

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

**AUTOREFERÁT
DIZERTAČNEJ PRÁCE**

Žilina, apríl, 2013

Ing. Juraj Cenek

Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky

Juraj Cenek, Ing.

Autoreferát dizertačnej práce

Priestorové plány liniek v regionálnej hromadnej osobnej doprave

na získanie akademického titulu „**Philosophiae doctor**“ (v skratke **PhD.**)
v študijnom programe doktorandského štúdia
aplikovaná informatika

v študijnom odbore:
9.2.9 aplikovaná informatika

Žilina, apríl 2013

Dizertačná práca bola vypracovaná v externej forme doktorandského štúdia na katedre dopravných sietí, Fakulte riadenia a informatiky Žilinskej univerzity v Žiline

Predkladateľ: **Ing. Juraj Cenek**
Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky
Katedra dopravných sietí

Školiteľ: **doc. Ing. Ľudmila Jánošíková, PhD.**
Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky
Katedra dopravných sietí

Oponenti: prof. RNDr. Pavol Kluvánek, CSc.
Katolícka univerzita Ružomberok

prof. Ing. Jan Čapek, CSc.
Univerzita Pardubice

prof. Ing. Jozef Gnap, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o h. pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce schválenou odborovou komisiou v študijnom odbore **9.2.9 aplikovaná informatika, v študijnom programe aplikovaná informatika**, vymenovanou dekanom Fakulty riadenia a informatiky Žilinskej univerzity v Žiline dňa

.....

Prof. Ing. Martin Klimo, PhD.
predseda odborovej komisie
študijného programu Aplikovaná informatika
v študijnom odbore 9.2.9 Aplikovaná informatika

Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

1 Úvod

Systém verejnej hromadnej dopravy má zabezpečovať poskytovanie služieb prepravy cestujúcich. Jedná sa teda o verejnú službu; ktorá musí na jednej strane poskytnúť aspoň minimálnu oprávnenú kvalitu služieb všetkým občanom a na druhej strane je poskytovanie služieb riadené podmienkami trhového hospodárstva. Znamená to, že poskytovateľ služieb (doprovca) sa snaží maximalizovať zisk z prevádzkovania služieb a cestujúci má záujem o čo najvyššiu kvalitu poskytovaných služieb pri ich čo najnižšej cene.

Samozrejme, že pri nutnosti zabezpečiť minimálnu dopravnú obslužnosť všetkým občanom nemôžu byť niektoré služby rentabilné a organizácie štátnej správy preto musia do tohto trhového prostredia zasahovať a poskytovať subvencie, ktoré umožnia odstránenie nerovnováhy medzi požadovaným množstvom a oprávnenou úrovňou kvality a ceny poskytovaných služieb a medzi oprávnenými nákladmi poskytovateľov týchto služieb. Práva a povinnosti všetkých zúčastnených strán je upravený zákonnými normami a vyhláškami.

Jednou z možných ciest, ako dosiahnuť čo najlepší kompromis medzi záujmami cestujúcich a poskytovateľov dopravných služieb, je optimálne plánovanie a riadenie systému verejnej hromadnej dopravy. Proces plánovania dopravnej obsluhy v regióne môžeme rozdeliť na 4 základné kroky (ako uvádza Ceder [21, 22, 23]):

- návrh siete dopravných liniek,
- plánovanie cestovných poriadkov dopravných spojov,
- návrh budovania parku vozidiel,
- operatívne plánovanie obehov vozidiel a posádok.

Vo svojej práci som sa zamerlal na prvý krok, ktorým je plánovanie geografického vedenia liniek verejnej hromadnej dopravy v regióne (typicky na úrovni samosprávnych územných celkov).

1.1 Význam a aktuálnosť riešeného problému a základná terminológia

Doprava je služba premiestňovania objektov z miesta na miesto v požadovanom čase. Objektom môžu byť predmety, osoby, ale napríklad aj informácie alebo energia. Doprava sa uskutočňuje s využitím dopravných prostriedkov, dopravnej infraštruktúry a organizácie dopravy. Podľa toho, čo sa prepravuje, môžeme dopravu rozdeliť na:

- osobnú dopravu,
- nákladnú dopravu.

Doprava osôb sa dá takisto rozdeliť na dopravu individuálnu (motocykel, osobný automobil) a hromadnú (autobus, vlak, dopravné lietadlo).

Ďalšie rozdelenie je na dopravu neverejnú (vlastný automobil, zmluvná jazda autobusom, súkromné lietadlo) a verejnú (taxi, verejná hromadná doprava).

Hromadná osobná doprava je systém prepravy cestujúcich na úrovni mesta (MHD), okresu (prímestská doprava), kraja (diaľková), štátu atď. Spravidla pozostáva z cestnej (autobusovej, trolejbusovej) alebo koľajovej dopravy (metro, električka, rýchlodráha, vlak), alebo často z ich kombinácie.

Priemyselná revolúcia a urbanizmus vytvorili potrebu ľudí pravidelne cestovať z miest svojich bydlísk za prácou, do škôl, zdravotníckych zariadení či za nákupom vo väčších mestách. Vzhľadom na to, že individuálny osobný dopravný prostriedok je formou luxusu, ktorý si nemôže dovoliť každý, resp. nie každý môže viesť osobný dopravný prostriedok (deti, dôchodcovia, alebo hendikepovaní občania), vznikla potreba zavedenia hromadnej osobnej dopravy. Od podnikateľských aktivít prvých dopravcov sa trh s prepravnými službami v osobnej doprave značne rozrástol a vznikla potreba dopravu organizovať. Vo väčšine krajín

organizáciu hromadnej dopravy zastrešujú ministerstvá dopravy, ktoré delegujú svoje rozhodovacie právomoci nižším orgánom (kraje, okresy a pod.). V súčasnosti je na Slovensku verejná hromadná doprava dotovaná štátom. Keďže štát do rezortu dopravy prerozdeľuje financie všetkých daňových poplatníkov, vzniká nutnosť poskytnúť dopravnú obsluhu každému občanovi. Služby verejnej hromadnej dopravy teda pokrývajú všetky obce štátu, či už ide o ziskové, alebo stratové služby.

Či už sa jedná o osobnú alebo nákladnú dopravu, oba druhy dopravy majú narastajúci trend. Globalizácia prispieva veľkou mierou k potrebe prepravovať čoraz väčšie objemy rôznych tovarov, alebo osôb. Rozrastajúce sa obchodné reťazce vyžadujú zložité logistické riešenia pre zásobovanie tovarmi, vznik nadnárodných spoločností vyžaduje prepravu osôb na čoraz väčšie vzdialenosti, obyvateľstvo cestuje za prácou čoraz ďalej, taktiež centralizované služby ako napríklad zdravotnícke zariadenia či úrady vyžadujú využitie prostriedkov osobnej dopravy. Tieto skutočnosti majú za následok saturovanie dopravných infraštruktúr. Cestná infraštruktúra je najviac postihnutou týmto fenoménom.

V súčasnosti sa čoraz častejšie stretávame s kolónami alebo dopravnými zápchami, čo preťažuje cestné úseky a predlžuje jazdné doby. Nedisciplinovanosť a netrpezlivosť šoférov v takýchto situáciách je dôvodom vysokej nehodovosti. Výstavba nových komunikácií s vyššou kapacitou zaostáva za prudkým nárastom počtu predovšetkým individuálnych osobných dopravných prostriedkov. Mohutný nárast počtu automobilov na cestách má negatívny dopad na životné prostredie, a to nielen produkciou výfukových plynov, ale taktiež problematickou recykláciou ojazdených automobilov, motorových olejov a iných náplní, či nadmerným opotrebovaním cestných úsekov, ktoré taktiež vyžadujú materiál na rekonštrukciu pochádzajúci z obmedzených zdrojov. V neposlednom rade neustále narastá spotreba pohonných hmôt, ktoré sa vo väčšine prípadov vyrábajú z ropy, ktorá tiež patrí medzi obmedzené zdroje.

Uvedené problémy sú spôsobené prudkým rastom dopravných potrieb spoločnosti. Alarmujúci stav dopravy poukazuje na nutnosť efektívneho riešenia vzniknutého stavu. Zníženie počtu dopravných prostriedkov pri zachovaní prepravovaných objemov je možné iba zvýšením ich kapacity. V osobnej doprave je to možné jedine poskytnutím pozitívnej motivácie (nižšia cena, vyššia rýchlosť, komfort a bezpečnosť) alebo negatívnym tlakom na cestujúcich (poplatky za parkovanie, cestná daň, prednosť hromadných dopravných prostriedkov) tak, aby využívali hromadnú dopravu. Pozitívny tlak na obyvateľstvo, teda nízka cena, rýchlosť a komfort hromadnej dopravy sú nutné predpoklady pre motivovanie obyvateľstva za účelom väčšieho využitia hromadnej dopravy. Schopnosť hromadnej dopravy konkurovať individuálnej je teda kľúčovým problémom pri znižovaní počtu dopravných prostriedkov v osobnej doprave. Ďalšou možnosťou využitia dopravných prostriedkov s vyššou kapacitou je presunutie časti cestnej osobnej dopravy na železnicu (vyžitie železničnej osobnej dopravy paradoxne v posledných rokoch klesalo [1]), ktorá poskytuje väčšiu kapacitnú variabilitu, a je možné vytvoriť koľajové súpravy s väčšou kapacitou.

Pokiaľ sa na uvedenú problematiku pozrieme z pohľadu cestujúceho, môžeme sformulovať základné požiadavky na hromadnú dopravu, aby vytvorila reálnu konkurenciu individuálnej doprave. V prvom rade je to cena, ktorá je však väčšinou nižšia ako u individuálnej dopravy, takže preferovanie individuálnej dopravy nie je determinované cenou dopravy. Ďalším dôležitým aspektom ktorý možno ovplyvniť, je rýchlosť, ktorá závisí na čakacích dobách na spoj, samotnej trase po ktorej je cestujúci dopravovaný z miesta nástupu do cieľa cesty, počte prestupov a čakacích dobách na prípoj a na technických parametroch vozidla. Takže jedna z kľúčových úloh pre zefektívnenie hromadnej osobnej dopravy je úloha samotného plánovania liniek, teda linkotvorba, ktorú bude táto práca riešiť.

