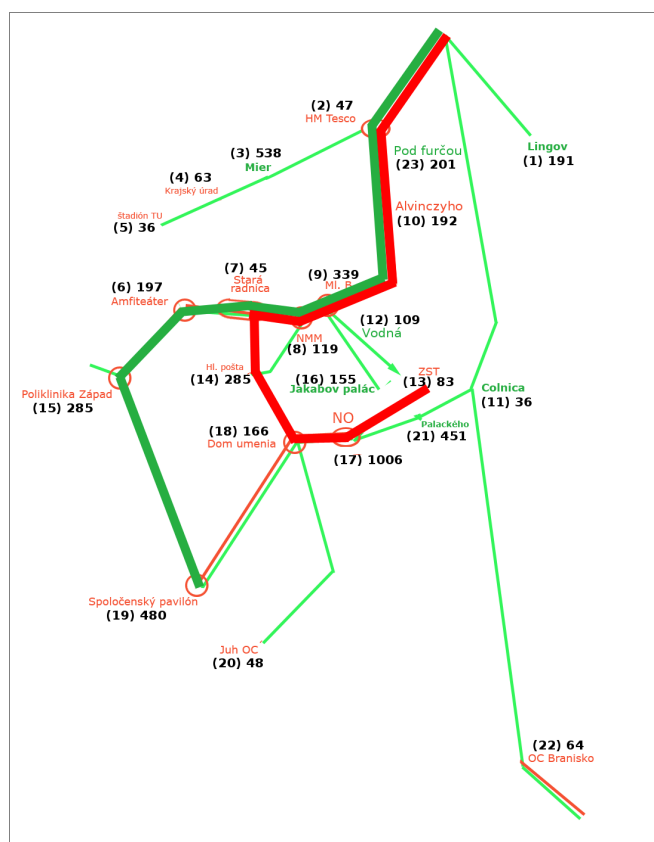
$$T_{celk} = 86\,427,5 \text{ min}$$

4.3 Návrh č. 2

Návrh č.2 navrhuje vedenie 2 električkových liniek v trase Sídlisko Ťahanovce – Nám. Maratónu mieru – Nám. osloboditeľov - Železničná stanica pre linku č. 1 (červená) a v trase Sídlisko Ťahanovce – Nám. Maratónu mieru – Trieda SNP (zelená) pre linku č. 2 (Obr. 24). Linka 2 predstavuje predĺženie súčasnej linky č. 6 z Námestia Maratónu mieru na Sídlisko Ťahanovce, čomu zodpovedajú aj intervaly na tejto linke. Keďže celkový počet spojov sa oproti návrhu č. 1 zvýšil iba o 1 spoj, vytvorenie novej linky (linky 2) spôsobilo zvýšenie intervalov na linke 1 (Tab. 16).

Tab. 16 Ponúkané kapacity návrhu č. 2

Čas [h:min]	6:00 – 6:44	6:45 – 7:44	7:45 – 8:00
Linka č. 1			
Interval [min]	8	5	5
Linka č. 2			
Interval [min]	10	10	10



Obr. 24 Trasy liniek návrhu č. 2

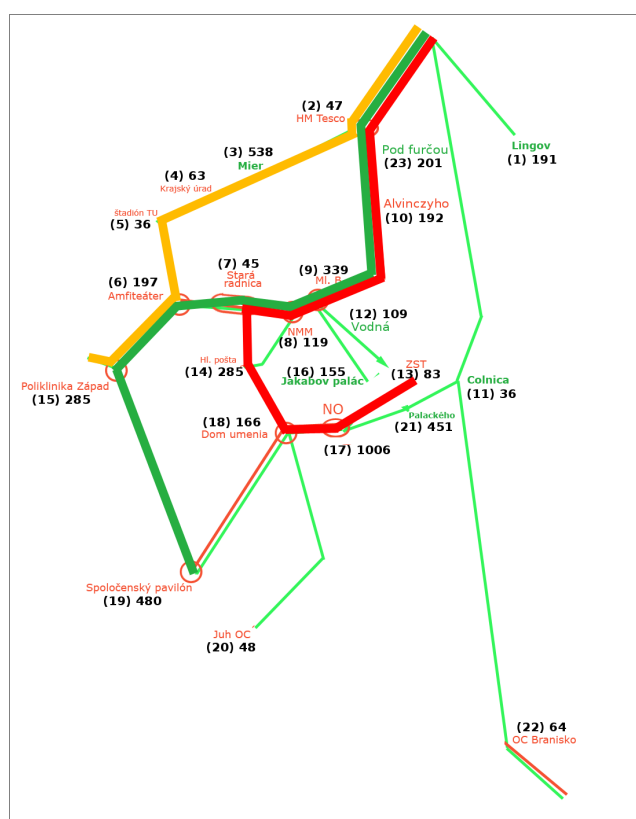
Priemerná hodnota celkového času premiestnenia pre návrh č. 2 zistená simulačným pokusom sa rovná:

$$T_{celk} = 89\,306 \text{ min}$$

4.4 Návrh č. 3

Návrh č.3 navrhuje vedenie 2 električkových liniek v trase Sídliisko Ťahanovce – Nám. Maratónu mieru – Nám. osloboditeľov - Železničná stanica pre linku č. 1

(červená), v trase Sídliisko Ťahanovce – Nám. Maratónu mieru – Trieda SNP (zelená) pre linku č. 2 a vedenie 1 autobusovej linky v trase Sídliisko Ťahanovce – Mier – Watsonova – Amfiteáter – Poliklinika západ s pokračovaním na Sídliisko KVP (oranžová) (Obr. 25). Intervaly pre električkové linky zostávajú zachované z návrhu č. 2. Pre autobusovú linku č. 3 je navrhnutý interval na zabezpečenie kapacitných potrieb obsluhovaných touto linkou (Tab. 17).



Obr. 25 Trasy liniek návrhu č. 3

Tab. 17 Ponúkané kapacity návrhu č. 3

Čas [h:min]	6:00 – 6:44	6:45 – 7:44	7:45 – 8:00
Linka č. 1			
Interval [min]	8	5	5
Linka č. 2			
Interval [min]	10	10	10
Linka č. 3			
Interval [min]	12	12	12

Priemerná hodnota celkového času premiestnenia pre návrh č. 3 zistená simulačným pokusom sa rovná:

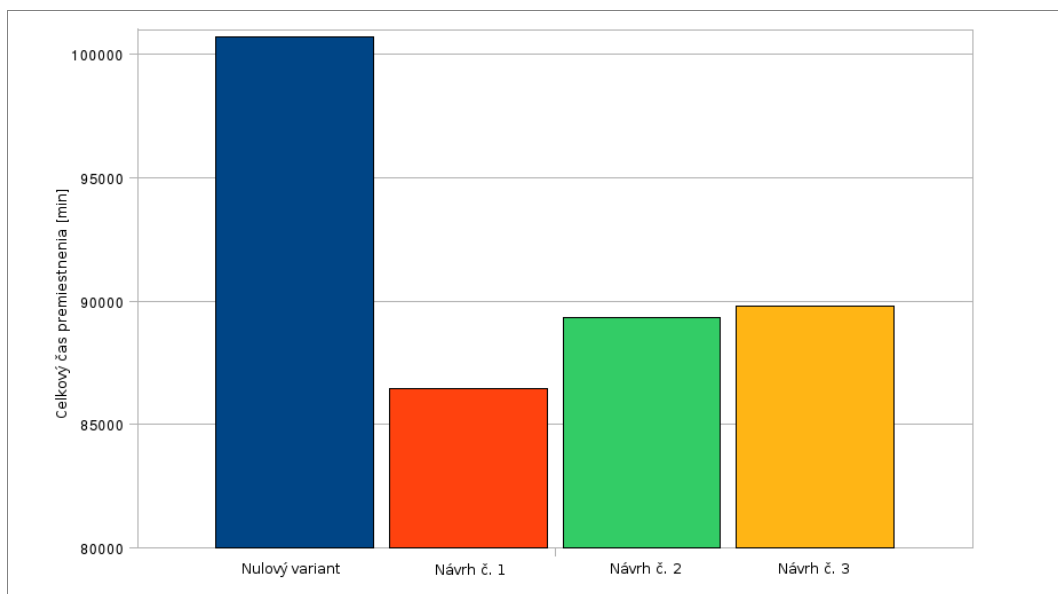
$$T_{celk} = 89\,788 \text{ min}$$

4.5 Zhodnotenie návrhov

Simulačný pokus určil hodnoty celkového času premiestnenia pre jednotlivé návrhy riešenia (Tab. 18). Porovnanie jednotlivých hodnôt vrátane hodnoty pre nulový variant je zobrazené v grafe (Obr. 26). Vo všetkých návrhoch v porovnaní so súčasným stavom (nulový variant) došlo k poklesu sledovanej hodnoty celkového času premiestnenia.