1.2 Systém verejnej hromadnej dopravy

Systém verejnej hromadnej dopravy môžeme popísať ako systém poskytujúci dopravné služby cestujúcej verejnosti za stanovenú cenu na objednávku alebo podľa zverejnených cestovných poriadkov prostredníctvom dopravných prostriedkov osobnej hromadnej dopravy. Medzi dopravné služby patrí nielen samotná doprava cestujúcich, ale aj odbavovanie cestujúcich (napr. odbavenie na letisku), preprava batožiny cestujúcich, služby spojené s čakaním alebo prestupmi. Za dopravné prostriedky osobnej hromadnej dopravy môžeme považovať lietadlá, autobusy, vlaky alebo lode určené na prepravu osôb. Pod pojmom regionálna doprava rozumieme dopravnú obsluhu určitého územia za účelom uspokojenia dopravných požiadaviek obyvateľstva na regionálnej úrovni – doprava do zamestnaní, nemocníc, škôl a pod. Ďalej sa budeme venovať iba pozemnej doprave – teda železničnej a autobusovej doprave, ktoré sú z pohľadu prepravných kapacít ako aj z pohľadu geografickej situácie rozhodujúcimi druhmi dopravy v SR.

1.3 Základná dopravná obsluha

Pri konštruovaní systému verejnej hromadnej dopravy vzniká otázka komu resp. kde dopravnú obsluhu ponúkať aj pri prípadnej stratovosti liniek, a naopak kde resp. komu dopravnú obsluhu neposkytovať. Vzhľadom na fakt, že dopravné služby sú predmetom konkurenčného boja v prostredí trhovej ekonomiky a každý dopravca môže pri dodržaní legislatívnych podmienok vykonávať prepravu osôb na ľubovoľnej trase, pri riešení plánu dopravnej obsluhy bude mať význam iba dopravná obsluha poskytovaná obyvateľstvu štátom, resp. štátnymi organizáciami a nimi poverenými subjektmi. Jediné legislatívne vymedzenie nájdeme v zákone 164/1996 Z.z. o dráhach [2], kde je vymedzený pojem „základná dopravná obslužnosť“. Pod týmto pojmom rozumieme ponúknutie dopravnej služby obyvateľstvu za účelom prepravy do škôl, zamestnaní, za službami či do zdravotníckych zariadení. Základná dopravná obsluha je teda služba ponúkaná obyvateľstvu a je dotovaná zo štátnych zdrojov, teda z financií daňových poplatníkov, preto by táto služba mala byť poskytnutá každému obyvateľovi a teda dopravná príležitosť by mala byť spravodlivo rozdelená. Problematické sú obce s nízkym počtom obyvateľov, kde väčšina spojov je málo vyťažená, a teda vzniká otázka akým spôsobom riešiť dopravnú obsluhu takejto obce. Ďalším problémom je stanovenie spádových centier pre jednotlivé obce obsluhovaného regiónu. Pod pojmom spádové centrum rozumieme v danom kontexte obec, ktorá slúži ako prestupný uzol a tiež ako lokálne centrum pre poskytnutie centralizovaných služieb ako napr. zdravotníctvo, školstvo a pod. Spádové centrum musí spĺňať kritériá vyplývajúce z definície základnej dopravnej obsluhy, ale taktiež musí byť prirodzeným centrom regiónu, aby nenastal stav, kedy bude obec priradená k spádovému centru, do ktorého obyvatelia danej obce nebudú mať záujem cestovať.

1.4 Trasovanie liniek osobnej hromadnej dopravy

Na úvod tejto kapitoly je potrebné zadefinovať pojmy linka, relácia a spoj:

Linka je základný pojem z oblasti verejnej hromadnej dopravy. Pod týmto pojmom rozumieme takú postupnosť zastávok určitého druhu hromadnej dopravy, ktorá obsahuje všetky zastávky, na ktorých zastavuje aspoň jeden jej spoj, a postupnosť zastávok všetkých spojov je možné zapísať vo vzostupnom resp. zostupnom poradí indexov v postupnosti zastávok linky.

Relácia je dopravné spojenie definované začiatočným a koncovým miestom.

Spoj môžeme popísať ako konkrétnu realizáciu trasy linky, teda spoj má definovanú časovú polohu a postupnosť zastávok s prechodovými časmi medzi nimi, vybranú z trasy linky.

Úlohou trasovania liniek je obslúžiť všetky dopravné požiadavky na sieti. Takto formulovaná úloha je veľmi náročná. Vo všeobecnosti môžeme konštatovať, že každá oblasť má svoje centrum, ktoré je prirodzeným zdrojom pracovných miest, sú v ňom centralizované služby a úrady. Dopravnú obsluhu regiónu teda môžeme vzťahovať na regionálne centrum. Úlohu je teda možné zjednodušiť stanovením centra (resp. viacerých centier), čo nám umožní použitie jednoduchšieho modelu a teda aj jednoduchších optimalizačných metód. Iným pohľadom by bolo riešiť úlohu ako sieťový problém s predpísaným počtom cestujúcich z každého do každého iného miesta v sieti.

Pre hodnotenie kvality návrhu musíme stanoviť kritériá hodnotenia. Na dopravnú obsluhu existujú dva pohľady – dopravcu a cestujúceho.

Prioritou dopravcu (aj štátu, ktorý dopravu subvencuje) je vynaložiť na dopravnú obsluhu čo najnižšie náklady, príp. maximalizovať zisk, ak by doprava nebola stratová. Náklady dopravcu sú determinované počtom ubehnutých kilometrov, ale aj priemernou obsadenosťou vozidla, pretože každý cestujúci zaplatí cenu cestovného lístka, takže celkové náklady je možné znížiť o celkové tržby. Z toho môžeme vyvodiť nasledujúce kritériá hodnotenia kvality z pohľadu dopravcu:

- počet najjazdených kilometrov (subvencovaných),
- počet naprázdno najjazdených kilometrov (nesubvencovaných),
- priemerná obsadenosť vozidiel.

Z pohľadu cestujúceho je prvoradá rýchlosť dopravy a jej cena. Rýchlosť dopravy je determinovaná technickými parametrami vozidiel a infraštruktúry, ktoré budeme brať ako fixné, ďalej je to frekvencia spojov, počet prestupov a trasa spoja. Frekvencia spojov determinuje časovú stratu medzi časom vzniku dopravnej požiadavky a samotným nástupom do vozidla, teda je to čas čakania na spoj. Každý prestup je spojený s časovou stratou, t.j. dobou po ktorú musí cestujúci čakať, kým bude nadväzujúci spoj pristavený k nástupu, resp. bude mať čas odchodu. Prestup je taktiež výrazným znížením komfortu cestujúceho, čo tiež nie je zanedbateľný faktor, aj keď je vnímaný subjektívne, a je ho ťažké kvantifikovať. Samotná trasa, po ktorej je cestujúci dopravovaný z miesta nástupu do cieľového miesta nemusí byť najkratšou resp. najrýchlejšou možnou cestou, takže odchýlka trasy spoja použitého pre uspokojenie dopravnej požiadavky od najkratšej trasy determinuje časové straty od ideálneho prípadu, kedy by bol cestujúci dopravený po najkratšej trase. Od dĺžky trasy, resp. od počtu obslužených obcí alebo zastávok sa taktiež odvíja časová strata od ideálneho prípadu z pohľadu cestujúceho, čiže doprava z jedného miesta do druhého bez prestupov, iných zastávok a po najkratšej trase. Všetky uvedené kritériá môžeme zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- celková resp. priemerná doba pobytu cestujúceho vo vozidle,
- celkový resp. priemerný počet prestupov,
- cena cestovného,
- celková resp. priemerná časová strata (ekvivalentne priemerná cestovná rýchlosť).

V ďalšom texte uvediem základné problémy, ktoré je potrebné riešiť. V prvom rade je nutné stanoviť počiatočnú, resp. koncovú obec, ktorú obyvatelia prirodzene berú za svoje spádové centrum, zväžiť mieru zníženia kvality dopravy prípadnými prestupmi. V ďalšom kroku je nutné zväžiť možné zachádzky a nimi spôsobené časové straty a určiť obce, ktoré majú byť obslužené ako nácestné tak, aby neboli spoje nevyužité resp. preťažené. Cestujúca verejnosť je veľmi citlivá na zmeny a väčšinou zachádzka kvôli obsluženiu nácestnej obce má za následok zníženie počtu cestujúcich. V SR sa trasovanie liniek doposiaľ tvorilo intuitívne, na základe požiadaviek predstaviteľov obcí prípadne na základe interaktívneho prístupu.

Interaktívny prístup znamená, že sa analyzuje vplyv zmeny na systém a v prípade negatívneho vplyvu sa zvolí iná trasa. Na základe monitorovania obsadenosti je možné zistiť,

či sa využitie konkrétneho spoja zvýšilo, resp. znížilo, čo je hlavným ukazovateľom vhodnosti zmien v systéme. V praxi často dochádza k degenerácii riešenia. Niektoré prijaté zmeny (napr. zmena trasy alebo časovej polohy spoja) majú za následok úbytok cestujúcich na danom spoji, čo je na strane organizátora dopravy chápané tak, že o dopravu nie je záujem, a teda spoj sa zruší. Niektoré obce v niektorých dňoch dokonca nemajú žiadnu dopravnú obsluhu. Pre takéto prípady môžeme sformulovať rečnícku otázku: „Je málo cestujúcich, lebo je ponuka dopravných príležitostí nevyhovujúca, alebo je málo dopravných príležitostí kvôli skutočnému nedostatku cestujúcich?“ Ak sa dopravná obsluha zredukje na 1-2 spoje denne, pre občanov danej obce je bezpredmetná, lebo môže nastať situácia, že obyvatelia ktorí vycestovali z danej obce nemajú možnosť sa do obce naspäť vrátiť, resp. s významnou časovou stratou, preto radšej použijú individuálnu dopravu. V takýchto prípadoch môže byť hromadná doprava zabezpečená pomocou lacnejších nízkokapacitných dopravných prostriedkov hromadnej obsluhy (minibusy).

2 Popis problému

V ďalších kapitolách sa budeme venovať problému priestorového plánu liniek, jeho súčasným riešeniam v SR a vo svete a dostupným prostriedkom pre plánovanie dopravy.

2.1 Vstupy pre riešenie

Základom pre riešenie každej úlohy sú vstupné údaje. V prípade riešenia priestorového plánu liniek sú základnými vstupmi dáta o dopravnej infraštruktúre a dáta o prepravných požiadavkách. Popis týchto vstupov je v nasledujúcich podkapitolách.

2.1.1 Dáta o dopravnej infraštruktúre

Infraštruktúra je pevná časť dopravného systému, po ktorej sa pohybujú vozidlá. Charakter infraštruktúry je determinovaný typom dopravných prostriedkov, ktoré po nej premávajú. Môžeme teda hovoriť o železničnej infraštruktúre, ktorú tvoria koľajnice a výhybky, a o cestnej infraštruktúre, ktorú tvoria cesty, križovatky a pod. Dopravnú infraštruktúru môžeme popísať pomocou jej uzlov a úsekov.

Pod uzlami rozumieme križovatky úsekov infraštruktúry, alebo iné miesta do ktorých vchádzajú alebo z nich vychádzajú úseky (obce, zastávky a pod.).

Úseky sú dopravné cesty spájajúce uzly.

Ako matematický model dopravnej infraštruktúry môžeme použiť graf. Vrcholy grafu budú reprezentovať uzly a hrany budú reprezentovať úseky.

2.1.2 Zber údajov o dopravných požiadavkách obyvateľstva

Nemenej dôležitou súčasťou prípravy vstupných dát pre riešenie dopravnej obsluhy je zber údajov o prepravných požiadavkách a ich analýza. Prepravné požiadavky na dopravnej sieti vyjadruje tzv. O-D matica (O - origin, D - destination). V O-D matici predstavuje každý riadok a každý stĺpec jednu obec v dopravnom systéme a prvky matice vyjadrujú počet prepravných požiadaviek medzi obcami reprezentujúcimi príslušný riadok a stĺpec.

3 Cieľ práce

Po zhrnutí úloh pri návrhu liniek verejnej hromadnej dopravy a dostupných metód riešenia môžem konštatovať, že sa jedná o veľmi náročnú problematiku, ktorú môžeme len ťažko úplne formalizovať, optimálne riešiť a výsledky riešenia potom realizovať v praxi. Preto som sa rozhodol hľadať a navrhnúť také postupy, ktoré by čo najlepšie zodpovedali reálnej skutočnosti, boli riešiteľné dostupnými výpočtovými prostriedkami v prijateľnom čase a dávali dobré riešenie (aj keď zväčša nie celkom optimálne), ktoré môže byť použité ako

prvý návrh pre ďalšie spresňovanie v interaktívnom režime dopravným plánovačom prípadne pre návrh a posudzovanie možných plánov cestujúcou verejnosťou. Preto cieľom práce je:

- navrhnúť metódu pre tvorbu priestorového plánu liniek na úrovni územnosprávnych celkov, ktorý bude vychádzať z reálnych požiadaviek a zodpovedať podmienkam dopravnej praxe,
- na reálnych dátach overiť správnosť a kvalitu riešenia.

Po teoretickej stránke bude základom práce návrh modelov a algoritmov riešenia vhodných pre riešenie úlohy plánovania liniek na úrovni územnosprávnych celkov, ktoré majú svoje špecifiká napríklad v smerovaní hlavných dopravných prúdov do oblastných stredísk a späť. Metódy riešenia potom budú využívať poznatkov z teórie grafov, matematického programovania a heuristických a interaktívnych metód hľadania riešení.

Praktická stránka práce bude zameraná na praktickú realizovateľnosť navrhnutých riešení. Ako už bolo poznamenané, nie je možné hľadať teoreticky optimálne riešenia bez zvažovania všetkých vplyvov na kvalitu riešenia a jeho prijatia cestujúcou verejnosťou. Preto za veľmi dôležitú časť riešenia považujem aj prípravu a predspracovanie vstupných dát a ich spájanie z rôznych zdrojov. Druhou časťou prípravy prakticky použiteľných návrhov je zrozumiteľný výstup výsledkov návrhu, ktorý je potom použitý pri konzultácii s odbornými útvarmi dopravného plánovania a tiež môže byť poskytnutý cestujúcej verejnosti k pripomienkovaniu.

Obidva praktické ciele práce vychádzajú z praktických skúseností pri plánovaní liniek hromadnej dopravy a sú nutnou časťou riešenia. Aj keď sú z hľadiska teoretických prínosov a čisto vedeckého hľadiska menej zaujímavé, bez ich implementácie by výsledky riešenia boli len akademickým pohľadom na problematiku s malou nádejou na reálne uplatnenie v dopravnej praxi.

4 Metodika práce

Nakoľko je riešenie úlohy závislé od použitých vstupných dát, budeme sa najprv zaoberať vstupnými dátami, ktoré použijeme na overenie navrhnutých algoritmov. Pre experimenty na reálnych dátach boli vybrané dve oblasti – Nitriansky samosprávny kraj (NSK) a Žilinský samosprávny kraj (ŽSK). Pre obidve riešené oblasti boli vytvorené vstupné dáta s rovnakou štruktúrou a z rovnakých zdrojov.

4.1 Príprava dát

Dáta pre riešenie úlohy priestorového plánu dopravnej obsluhy boli získané z troch rôznych zdrojov. Tieto dáta bolo pre účely riešenia nutné prepojiť tak, aby boli autobusové zastávky stotožnené s príslušnými obcami, železničné zastávky a stanice stotožnené s obcami. Obce predstavujú vrcholy grafu dopravnej infraštruktúry, a množina hrán grafu pozostáva z úsekov cestnej i železničnej infraštruktúry a hrán umožňujúcich prestupy medzi rôznymi typmi dopravy.

4.2 Spracovanie dát o dopravných požiadavkách

Dáta o predaji cestovných lístkov bolo potrebné bezstratovo prepojiť medzi sebou a priradiť ich prvkom dopravnej infraštruktúry. Pre účely riešenia plánu dopravnej obsluhy sú relevantné iba informácie odkiaľ, kam a koľko cestujúcich sa chce prepraviť. Pre prehľadné uloženie dát sa používa tzv. O-D (origin-destination) matica. Každý stĺpec a každý riadok reprezentuje jednu obec, a príslušný prvok matice reprezentuje počet cestujúcich, ktorý cestoval z obce reprezentovanej príslušným riadkom do obce reprezentovanej príslušným stĺpcom. Vstupné dáta z autobusových cestovných lístkov obsahujú názvy zastávok

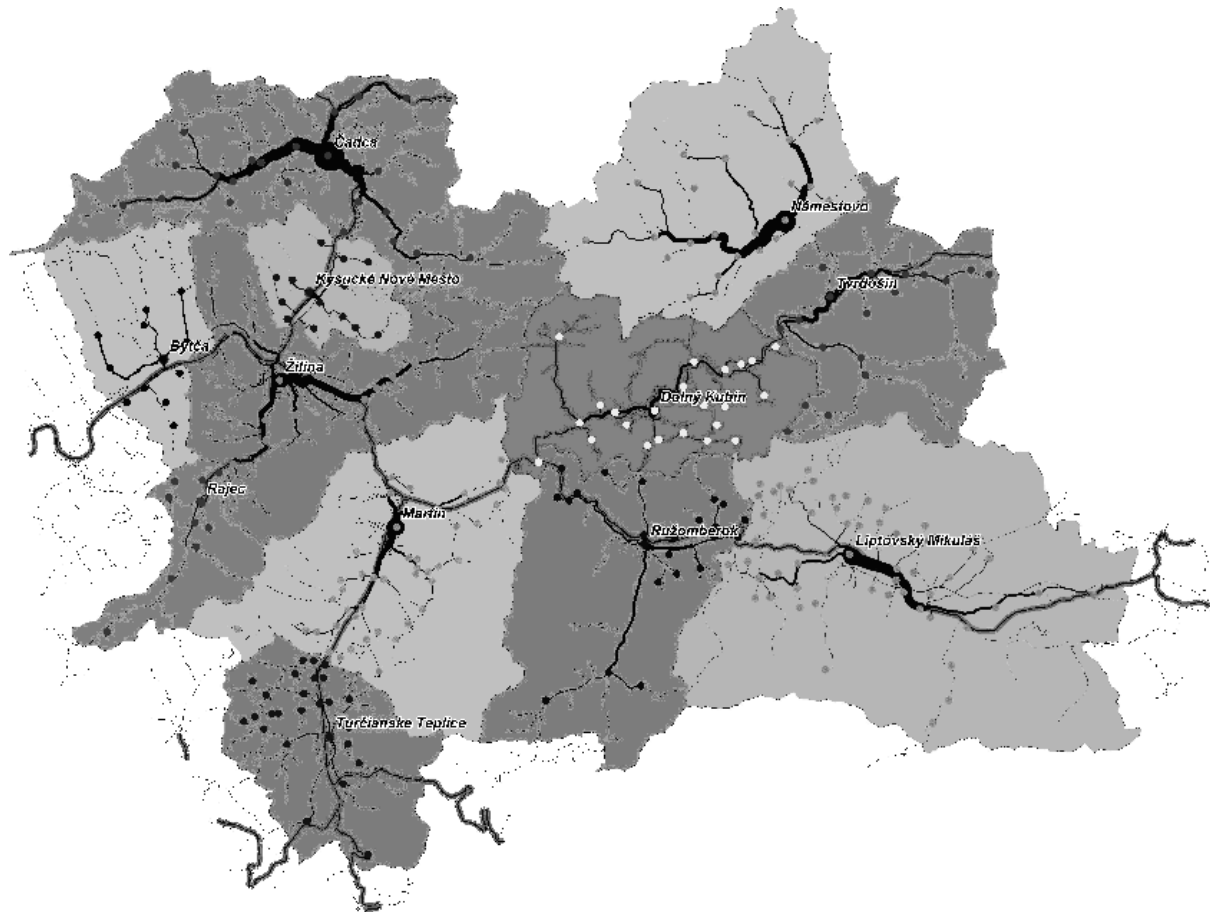
pozostávajúce z názvu obce, názvu časti obce a názvu zastávky, čo by malo postačiť na jednoznačné napárovanie všetkých zastávok na príslušné obce. Bezstratové napárovanie vyžadovalo podrobnú analýzu, ktorá ukázala nasledujúce nezrovnalosti medzi názvami obcí z dát infraštruktúry a z dát o predaji cestovných lístkov:

- duplicitné názvy obcí (dve obce s rovnakým názvom v rôznych okresoch),
- skracovanie časti názvu obce (nad – n., pri – p. atď.),
- rôznosť vo veľkých a malých písmenách vo viacslovných názvoch,
- úplná absencia časti názvu („Konská pri Rajci“ a „Konská“),
- iný názov obce (v lístkoch lokálne používaný názov, v dátach o dopravnej infraštruktúre oficiálny názov obce, napr. Železnô a Železné).

Na napárovanie vstupov s takouto škálou rôznych odchýlok bolo v niektorých prípadoch potrebné zvoliť interaktívny prístup.