Tab. 18 Hodnoty celkového času premiestnenia pre jednotlivé návrhy

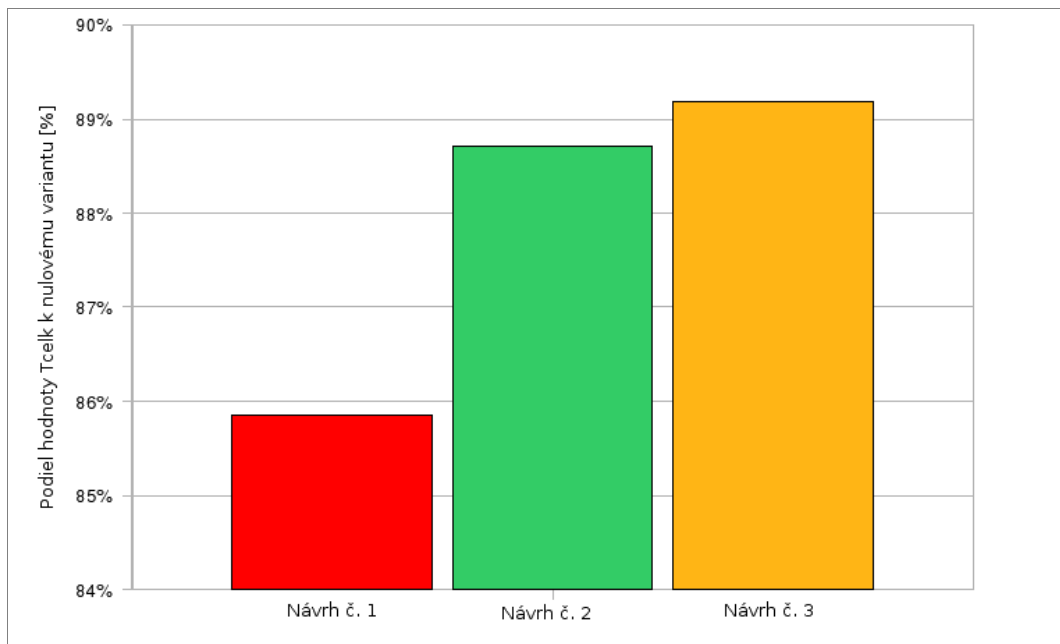
	T_{celk} [min]
Nulový variant	100 676,5
Návrh č. 1	86 427,5
Návrh č. 2	89 306,0
Návrh č. 3	89 788,0



Obr. 26 Porovnanie hodnôt celkového času premiestnenia pre jednotlivé návrhy

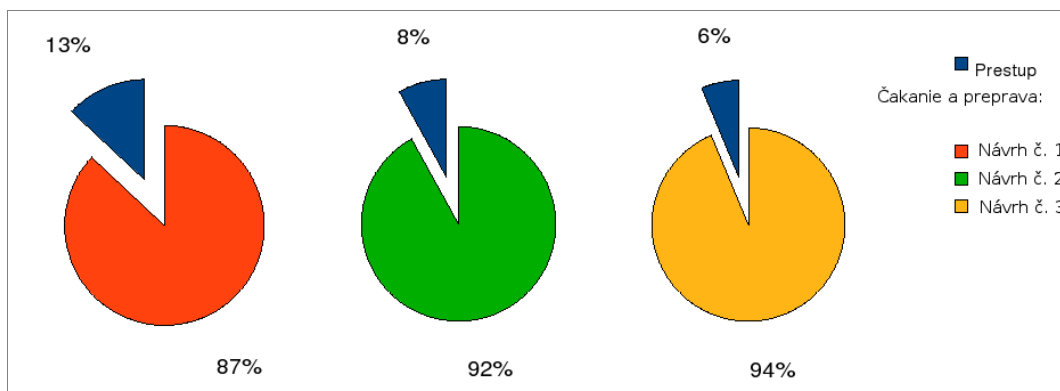
Najmenšiu hodnotu sledovanej veličiny dosiahol návrh č. 1. Výsledky pre návrh č. 2 a návrh č. 3 vykazujú malý vzájomný rozdiel (482 minút).