4.3 Heuristický algoritmus výberu trás liniek

Ako už bolo spomenuté, pokiaľ má hromadná osobná doprava plniť svoj účel, a nedegenerovať do extrému, kedy bude spĺňať iba zákonnú povinnosť poskytnutia dopravnej obsluhy, musí maximalizovať spokojnosť zákazníka, aby bol dopyt po doprave čo najväčší, a teda cena čo najnižšia, resp. čo najväčší zisk. Takto postavená úloha musí v prvom rade rešpektovať záujmy cestujúceho. Základné požiadavky cestujúceho, riešením tejto úlohy ovplyvniteľné, sú rýchlosť a komfort jazdy bez prestupov (každý prestup znamená predĺženie doby cestovania minimálne o časový posun medzi príchodom jedného spoja a odchodom druhého, a nepohodlie s tým spojené). Ak teda má byť cesta pre čo najväčší počet cestujúcich čo najrýchlejšia a bez prestupov, je potrebné zistiť, odkiaľ, kam a koľko cestujúcich smeruje. Toto sa dá vizualizovať pomocou tzv. pentlogramu, ktorý vizualizuje tok cestujúcich na úseku dopravnej siete priamo úmernou hrúbkou čiary, reprezentujúcej daný úsek. Aby bolo možné zobrazit' pentlogram riešenej oblasti, bolo potrebné naniest' prúdy cestujúcich z OD matice na jednotlivé úseky cestnej siete. Pokiaľ má byť rešpektovaná požiadavka čo najrýchlejšej dopravy, jednotlivé prúdy musia byť nanesené na najkratšiu cestu medzi miestom vzniku dopravnej požiadavky a cieľom dopravnej požiadavky bez ohľadu na druh dopravy. Výsledok z vizualizácie dopravných tokov na sieti Žilinského samosprávneho kraja je na obrázku 1.



Obr. 1: Pentlogram ŽSK - toky cestujúcich po úsekoch dopravnej siete

Na obr. 1 sú čiernou čiarou zobrazené dopravné požiadavky, pričom hrúbka čiary korešponduje s tokom cestujúcich na danom dopravnom úseku. Pre lepšie pochopenie ďalšieho textu je potrebné zadefinovať pojem koncová obec. Pod koncovou obcou rozumieme obec, do ktorej vstupuje práve jedna hrana s nenulovým tokom cestujúcich. Z obrázku je jasne vidieť, že dopravné toky sa zväčšujú so znižujúcou sa vzdialenosťou k lokálnemu centru. Pokiaľ sú jednoznačne určené lokálne centrá, sledovaním najväčšieho toku z lokálneho centra až do koncovkej obce, v ktorej nenulový tok končí, (podobne ako sledovať tok rieky od ústia proti prúdu až k prameňu, pričom vždy pri sútoku vybrať rieku s väčším prítokom) je možné sledovať trasu, o ktorej môžeme konštatovať nasledujúce vlastnosti:

- najviac ľudí, ktorí cestujú zo spádovej oblasti do centra, ide po tejto trase,
- z konštrukcie pentlogramu vyplýva, že požiadavky na takejto trase sú uspokojované po najkratšej/najrýchlejšej ceste,
- pretože po sledovanej trase ide najviac ľudí, možno predpokladať, že ľudia neprestupujú.

Na základe týchto predpokladov môžeme konštatovať, že „sledovaním maximálneho toku cestujúcich proti prúdu až k prameňu“ (poslednej obce s nenulovým tokom) je možné skonštruovať trasu linky, ktorá bude uspokojovať maximálny počet dopravných požiadaviek najrýchlejšie a bez prestupov. Pokiaľ teda vyberieme množinu lokálnych centier, a z nich centrum, do ktorého prúdi maximálny tok dopravných požiadaviek, môžeme povedať, že do daného centra vedie trasa, ktorá uspokojí najväčší počet dopravných požiadaviek za celú riešenú oblasť po najkratšej ceste a bez prestupu. Aby bolo na základe tohto princípu možné

vytvoriť ďalšie trasy, situáciu je možné zmeniť jednoducho odčítaním najmenšieho počtu dopravných požiadaviek z hrán na vybranej trase, od všetkých hodnôt hrán vybranej trasy. Takto sa vynuluje hrana vedúca do koncovej obce vybranej trasy. Pri opakovaní aplikácie vyššie popísaného princípu teda vznikne ďalšia trasa, ktorá pre novú situáciu po odčítaní toku z predchádzajúcej trasy obsluží maximálny počet dopravných požiadaviek po najkratšej ceste a bez prestupov. Generovanie trás vyššie popísaným spôsobom by teda malo vytvárať trasy, ktoré budú ponúkať pre maximálny počet dopravných požiadaviek dopravu po najkratšej/najrýchlejšej trase a bez prestupov.

4.4 Formulácia algoritmu

Na základe úvah z predošlých kapitol môže byť sformulovaný nasledujúci algoritmus:
Vstupy pre algoritmus:

- vektorová mapa infraštruktúry, ktorú môžeme reprezentovať grafom definovaným množinou hrán \mathbf{H} a vrcholov \mathbf{V} : $G = (\mathbf{V}, \mathbf{H})$, kde vrcholy reprezentujú križovatky a obce (uzly siete) a hrany reprezentujú úseky infraštruktúry,
- \mathbf{Q} – množina usporiadaných dvojíc (r, s) , kde $r \in \mathbf{V}$, $s \in \mathbf{V}$ sú obce, medzi ktorými existuje požiadavka na prepravu,
- O-D (origin - destination) matica - matica prepravných vzťahov medzi všetkými párami obcí v danom regióne $\mathbf{O} = \{p^{rs}\}$, kde $(r, s) \in \mathbf{Q}$,
- Množina spádových centier \mathbf{C} ,
- Maximálne povolené zväčšenie dĺžky linky d_e vzhľadom k dĺžke najkratšej cesty,
- Maximálna povolená dĺžka zachádzky d_d .

Premenné a veličiny, ktoré sú použité v popise algoritmu:

c_i - ohodnotenie hrany h_i , ktoré udáva počet dopravných požiadaviek prepravovaných po danej hrane

$R_{r,s} = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ - najkratšia cesta z vrcholu r do vrcholu s pozostávajúca z hrán $h_1, h_2 \dots h_n$

$p(v)$ - ohodnotenie vrcholu v , ktoré udáva počet obyvateľov obce reprezentovanej daným vrcholom. Ak vrchol nereprezentuje obec, tak $p(v) = 0$

Výstupy algoritmu:

$l = \{h_1, h_2, \dots, h_m\}$ – linka definovaná postupnosťou na seba nadväzujúcich hrán

\mathbf{L} - množina všetkých liniek

Heuristický algoritmus generovania trás liniek

1. {Inicializácia} Priradiť dopravné požiadavky vyjadrené maticou \mathbf{O} na hrany grafu G :
2. Pre každú hranu $h_i \in \mathbf{H}$ polož $c_i = 0$.
3. Pre každú dvojicu $(r, s) \in \mathbf{Q}$: vypočítaj najkratšiu cestu $R_{r,s}$, pre každú hranu $h_i \in R_{r,s}$ položte $c_i = c_i + p^{rs}$.
4. Ako hranu u zvol hranu h_j , ktorej ohodnotenie je maximálne z hrán začínajúcich vo vrchole patriacom množine spádových centier a končiacom vo vrchole patriacom množine vrcholov: $u = h_j$: $c_j = \max\{c_i; h_i = (v, w), v \in \mathbf{C}, w \in \mathbf{V}\}$. Inicializuj konštruovanú linku $l = \{u\}$.

5. Ak hrana u nemá ohodnotenie väčšie ako nula, skonči.
6. Ako hranu u_1 zvol' hranu h_j , ktorej ohodnotenie je maximálne z hrán, ktoré začínajú v koncovom vrchole w hrany u : $u_1 = h_j$; $c_j = \max\{c_i; h_i = (w, k), k \in V, h_i \notin l\}$.
7. Ak takáto hrana neexistuje, choď na krok 9.
8. Do konštruovanej linky l pridaj hranu u_1 : $l = l + \{u_1\}$
9. Skontroluj, či vo vzdialenosti menšej ako d_d od koncového vrcholu k hrany u_1 existuje vrchol t , pre ktorý platí: $p(t) > 0$. Ak takýto vrchol existuje a hrana, ktorou sme sa doňho dostali, nemá najväčšie ohodnotenie z hrán vychádzajúcich z vrcholu k a zároveň hrany najkratšej cesty z vrcholu k do vrcholu t nepatria do hrán už zaradených do konštruovanej linky, pridaj hrany cesty z vrcholu k do vrcholu t a hrany spiatocnej cesty z vrcholu t do vrcholu k k hranám linky l .
10. Ak koncový vrchol hrany u_1 patrí do množiny spádových centier, choď na krok 9.
11. Ak linka l je o viac ako d_e dlhšia než najkratšia cesta z počiatočného vrcholu linky do koncového vrcholu k hrany u_1 , choď na krok 9.
12. $u = u_1$. Choď na krok 3.
13. Pridaj linku l do množiny liniek L : $L = L + \{l\}$.
14. Od ohodnotenia všetkých hrán linky l odčítaj minimálne ohodnotenie z hrán linky l : pre každú hranu $u_i \in l$ položte $c_i = c_i - \min\{c_j; u_j \in l\}$. Pre linku l si zapamätaj hodnotu $\min\{c_j; u_j \in l\}$.
15. Vráť sa na krok 1.

Zapamätanie si počtu dopravných požiadaviek z kroku 9, ktoré boli danou trasou linky obslužené, poskytuje ako vedľajší výstup počet cestujúcich, na aký by mala byť hromadná doprava do danej obce dimenzovaná.

4.5 Dátová štruktúra, popis použitých objektov

Aplikácia na výpočet výslednej množiny trás liniek je napísaná v prostredí.net c#. Riešenie používa pre prácu s dátami objekty typov:

Node – trieda objektov definujúca vrcholy grafu

Edge – trieda objektov definujúca hrany grafu

ParamSpecs – trieda objektov definujúca typ parametra

SDM – trieda objektov pre uchovanie matice najkratších vzdialeností

Net – trieda objektov siete, uchováajúca všetky objekty typov *Node*, *Edge*, *ParamSpecs*

Bus – trieda objektov, popisujúca jednotlivé vygenerované trasy

Node je trieda, ktorá uchováva základné vlastnosti vrchola ako sú súradnice vrcholu, identifikačné číslo, všetky ostatné parametre uchované ako reťazec znakov, a zoznam identifikačných čísiel hrán, ktoré s daným vrcholom incidujú.

Edge je trieda, ktorá uchováva základné vlastnosti hrany, ako sú ID začiatočného a koncového vrcholu, zoznam súradníc jednotlivých bodov zalomenia popisujúci topológiu úseku reprezentovanú danou hranou a zoznam ostatných parametrov uchovaných ako reťazce znakov.

ParamSpecs je trieda, ktorá uchováva názov, maximálnu možnú dĺžku, počet desatinných miest a typ parametra. Aplikácia je navrhnutá tak, aby bolo možné robiť výpočty opakovane pre rôzne parametre. Parametre hrán a vrcholov sú načítavané zo vstupných dát, vypočítavané v aplikácii ako vstupy pre ďalšie výpočty, a popisujú výsledky súvisiace priamo s objektmi siete, preto bolo potrebné, aby údajová štruktúra umožňovala ukladať variabilný počet parametrov objektov, a aby ich bolo možné pridávať, odoberať a editovať.

SDM je jednoduchá trieda objektu, ktorá uchováva maticu najkratších vzdialeností, ktorá je vypočítaná dopredu, aby zbytočné výpočty nespomalili samotnú prácu algoritmu. Táto trieda objektu má definovanú funkciu, ktorá vráti najkratšiu vzdialenosť medzi dvoma vrcholmi definovanými ich ID číslami ako vstupnými parametrami funkcie. Takýmto spôsobom má získanie údajov o minimálnej vzdialenosti medzi dvoma vrcholmi zložitosť 1.

Net je trieda objektov, ktoré uchovávajú všetky objekty siete – zoznam vrcholov, zoznam hrán, zoznam typov parametrov hrán, zoznam typov parametrov vrcholov a maticu najkratších vzdialeností.

Bus je trieda objektov, ktorá uchováva jednotlivé výsledné trasy spolu s ďalšími výstupmi. Trasa je definovaná postupnosťou vrcholov a postupnosťou hrán. Postupnosť vrcholov slúži na evidenciu počtu cestujúcich, ktorých cesta v danom vrchole začína resp. končí.

4.6 Výstupy

Aby mali výsledky riešenia návrhu trás liniek nejakú vypovedaciu hodnotu, bolo potrebné zvoliť vhodnú reprezentáciu. Výstupy z aplikácie sú v dvoch skupinách:

- grafické výstupy,
- textové a tabuľkové výstupy.

Všetky grafické výstupy sú založené na zapísaní výsledkov do parametrov objektov údajovej štruktúry siete, a ich následného exportu do súborovej štruktúry *ESRI* shapefile. Takto vytvorené súbory možno zobraziť v gis nástrojoch. Konečné grafické výstupy sú:

Počet autobusov na sieti – zobrazuje hrúbkou čiary reprezentujúcej úsek infraštruktúry, koľko autobusov bude premávať na každom úseku siete. Počet autobusov pre každú trasu bol vygenerovaný tak, že počet dopravných požiadaviek na každej trase (z kroku 9 heuristického algoritmu generovania trás liniek) bol vydelený hodnotou 25, čo je približne polovica kapacity bežného autobusu. Polovičné priemerné obsadenie vozidla je veľmi dobrý, v realite málokedy dosahovaný stav [53], takže výsledné číslo udáva počet párov spojov pre danú obec, ktoré je nutné nasadiť, aby boli všetky dopravné požiadavky obslužené. Treba však stanoviť aj minimálny počet spojov, pod ktorý by dopravná obsluha obce nemala klesnúť. Tento bol stanovený na 7 párov spojov, ktorých význam je nasledujúci:

- doprava do práce,
- doprava do škôl,
- doprava do úradov, zdravotníckych zariadení a pod,
- doprava z úradov, zdravotníckych zariadení a pod,
- doprava zo škôl,

- doprava z práce,
- posledný večerný spoj.

Časová dostupnosť z obcí do centra, ktorá je stanovená ako ekvivalent dĺžky trasy linky, obsluhujúcej danú obec. Každá obec je zobrazená krúžkom, ktorý má stupeň šedej ekvivalentný času potrebnému na dosiahnutie spádového centra navrhnutým plánom dopravnej obsluhy.

Pokrytie linkami zobrazuje časť infraštruktúry, ktorá je obsluhovaná navrhnutým plánom trás liniek.

Zobrazenie trasy linky zobrazuje trasu linky.

Grafické výstupy boli využité aj na overenie funkčnosti algoritmu. Zobrazením všetkých úsekov dopravnej infraštruktúry, po ktorých je vedený nenulový tok dopravných požiadaviek, čiernou čiarou zobrazuje dopyt po dopravnej obsluhu. Ostatné úseky sú zobrazené šedou. Cez výsledný obraz je preložená ďalšia vrstva, ktorá modrými čiarami zobrazuje trasy liniek. Ak sú všetky dopravné požiadavky obslužené, na výslednom obraze nesmie byť vidieť čierna čiara.

Textový výstup pozostáva z množiny trás liniek a odhadovaných počtov ich spojov, ktoré sú zapísané v nasledujúcom formáte:

- každá linka je zapísaná v jednom riadku
- linka je zapísaná ako postupnosť názvov obcí oddelených znamienkom ‘-’
- za každou obcou, v ktorej končí niekoľko spojov (značne sa redukuje počet uspokojených požiadaviek), je uvedený počet končiacich spojov a vzdialenosť od začiatku trasy
- na konci každej trasy je uvedená jej dĺžka.

5 Výsledky riešenia

Heuristický algoritmus návrhu priestorového plánu liniek bol testovaný na dátach Žilinského samosprávneho kraja a Nitrianskeho samosprávneho kraja. Pre Žilinský samosprávny kraj boli vygenerované linky s nasledujúcimi špecifikáciami:

- 151 autobusových liniek,
- 7 vlakových liniek,
- maximálny počet spojov na linke: 163,
- najdlhšia linka: 48,6km,
- najkratšia linka: 2,6km,
- priemerná dĺžka linky: 17km
- priemerný počet najjazdených kilometrov na spoji: 16,3km
- vozokilometre prepočítané na obdobie jedného roku v tabuľke 1.

Tab. 1

Vozokilometre navrhnutého plánu dopravnej obsluhy pre Žilinský samosprávny kraj

Vozokilometre [tis. km/rok]	Pracovné dni		Dni pracovného pokoja	
	Vlak	Autobus	Vlak	Autobus
Prímestská doprava	3942,642	44378,65	1390,652	19597,552
Medzicentrová doprava	21146,29	21877,93	6958,764	10069,278

Pre Nitriansky samosprávny kraj boli vygenerované linky s nasledujúcimi špecifikáciami:

- 163 autobusových liniek,
- 27 vlakových liniek,
- maximálny počet spojov na linke: 100,
- najdlhšia linka: 59,2km,
- najkratšia linka: 3.2km,
- priemerná dĺžka linky: 21,7km
- priemerný počet najazdených kilometrov na spoji:22,9km
- vozokilometre prepočítané na ročné obdobie v tabuľke 2.

Tab. 2

Vozokilometre navrhnutého plánu dopravnej obsluhy pre Nitriansky samosprávny kraj

Vozokilometre [tis. km/rok]	Pracovné dni		Dni pracovného pokoja	
	Vlak	Autobus	Vlak	Autobus
Prímestská doprava	1578,882	58910,164	1010,858	22086,892
Medzicentrová doprava	5457,458	9444,058	1407,68	3768,97

:

6 Vyhodnotenie a porovnanie výsledkov

Veľkosť aj začiatkové a koncové body prepravných prúdov ako vstupov slúžili ako vstupné dáta pre vypočítanie priestorového plánu liniek, avšak tento vstup je vlastne výstupom z iného – skutočného dopravného systému. Celý postup stanovenia trás liniek predpokladá, že všetci cestujúci využijú možnosť hromadnej dopravy, čo však nemusí byť pravda. Navrhnutý plán liniek môže, a nemusí vyhovovať každému cestujúcemu, rovnako ako výstupy z ďalších úloh, ako je rozmiestnenie spojov v čase (časový plán dopravnej obsluhy), návrh prestupných miest, atď. Vzhľadom na uvedené skutočnosti je potrebné vnímať plán dopravnej obsluhy, či už priestorový, riešený v tejto práci, alebo časový, ako cyklický proces návrhu plánu, aplikácie do reality, zberu dát o dopravnom systéme, analýzy zozbieraných dát z ustáleného systému a opätovného návrhu plánu liniek...

Kritériá hodnotenia plánu liniek sú:

z pohľadu cestujúceho:

- celkový čas dopravy
- celková vzdialenosť
- celkový počet prestupov

a z pohľadu dopravcu:

- celkový počet prejení trasy linky (počet spojov)
- celková najazdená dĺžka

6.1 Problémy pri porovnaní

Porovnanie navrhovaného riešenia plánu dopravnej obsluhy s existujúcim alebo s iným návrhom poskytne základné informácie o kvalite navrhnutého riešenia. Aby však boli tieto informácie pravdivé a popísali rozdiely medzi riešeniami bez zanesenia chyby, musia byť nastavené počiatkové vstupy pre vyhodnotenie na spoločný benchmark. Pre porovnanie navrhnutého plánu dopravnej obsluhy so skutočným dopravným systémom bolo nutné riešiť nasledujúce úlohy:

- Ktoré linky zo skutočného dopravného systému vyselektovať ako množinu liniek pre porovnanie?
- Ako stanoviť odhad počtu spojení pre každú obec, príp. minimálny počet spojení?
- Ako rozhodnúť, či daná linka je / nie je vo verejnom záujme?
- Ktorá linka je diaľková, medzinárodná, a ktorá je prímestská?

Algoritmus vygeneroval linky, ktoré obsluhujú daný región bez nadväznosti na iné regióny. Porovnanie so skutočným dopravným systémom teda vyžaduje selekciu liniek, ktoré obsluhujú daný región, a zároveň ich trasa nepresahuje hranice riešenej oblasti. Podľa zákona [47] je za diaľkovú linku považovaná každá linka, ktorej dĺžka má viac ako 100 km, preto vyselektovanie iba prímestských liniek vynechá linky, ktoré napr. prepájajú okresné mestá a zohrávajú dôležitú funkciu v dopravnej obsluhu kraja (napr. v ŽSK trasa Čadca – Liptovský Mikuláš o dĺžke cca. 120 km). Najvhodnejšie riešenie je vyselektovať zo všetkých (okrem medzinárodných) liniek tie, ktorých trasa obsahuje aspoň dve za sebou nasledujúce zastávky patriace do riešeného územia. Toto riešenie vytvorí množinu liniek, ktoré obsluhujú daný kraj. Podrobným štúdiom cestovných poriadkov sa ale zistilo, že takéto riešenie obsahuje aj linky, ktoré sú dotované zamestnávateľom, linky pre rekreačné účely a pod., ktoré nie sú linkami vo verejnom záujme, avšak zväčšujú ponuku hromadnej dopravy. Ďalším problémom je stanovenie počtu spojov pre každú linku. V návrhu bol stanovený minimálny počet párov spojov pre každú linku na 7.