Podiel hodnoty celkového času premiestnenia jednotlivých návrhov k nulovému variantu zobrazený v grafe (Obr. 27) vyjadruje úsporu celkového času premiestnenia voči súčasnému stavu. K najväčšiemu zníženiu hodnoty celkového času premiestnenia došlo pri návrhu č. 1. Rozdiel medzi podielom hodnoty celkového času premiestnenia návrhu č. 2 a návrhu č. 3 k nulovému variantu predstavuje menej ako 1%.



Obr. 27 Podiel hodnoty celkového času premiestnenia jednotlivých návrhov k nulovému variantu

Podiel času prestupu, ktorý zahŕňa čas chôdze medzi prestupnými zastávkami a čas čakania na následný spoj, na celkovom čase premiestnenia zobrazuje graf (Obr. 28). Najmenší podiel bol dosiahnutý pri návrhu č. 3, najväčší podiel zaznamenal návrh č. 1.



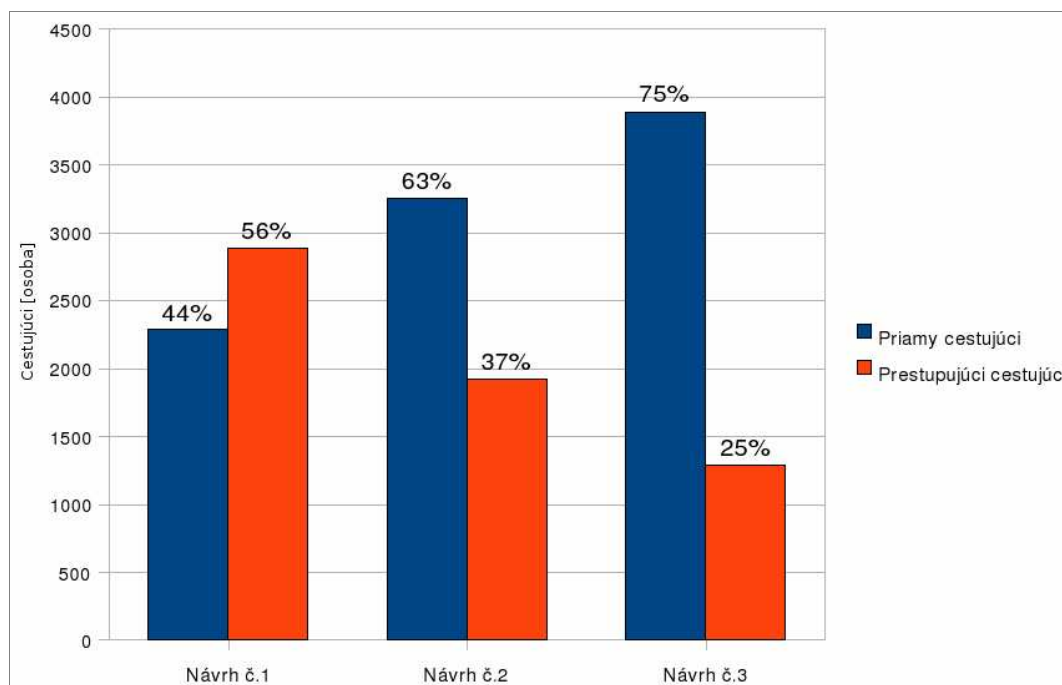
Obr. 28 Podiel času prestupu na celkovom čase premiestnenia pre jednotlivé návrhy

Počty cestujúcich a ich podiely, rozdelené na cestujúcich, ktorí sa dostali do cieľa cesty bez prestupu (priamy cestujúci) a prestupujúcich cestujúcich, sú zobrazené v tabuľke (Tab. 19) a grafe (Obr. 29). Najväčší počet cestujúcich, ktorí použili prestup

zaznamenal návrh č. 1, najviac priamych cestujúcich bolo v návrhu č. 3. V návrhu č. 1 počet prestupujúcich cestujúcich prevýšil počet priamych cestujúcich.