Súčasná dopravná ponuka však odzrkadľuje dopravný dopyt, a podľa počtu cestujúcich v jednotlivých spojoch je stanovený aj počet spojov pre danú obec. Tento trend však má degradujúcu tendenciu, a ponuka hromadnej dopravy sa znižuje vzhľadom na znižujúci sa dopyt po hromadnej doprave, ktorý je následkom znižujúcej sa dopravnej ponuky. Tento cyklický proces degraduje hromadnú dopravu ku koncovému stavu, kedy systém hromadnej dopravy skolabuje, a bude fungovať iba pro-forma, ako zákonom stanovená povinnosť samosprávy voči obyvateľstvu, a bude slúžiť iba pre dopravu sociálne slabých obyvateľov a obyvateľov bez možnosti alternatívnej dopravy.

6.2 Stratégie modelových cestujúcich

Stanovenie počtu prestupov a celkového počtu osobokilometrov je možné spočítať iba ak vieme, ktoré linky prepraví každý dopravný prúd. To znamená, že pre každú dvojicu vrcholov, medzi ktorými je nenulový počet dopravných požiadaviek, je potrebné nájsť postupnosť liniek, ktoré sú na seba nadväzné, prvá linka má na svojej trase vrchol vzniku dopravnej požiadavky a posledná má na svojej trase vrchol v ktorom dopravná požiadavka končí, a každá linka musí mať s predchádzajúcou i nasledujúcou linkou aspoň jednu spoločnú zastávku. Zostáva už len zvoliť kritérium, podľa ktorého sa bude modelový cestujúci správať, aby bolo možné stanoviť postupnosť liniek pre každú dopravnú požiadavku, ktorými bude uspokojená. Základné typy modelového správania sú:

- minimalizácia dĺžky (vzdialenosť) dopravy
- minimalizácia dĺžky (čas, sú pripočítavané aj prestupy) dopravy
- minimalizácia počtu prestupov
- kombinácia predchádzajúcich

6.3 Porovnanie so súčasným stavom

Pre porovnanie navrhnutého priestorového plánu dopravnej obsluhy boli vypočítané nasledujúce hodnoty ukazovateľov:

- počet prestupov všetkých cestujúcich za rok,
- počet najjazdených kilometrov všetkými cestujúcimi za rok,
- počet liniek, ktorý bol použitý na obsluhu daného územia.

Konkrétne hodnoty všetkých ukazovateľov sú zhrnuté v tabuľke 3, ktorá je vytvorená pre jednotné modelové správanie sa cestujúcich s preferenciou najkratšej cesty:

Tab. 3

Porovnanie kvality navrhnutého plánu dopravnej obsluhy so skutočným stavom

	počet prestupov		najjazdené osobokilometre		Počet liniek	
	Skutoč. stav	Plán	Skutoč. stav	Plán	Skutoč. stav	Plán
NR	1731000,998	1692424	1493862,153	1612937	574	190
ZA	2451155,470	2532336	2079109,163	2459013	576	158

Manuálne porovnanie navrhnutých trás liniek vykazuje v oboch riešených oblastiach zhodu s existujúcimi trasami liniek (trasa linky s návštevami nácestných obcí v návrhu je stotožnená aj s trasami skutočného dopravného systému, ktoré danú obec nenavštevujú).

Súhrnné ukazovatele pre skutočný plán a navrhovaný plán vykazujú odchýlky navrhnutého riešenia od reálneho systému. V tejto časti budú popísané problémy, ktoré spôsobujú zhoršenie hodnôt kritérií porovnania.

Územie obce a jej obsluha – každá obec zaberá určité územie, ktorého hranice sú definované katastrálnou mapou. Každá zastávka v reálnom dopravnom systéme, ktorá sa nachádza na území obce je považovaná za zastávku, ktorá obsluhuje cestujúcich, ktorých dopravná požiadavka začína, alebo končí v danej obci. V prípade, že ide o obce, ktorých tvar územia je pretiahnutý (napríklad obce v hornatom teréne ŽSK, ktorých tvar je častokrát determinovaný okolitým terénom – strmé neosídliteľné svahy definujú hranice doliny), môže vzniknúť odchýlka, ktorá skreslí ukazovatele počet prestupov i počet najjazdených kilometrov. Odchýlka vzniká v rozdielnosti hodnotenia obsluhy obce. Keďže navrhnutý algoritmus rieši obsluhu obcí, ako najmenšieho obsluhovaného prvku. Za linku, ktorá obsluhuje danú obec, je považovaná každá linka, ktorá prechádza (navštívi) konkrétny bod, ktorý reprezentuje obec (napr. ťažisko polygónu reprezentujúceho intravilán obce). V skutočnom systéme však za linku, ktorá obsluhuje danú obec je považovaná každá, ktorej trasa obsahuje aspoň jednu zastávku, ktorá patrí do oblasti danej obce.

Napríklad obce Rudina, Svederník, Kotešová a pod. sú obce, v ktorých sa zlievajú rieky, inými slovami povedané, začínajú doliny, ktoré definujú zastavané oblasti príslušných obcí. V reálnom systéme je za linku, ktorá obsluhuje danú obec považovaná aj linka, ktorá prechádza iba cez križovatku v ústí doliny, avšak nezachádza do centra obce. V navrhovanom pláne linka obsluhuje ťažisko obce, tzn. za linku, ktorá obsluhuje danú obec je považovaná linka ktorá prechádza centrom obce. Pre korektné porovnanie by bolo potrebné obsluhovať dopravné požiadavky na úrovni zastávok, avšak toto riešenie nie je triviálne a zahŕňa množstvo problémov, ktoré treba riešiť, ako napr.:

- rozmiestnenie zastávok
- ochota cestujúcich dopraviť sa na zastávku (cestujúci má viac možností voľby zastávky),
- dopravné požiadavky je možné z dát o predaji cestovných lístkov určiť iba pre obce (napr. dáta železničnej dopravy obsahujú prepravné prúdy medzi obcami).

Z vyššie uvedených dôvodov navrhovaný plán vykazuje pre ŽSK horšie výsledky ako skutočný dopravný systém pre počet prestupov. Počet prestupov pre NSK je nižší, než u skutočného dopravného systému, čo potvrdzuje diskutovaný problém, pretože reliéf oblasti NSK je rovinatý, a preto obce danej oblasti nie sú limitované reliéfom krajiny, a väčšinou sa obce rozrástli rovnomerne každým smerom od centra a cesty medzi obcami väčšinou prechádzajú i centrami obcí.

Rozdelené obce - odchýlky medzi najazdenými osobo-kilometrami medzi navrhnutým a skutočným dopravným systémom v neprospech návrhu taktiež vznikli kvôli „zachádzkam“ do obcí v navrhovanom pláne. Ďalší dôvod, kvôli ktorému narástol počet najazdených osobo-kilometrov pre navrhovaný stav je problém rozdelenia obce na dve časti. V prípade, že obec delí napr. rieka na dve časti, centrum obce je dosiahnuteľné z ostatnej infraštruktúry iba cez most, a v obci nie je most pre vozidlá hromadnej dopravy, ale len most pre chodcov. Obec je obsluhovaná v reálnom systéme zastávkou, ktorá je v dosahu cestujúcich cez most pre chodcov, avšak v návrhu je trasa linky riešená cez vzdialený most v inej obci. Tento problém sa vyskytol v niektorých obciach v povodí rieky Orava. Problém by bolo možné riešiť pomocou tzv. čiernych skriniek, ktorý je v práci popísaný v kapitole (3.3.7).

Diaľkové linky – z dát o cestovných poriadkoch skutočného dopravného systému nebolo možné vyselektovať linky, ktoré sú medzimestské a diaľkové, lebo aj tie obsluhujú danú oblasť. V návrhu sú však trasy liniek vytvárané s dôrazom na obsluženie čo najväčšieho počtu obcí na trase, preto linky v návrhu neobchádzajú žiadne obce, a do každej obce na trase zachádzajú. Medzimestské a diaľkové linky zo skutočného dopravného systému však nezastavujú vo všetkých obciach na svojej trase, a preto ich použitím cestujúci prekonajú menšiu vzdialenosť na dosiahnutie cieľa cesty ako cestujúci, ktorý by použil linky z návrhu.

Počet liniek – počet vyselektovaných liniek zo skutočných cestovných poriadkov, ako liniek obsluhujúcich región, je pre obidve testované oblasti podstatne väčší ako počet navrhnutých liniek. Tento nepomer vznikol kvôli problému vyselektovania liniek, ktoré obsluhujú iba daný región, aby bolo možné porovnávať dve ekvivalentné množiny liniek. Toto však nie je možné algoritmizovať, a je možné stanoviť iba kvalifikovaným odhadom. Druhá možnosť riešenia tohto problému je doplnenie návrhu o medzimestské a diaľkové spojenia, avšak takto rozšírená úloha by vyžadovala dáta o veľkosti dopravných požiadaviek minimálne pre celý štát, a algoritmus by musel byť doplnený o časť, kde budú medzimestské a diaľkové linky vyselektované a ich trasy zredukované na významné zastávky napríklad podľa počtu obyvateľov.

Riešenie plánu dopravnej obsluhy pomocou heuristického algoritmu sledovania maximálnych tokov poskytuje riešenie, ktoré pokryje všetky dopravné požiadavky v riešenom regióne.

Navrhnutý plán pre Nitriansky samosprávny kraj vykazuje o cca. 3% menej prestupov potrebných na uspokojenie dopravných požiadaviek ako je súčasný stav, pričom sa najazdí o 7,4% viac osobokilometrov ako v súčasnom stave. Z uvedených výsledkov sa dá konštatovať, že cestujúci v navrhnutom pláne dopravnej obsluhy pre NSK bude v priemere menej často prestupovať avšak bude cestovať dlhšie ako pri súčasnej dopravnej obsluhu.

Navrhnutý plán pre Žilinský samosprávny kraj vykazuje o cca. 3,3% viac prestupov potrebných na uspokojenie dopravných požiadaviek ako je súčasný stav, pričom sa najazdí o 18,4% viac osobokilometrov ako v súčasnom stave. Z uvedených výsledkov sa dá konštatovať, že cestujúci v navrhnutom pláne dopravnej obsluhy pre ŽSK bude v priemere častejšie prestupovať a bude cestovať dlhšie ako pri súčasnej dopravnej obsluhu.

Odchýlky k horším hodnotám (ako bolo popísané v kapitole 5.4) sú spôsobené absenciou medzimestských a diaľkových liniek v navrhnutom pláne, a rôznou interpretáciou pojmu „dopravná obsluha obce“ v návrhu a v skutočnom dopravnom systéme. Z uvedených faktov môžeme vyvodiť záver, že uvedené rozdiely medzi návrhom a reálnym systémom sú

hornou hranicou odchýlok, a skutočné hodnoty by boli po odstránení handicapov navrhnutého plánu priaznivejšie pre navrhovaný stav. Pre ŽSK tvoria zo všetkých liniek obsluhujúcich daný región 11% linky diaľkové a medzištátne. Pre NSK je pomer medzištátnych a diaľkových liniek cca. 23%. Z uvedeného môžeme konštatovať, že obsluha riešeného územia navrhovaným plánom nie je efektívna na dlhšie úseky medzi spádovými centrami, resp. na dopravu medzi okresmi. Takto postavený priestorový plán dopravnej obsluhy vyžaduje ďalšie skúmanie a selekciu relevantných zastávok, aby poskytol efektívnejšiu dopravnú obsluhu ako reálny dopravný systém. Vyselektovaním relevantných zastávok na linkách medzi spádovými centrami „skrátí“ cestu medzi spádovými centrami o zachádzky do intravilánov obcí, čo ušetrí ubehnutý čas aj vzdialenosť.

Navrhnutý algoritmus rieši problematiku priestorového plánu dopravnej obsluhy bez stanovenia akýchkoľvek parametrov ako napr. váha preferencií dopravcu a váha preferencií cestujúcich, ktoré by pre stanovenie potrebovali zložité analyzovanie dopytu po dopravnej obsluhu, citlivosti cestujúcej verejnosti na zmeny v dopravnom systéme. Prípadné experimenty a časté zmeny v reálnom systéme by mohli viesť k rezignácii cestujúcej verejnosti a následnému kolapsu dopravného systému.

7 Prínosy práce

Hlavným teoretickým prínosom práce je návrh metodiky pre výpočet trás liniek v regionálnej hromadnej osobnej doprave, ktorá zahŕňa

- popis vstupných údajov potrebných pre riešenie,
- návrh metódy na integráciu údajov o cestnej a železničnej infraštruktúre do jedného dopravného systému,
- návrh metódy na prepojenie dopravného systému s intravilánom obcí,
- návrh heuristického algoritmu pre tvorbu priestorového plánu liniek.

Navrhnutá metodika bola overená na reálnych dátach dvoch vyšších územných celkov. Jej výsledky boli diskutované s dopravnými expertmi, ktorí potvrdili, že zohľadňuje požiadavky dopravnej praxe a je prínosom ako nástroj pre podporu rozhodovania v dopravnom plánovaní.

Vstupné údaje o dopravných požiadavkách v riešenej oblasti boli získané integráciou dát z databáz cestovných lístkov. Tieto údaje odzrkadľujú využitie existujúceho dopravného systému, avšak dáta o dopravných požiadavkách, ktoré neboli uspokojené systémom hromadnej dopravnej obsluhy, či už z dôvodu nedostatočnej ponuky dopravných príležitostí, alebo z dôvodu nevyhovujúcich spojení, absentujú. Návrh dopravného systému bol konštruovaný pre množinu dopravných požiadaviek, ktoré boli zrealizované v skutočnom dopravnom systéme, čo umožnilo aspoň približné porovnanie so skutočným dopravným systémom.

Dopravný systém s neefektívnym hospodárením dopravcov, alebo s nedostatočnými dotáciami degraduje. Nedostatok cestujúcich nepokryje cestovnými nákladmi dopravcu, čo má za následok rušenie nerentabilných spojení. Cestujúca verejnosť však reaguje na znížený počet dopravných príležitostí, a počet cestujúcich aj v zostávajúcich spojeniach klesá (napr. zrušený spoj bol využívaný ako spiatocné spojenie, a bez spiatocného spojenia cestujúci radšej využije alternatívne spôsoby dopravy). Takto vzniká zacyklenie, kde organizátor dopravy ruší poskytované dopravné príležitosti, čo má za následok ubúdajúci počet cestujúcich, čo opäť vedie k zníženiu obsadenosti ďalších spojení, čo má za následok ďalšie úbytky cestujúcich, atď. Aj ďalšie faktory, ako je výška cestovného vedú k deformáciám, či už pozitívnym, alebo negatívnym. Mnoho cestujúcich zamietá cestovné spojenie, ktoré zachádza do obce, lebo počet najazdených kilometrov je pri spoji so zachádzkou väčší, ako

počet kilometrov pri spoji bez zachádzky, pričom cena cestovného sa odvíja od počtu tarifných kilometrov. Opačný prípad je pri spojeniach do niektorých podnikov, kde zamestnávateľ dotuje dopravu, čo má za následok nárast počtu cestujúcich na daných linkách. Z uvedeného vyplýva, že dáta o dopravných požiadavkách získané z databáz o predaji cestovných lístkov sú deformované súčasnou ekonomickou, politickou, dopravnou a sociálnou situáciou riešeného regiónu.

Navrhnutý algoritmus však vygeneruje linky pre akúkoľvek množinu dopravných požiadaviek, takže je možné použiť dáta z dopravného prieskumu, simulácií a pod. Algoritmus poskytuje základnú množinu trás liniek obsluhy riešeného regiónu, ktorá potrebuje či už algoritmické, alebo manuálne dopracovanie. V prvom rade ide o vyselektovanie relevantných nácestných zastávok, čo skráti niektoré linky (časovú i kilometrickú dĺžku), a taktiež je potrebné stanovenie zastávok danej obce, ktoré majú byť obslužené a pod. Základným prínosom algoritmu je:

- bezparametrické riešenie,
- malá množina vstupných dát (napr. nie sú potrebné dáta o nákladoch dopravcu),
- kvalita riešenia (porovnanie trás liniek vykazuje zhodu s reálnym systémom),
- bez stanovovania váh parametrov rôznych významov (cena dopravy a cena času cestujúcich),
- rýchlosť algoritmu,
- možnosť použitia aj na rozsiahle úlohy.

8 Záver

V tejto práci sú s hromadnou dopravou spájané atribúty, ktoré hodnotia jej kvalitu, ako sú napríklad rýchlosť, počet prestupov, časová náročnosť prepravy a pod... Záujem cestujúceho o využitie hromadnej dopravy ovplyvňujú však aj nekvantifikovateľné faktory, resp. riešenie zvyšovania dopravnej ponuky nemusí byť iba zväčšovaním počtom spojov. Racionalizácia hromadnej dopravy je nevyhnutný krok, ktorý musí hromadná doprava podstúpiť, aby naďalej plnila svoju funkciu. V súčasnosti sa osobná doprava veľmi rýchlo rozrastá, a dopravná infraštruktúra je zahltená osobnými automobilmi. Náklady na jazdu hromadnou dopravou sa vyrovnávajú osobnej doprave. Hromadná doprava je pomalá, nekomfortná, dopravné spojenia nemajú interval, ktorý by pri rozhodovaní cestujúceho o voľbe dopravy zrovnoprávnil hromadnú dopravu s osobnou.

Racionalizácia spočíva v:

- zavedení integrovanej dopravy z tarifného hľadiska (jednotný cestovný doklad),
- zavedení integrovanej dopravy z hľadiska priestorového návrhu liniek,
- vybudovaní prestupných terminálov pre komfortný a bezpečný prestup,
- zvýšenie frekvencie spojov v obciach,
- zavedení dopravného parku s rôznorodou kapacitou,
- zvýšenie komfortu vozidiel,
- znižovanie atraktívnosti osobnej dopravy (mýtna, parkovné a pod....).

Integrovaný dopravný systém je v dnešnej dobe často zamieňaný s jednotným tarifným systémom pre viacero dopravných spoločností (MHD, prímestská autobusová doprava, železničná doprava). Význam integrovaného dopravného systému však spočíva najmä v racionalizácii využitia možností dopravného systému. Napríklad v ŽSK v prípade dopravy medzi obcami Žilina a Rajec - táto oblasť disponuje cestnou aj železničnou infraštruktúrou, avšak napriek tomu, že pri vstupe do Žiliny zo smeru Rajec prejde denne 229 autobusov, dopravná obsluha niektorých obcí nedosahuje ani 20 spojení. Využitie železničného spojenia a skrátenie trás liniek z obcí do prestupného miesta na železnicu by ušetrilo množstvo prostriedkov, čo by umožnilo pri rovnakých nákladoch zhustiť dopravnú

obsľuhu obcí, a znzil by sa počet autobusov na cestnom úseku Rajec – Žilina. Vytvorenie modernch prestupných terminálov, synchronizácia vlakov a autobusov, zhustenie vlakov až na 28 prov spojov denne, zavedenie vchch, rchlechch a spornejch vlakových súprav - takto opatrenia by markantne zlepšili dopravn obsľuhu obcí pri rovnakých nákladoch, pričom zväenie dopravnej ponuky zvyi konkurencieschopnosť hromadnej dopravy a využitie eleznice zvyšuje spoľahlivosť a presnosť dopravy, čo motivuje k zvyeniu počtu cestujúcich, a teda nižšie straty v hromadnej osobnej doprave, resp. vyššie zisky.