Tab. 19 Počet priamych a prestupujúcich cestujúcich pre jednotlivé návrhy

	Priamy cestujúci [osoba]	Prestupujúci cestujúci [osoba]
Návrh č. 1	2283	2881
Návrh č. 2	3245	1919
Návrh č. 3	3882	1282



Obr. 29 Počty a podiel priamych a prestupujúcich cestujúcich pre jednotlivé návrhy

4.6 Výber riešenia

Na základe hodnôt získaných simuláciou a zhodnotenia návrhov je možné pristúpiť k výberu riešenia, ktoré bude najviac vyhovovať určeným kritériám. Výber je realizovaný metódou zvaženej sumy (pomerovo-indexová metóda) z oblasti teórie multikritériálneho rozhodovania [15]. Jednotlivé kritériá a ich váhy sú uvedené v tabuľke (Tab. 20). Hodnotenie kritérií je v rozmedzí $\langle 0,100 \rangle$. Hodnotenie kritéria K_1 je vypočítané ako pomer celkového času premiestnenia jednotlivých návrhov k času premiestnenia stanoveného z rovnice (24) pri predpoklade $t_k = 0$, hodnotenie ostatných kritérií vychádza z výsledkov uvedených v predošlej podkapitole. Je potrebné

poznamenať, že zvolené kritériá nezohľadňujú všetky aspekty návrhov (napr. ekonomické hľadiská), ktorých hodnotenie presahuje rámec tejto bakalárskej práce. Návrh, ktorý dosiahol najvyššie výsledné hodnotenie najlepšie zodpovedá stanoveným kritériám (Tab. 21). Metódou zvaženej sumy bol vybraný návrh č. 3.

Tab. 20 Váhy kritérií

Kritérium		Váha [-]
K ₁	Celkový čas premiestnenia	0,75
K ₂	Podiel prestupujúcich cestujúcich	0,15
K ₃	Podiel času prestupu	0,10

Tab. 21 Hodnotenie návrhov podľa kritérií

Kritérium	Váha kritéria α_i	Návrh č. 1		Návrh č. 2		Návrh č. 3	
		Hodnotenie kritéria u_{1i}	$\alpha_i \times u_{1i}$	Hodnotenie kritéria u_{2i}	$\alpha_i \times u_{2i}$	Hodnotenie kritéria u_{3i}	$\alpha_i \times u_{3i}$
K ₁	0,75	66	49,50	64	48,00	64	48,00
K ₂	0,15	44	6,60	63	9,45	75	11,25
K ₃	0,10	87	8,70	92	9,20	94	9,40
Suma	1,00	-	64,80	-	66,65	-	68,65

5 Záver

V rámci tejto bakalárskej práce je prezentovaný návrh a konštrukcia simulačného modelu dopravnej obsluhy územia mestskou hromadnou dopravou. Pri vytváraní modelu v prostredí *Extend* boli použité modelovacie techniky a všeobecné poznatky z oblasti hromadnej prepravy osôb. Ako modelové parametre a vstupné premenné boli použité reálne údaje získané z dopravných prieskumov. Je potrebné poznamenať, že rozsah vykonaných prieskumov je nedostatočný z dôvodu časovej a ekonomickej náročnosti získavania údajov. V záujme presnosti výsledkov simulácie by bolo žiaduce vykonať smerový prieskum.

Na základe analýzy súčasného stavu boli navrhnuté možné varianty riešenia, pre ktoré boli následne simuláciou zistené hodnoty sledovaných účelových funkcií. Samotná štruktúra modelu umožňuje ľahké zostavenie ďalších alternatív a ich následné testovanie.

Hlavným prínosom bakalárskej práce je vytvorený koncept simulačného modelu použiteľného pre výber návrhov riešenia. Takýto prístup dopĺňa heuristické metódy posudzovania dopravnej obsluhy metódami exaktnými, kde rozhodujúci sa subjekt má k dispozícii presné hodnoty jednotlivých kritérií rozhodovania.

Nemenej dôležitým výsledkom bakalárskej práce je samotný výber riešenia dopravnej obsluhy pre územie Sídlička Ťahanovce v súvislosti s plánovanou výstavbou dopravnej infraštruktúry v rámci projektu KORID. Navrhnutým riešením je dosiahnuté zníženie hodnoty celkového času premiestnenia oproti súčasnému stavu.

Dosiahnuté výsledky simulácie preukázali, že znížením počtu liniek zabezpečujúcich dopravnú obslužnosť a následným znížením intervalov dopravy pri nezmenenej ponúkanej kapacite v porovnaní so súčasným stavom je možné dosiahnuť zníženie hodnoty celkového času premiestnenia.

V prípade dostupnosti smerového prieskumu je v budúcnosti vhodné rozšíriť model na celé obdobie dňa, najmä na obdobie popoludňajšej špičky kedy prevládajú prúdy cestujúcich smerujúce opačným smerom ako počas obdobia rannej špičky. Medzi ďalšie úlohy patrí rozšírenie kritérií pre výber návrhov riešenia o ekonomické a technologické kritériá.

Zoznam použitej literatúry

- [1] KAVIČKA, Antonín - KLIMA, Valent - ADAMKO, Norbert.: Agentovo orientovaná simulácia dopravných uzlov, Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 2005, s. 206, ISBN 80-8070-477-5
- [2] Systém (kybernetika). Wikipédia [online]. Aktualizované 2007-10-04 [cit 2007-10-14]. Dostupné na internete: <[http://sk.wikipedia.org/wiki/Systém_\(kybernetika\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Systém_(kybernetika))>.
- [3] ŠOTEK, Karel - HRNČIAR, Miroslav.: Technologické procesy v doprave a spojoch. Časť doprava., Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 1997, s. 204, ISBN 80-7100-424-3
- [4] FEDORKO, Gabriel.: Simulačné jazyky 2, Edičné stredisko AMS FBERG, Košice, 2005, s. 73, ISBN 80-8073-276-1
- [5] KALAŠOVÁ, Alica - PAĽO, Jozef.: Dopravné inžinierstvo – organizácia a riadenie dopravy, Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 2003, s. 165, ISBN 80-8070-076-1
- [6] SUROVEC, Pavel.: Tvorba systému mestskej hromadnej dopravy, Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 1998, s. 122, ISBN 80-7100-586-X
- [7] SUROVEC, Pavel.: Technológia hromadnej osobnej dopravy (cestná a mestská doprava), Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 1998, s. 136, ISBN 80-7100-494-4
- [8] SUROVEC, Pavel.: Provoz a ekonomika silniční dopravy I, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2000, s. 119, ISBN 80-7078-735-X
- [9] MATUŠKA, Jaroslav - MRZENA, Rudolf: Přestupní uzly a spotřeba cestovního času, In: Perner's Contacts, roč. 1 (2006), č.1, s. 61 -68, ISSN 1801-674-X
- [10] KUŠNIEROVÁ, Jela - HOLLAREK, Tomáš.: Metódy modelovania a prognózovania prepravného a dopravného procesu, Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina, 2000, s. 166, ISBN 80-7100-673-4
- [11] DANĚK, Jan - TEICHMANN, Dušan.: Optimalizace dopravních procesů., Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2005, s. 191, ISBN 80-248-0996-6
- [12] Demografické údaje. Mestská časť Košice - Sídliisko Ťahanovce [online]. Publikované: 2007-02-01. Dostupné na internete: <<http://mutah.tahanovce.sk:8080/mutah/web/sk/doc.jsp?id=50048&doc=94>>
- [13] Profilový prieskum MHD zo dňa 13.9.2006, Dopravný podnik mesta Košice a.s., 2006
- [14] Prezentácia návrhu KORID. Košický samosprávny kraj [online]. 2007-07-24. [cit 2007-10-31]. Dostupné na internete:

<<http://kosice.regionet.sk/NR/rdonlyres/C86B0E53-65A9-4AF7-B1B4-73BADD53A969/0/KORID1časť.ppt>>

- [15] BALOG, Michal - STRAKA, Martin: Optimálne rozmiestnenie komponentov mýtnych systémov, Zborník príspevkov konferencie e-Toll Slovakia '06, ročník 1, číslo 1, id22 - s. 1-33, WIRELESSCOM, s.r.o. vydavateľ časopisu Technologies & Prosperity, September 2006
- [16] Cestovné poriadky. mhd.sk, občianske združenie [online]. Publikované: 2000-2008, posledná aktualizácia 2008-01-08. [cit 2007-10-26]. Dostupné na internete: <<http://www.imhd.sk/ke/index.php?w=3825242e29ef2f302523ea>>

Prílohy

Príloha A: CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe.

Príloha B: Obrazová príloha

Príloha C: Dopravné prieskumy a tabuľky