ZOZNAM PRÁC AUTORA Z OBLASTI SKÚMANEJ PROBLEMATIKY

1. CENEK, J. Evaluation criteria for quality of transit lines plan. In *Journal of Information, Control and Management Systems*, Vol. 9, (2011), No. 2. ISSN 1336-1716, pp. 77-83.
2. CENEK, J. Line routing algorithm. In *Journal of Information, Control and Management Systems*, Vol. 8, (2010), No. 1. ISSN 1336-1716, pp. 3-10.
3. CENEK, J. Skúsenosti pri tvorbe plánu dopravnej obsluhy. In *Zborník 11. odborného seminára CEDOP 2009 Aktuálne problémy v podnikaní v cestnej doprave*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2009, ISBN 978-80-8070-975-4, str. 7-12.
4. CENEK, P., CENEK, J. Kvalita dopravní obsluhy a Voronoiovy diagramy. In *Sborník příspěvků semináře Úlohy diskretní optimalizace v dopravní praxi – Řešení distribučních a svozných úloh*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2009. ISBN 978-80-7395-193-1, str. 15-22.
5. CENEK, J. Evaluation of transit lines plan. In *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series D, Faculty of Economics and Administration*, Vol. XVIII, No. 24, 2012. pp. 14-22
6. CENEK, J. Evaluation of a heuristical algorithm for transit line planning. In *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*, Vol. 15, No. 1, 2013. pp. 44-48
7. CENEK, J. Calculating criterion values for evaluating quality of transit lines plan. In *Časopis Slovenskej spoločnosti pre systémovú integráciu*, No. 1, 2012, ISSN: 1336 – 591
8. CENEK, P., CENEK, J., KLUVÁNEK, P.: Volba atrakčních obvodů v integrovaných dopravních systémech. *Konference Infotrans*, Univerzita Pardubice, 2005
9. JÁNOŠÍKOVÁ, L., SADLOŇ, L., CENEK, J.: Model of intelligent transportation infrastructure. In: *Journal of Information, Control and Management Systems*, No. 1/2003. vyd.: University of Žilina, Žilina. str. 47-56. ISSN 1336-1716.
10. CENEK, J. *Integrovaný model dopravnej siete*. Diplomová práca. Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, reg. č. /2001.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Štatistický prehľad výkonov v hromadnej doprave [online]. Štatistický úrad Slovenskej republiky, Bratislava, Slovensko. [Cit. 2008-29-1].
<<http://portal.statistics.sk/showdoc.do?docid=5209#VYBRAN%C9%20TABU%BCKY>>
- [2] Definícia základnej dopravnej obsluhy [online]. Úrad pre reguláciu železničnej dopravy, Bratislava, Slovensko. [Cit. 2008-28-1]. <<http://www.urzd.sk/legislativa/164-96.pdf>>
- [3] Popis systémov Visem, Visum, Vissim [online]. PTV AG, Portland, Oregon, USA. [Cit. 2008-28-1]. <http://www.english.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf_visum.pl>
- [4] Popis systému TransCad [online]. Caliper Corporation, Newton, MA, USA [Cit. 2008-28-1]. <<http://www.caliper.com/>>
- [5] ČERNÁ, A., ČERNÝ, J. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Praha : Institut Jana Pernera, 2004, ISBN: 80-86530-15-9
- [6] QUAK, C. B. Bus line planning, A passenger-oriented approach of the construction of a global line, 2003 [online]. Delf University of Technology, Delf, Netherlands [Cit. 2008-10-21]. <<http://www.st.ewi.tudelft.nl/~roos/buslineplanning.pdf>>
- [7] PALÚCH, S. *Teória grafov*. Žilina : EDIS, 2001. ISBN 80-7100-874-5.
- [8] CENEK, P., KLIMA, V., JANÁČEK, J. *Optimalizace dopravních a spojových procesů*. Žilina : Edičné stredisko VŠDS, 1994. ISBN 80-7100-197-X.
- [9] ORTUZAR, J. D., WILLUMSEN, L. G. *Modelling transport*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell Publishing, 1995

- [10] DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Praha : Academia, 2002. ISBN 80-200-0990-6.
- [11] BORNDÖRFER, R., GRÖTSCHEL, M., PFETSCH, E. M. A Column-Generation Approach to Line Planning in Public Transport, Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin, 2007
- [12] FAN, W., MACHEMEHL, R. B., Optimal Transit Route Network Design Problem, Journal of transportation engineering ISSN 0733-947X CODEN JTPEDI. 2006, vol. 132, no1, pp. 40-51, American Society of Civil Engineers, Reston, VA
- [13] Popis systému BusBoss [online]. Orbit Software, Pottstown, PA , USA [Cit. 2008-9-24]. <<http://www.busboss.com/>>
- [14] BRILON, W., HUBER, F., SCHRECKENBERG, M., WALLENTOWITZ, H. Traffic and Mobility, Berlin: Springer, 1999
- [15] HÄLL, C. H. Integrated public transport systems, Department of science and Technology Linköpings universitet, Norrköping, Sweden, 2005
- [16] ČERNÁ, A., ČERNÝ, J. Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech. Praha : Institut Jana Pernera, 2004, ISBN: 80-86530-15-9
- [17] GILSINN, J., WITZGALL, C. A performance comparison of labelling algorithms for calculating shortest path trees. In *Technical Note 772, National Bureau of Standards*, Washington, DC, 1973.
- [18] KLINGMAN, D., SCHNEIDER, R.S. Microcomputer Based Algorithms for Large Scale Shortest Path Problems. In *Discrete Applied Mathematics and Combinatorial Operations Research*. 1986, vol. 13, no. 2, 3.
- [19] CENEK, J. Line routing algorithm, Journal of Information, Control and Management Systems, Vol. 8, no. 1.
- [20] POLIAK, M. *Organizátor hromadnej osobnej dopravy*. Železničná doprava a logistika 1/2006, http://zdal.utc.sk/cisla/2/10_poliak.pdf
- [21] CEDER A. Methods for creating bus timetables. *Transportation Research Part A*, 21A (1), 59-83, 1986
- [22] CEDER, A., Golany, B., and Tal, O. Creating bus timetables with maximum synchronization. *Transportation Research Part A*, 35, 913-928, 2001
- [23] CEDER, A. Public Transport Timetabling and Vehicle Scheduling. *Advanced Methods for Transit Operations and Service Planning*. Honk- Kong, 2002
- [24] CENEK, P., KLIMA, V., JANÁČEK, J. *Optimalizace dopravních a spojových procesů*, EDIS, Žilinská univerzita, Žilina , 1994
- [25] JANÁČEK, J. *Matematické programování*, EDIS, Žilinská univerzita, Žilina, 1999
- [26] JÁNOŠÍKOVÁ, Ľ. A Tabu Search Procedure for the Allocation Problem. Central European Journal of Operations Research and Economics, Vol.4, No.4, 1996, pp.305-312
- [27] KLINGMAN, D., SCHNEIDER, R.S. *Microcomputer based Algorithms for Large Scale Shortest Path Problems*. *Discrete applied mathematics and combinatorial operations research*. Vol.13, No.2, 3, 1986
- [28] MAGNANTI, T.L., WONG, R.T. *Network and Transportation Planning: Models and algorithms*. Transportation Science, 1984, pp.1-55
- [29] NEMHAUSER, G.L., WOLSEY, L.A. *Integer and combinatorial optimisation*. John Wiley, New York, 1988
- [30] GAO, Z., SUN, H., and SHAN, L A continuous equilibrium network design model and algorithm for transit systems. *Transportation Research Part B*, Article in Press, 2003
- [31] ČERNÝ, J., KLUVÁNEK P. *Základy matematickej teórie dopravy*; VEDA, 1991
- [32] JANÁČEK, J. *Optimalizace na dopravních sítích*; Žilinská univerzita v Žiline, 2002
- [33] ERANKI A. *A Model to Create Bus Timetables to Attain Maximum Synchronization Considering Waiting Times at Transfer Stops*, 2004

- [34] CENEK, P., CENEK, J., KLUVÁNEK, P. Volba atrakčních obvodů v integrovaných dopravních systémech. *Konference Infotrans*, Univerzita Pardubice, 2005
- [35] JÁNOŠÍKOVÁ, L., SADLOŇ, L., CENEK, J. Model of intelligent transportation infrastructure. In: *Journal of Information, Control and Management Systems*, No. 1/2003. vyd.: University of Žilina, Žilina. str. 47-56. ISSN 1336-1716.
- [36] MAGNANTI, T.L., WONG, R.T. Network and Transportation Planning: Models and algorithms. In *Transportation Science*, 1984, pp. 1-55.
- [37] National Intelligent Transportation Systems Program Plan: A Ten-Year Vision [online]. Washington, D.C. : Intelligent Transportation Society of America, Jan. 2002 [cit. 2003-01-03]. Dostupné na internete: <<http://www.itsa.org>>.
- [38] PLEVNÝ, M. Využití jednoduchých optimalizačních metod při rozhodování v malém a středním podniku. In *MANAG 2000, sborník referátů z 2. přehledové konference, HA Cheb a FEK ZČU v Plzni*. Plzeň, 2000, s. 455-460.
- [39] PEŠKO, Š. Optimalizácia rozvozov s časovými oknami. In *Zborník konferencie KYBERNETIKA – história, perspektívy, teória a prax, Žilinská univerzita v Žiline*. ISBN 80-967609-7-1, 2002, s. 76-81.
- [40] PEŠKO, Š. Multicommodity return bus scheduling problem. In *Proceedings of the International Scientific Conference on Mathematics, Žilinská univerzita v Žiline*. ISBN 80-7100-578-9, 1998, p. 77-82.
- [41] JANÁČEK, J. Analysis and Structure Design of Distribution Systems. In *Proceedings of the International Conference „Strategic Management and its Support by Information Systems“*, 1999, p. 120-124.
- [42] MATIAŠKO, K. *Databázové systémy*. Žilina : EDIS, 2002. ISBN 80-7100-968-7.
- [43] CENEK, J. *Integrovaný model dopravnej siete*. Diplomová práca. Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, reg. č. /2001.
- [44] JÁNOŠÍKOVÁ, L. Optimalizačné metódy na dopravných sieťach a metóda tabu search. Kandidátska dizertačná práca, Fakulta riadenia, Vysoká škola dopravy a spojov, Žilina, 1994
- [45] CENEK, P., BEDNÁR, P., JÁNOŠÍKOVÁ, L. Optimisation of cargo services for the Slovak Railways. In *Preprints of the 8th International Conference Computers in Railways*, Lemnos, Greece, 12-14 June 2002. Southampton : WIT Press, 2002. pp. 797-805. ISBN 1-85312-913-5.
- [46] NEMHAUSER, G.L., WOLSEY, L.A. *Integer and combinatorial optimization*. New York : John Wiley, 1988.
- [47] Znenie zákona 168/1996 [online].
http://jaspi.justice.gov.sk/jaspiw1/htm_zak/jaspiw_mini_zak_zobraz_clanok1.asp?kotva=k1&skupina=1
- [48] SCHNABEL, W., LOHSE, D. *Grundlagen der Strassen/Verkehrstechnik und Verkehrsplanung*. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997 ISBN 3-345-00565-4
- [49] ESRI format <http://www.chaps.cz/files/cis/Format-EMTEST.pdf>
- [50] TatukGis <http://www.tatukgis.com/>
- [51] <http://shapelib.maptools.org/>
- [52] FLORIAN, M. *Transportation Planning Models*. North Holland, Amsterdam, 1984.
- [53] ORTUZAR, J.deD., WILLUMSEN, L.G. *Modelling transport*. John Wiley 1990, ISBN 0-471-94193-X
- [54] HALL, R.W. *Handbook of Transportation Science*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003