

NÁVRH A SIMULÁCIA RIADENIA VYBRANEJ CESTNEJ KRIŽOVATKY

Dr. Ing. Vratislav Hladký
Ing. Miroslava Muchová

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta
elektrotechniky a informatiky, TU Košice
Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika
e-mail: vratislav.hladky@tuke.sk
e-mail: miroslava.muchova@tuke.sk

Abstract

This article deals with the implementation of control algorithms for dynamical control management of a choosen crossroad. The control algorithm operates with amount of vehicles coming into the crossroad while the amount of vehicles is obtained from sensors. The control algorithm also takes into account whether a tramway is in the crossroad. The article also deals with the design and implementation of simulation model realized in Matlab/Simulink.

Key words: automatic control, intelligent crossroad, modeling, traffic management.

ÚVOD

Sociálno-ekonomický rozvoj a rast životnej úrovne má výrazný vplyv na dopravu, čo sa prejavuje nárastom počtu automobilov na cestách. Tento jav má samozrejme niekoľko negatívnych dôsledkov, jedným z ktorých sú početné kolóny vznikajúce prevažne v ranných a popoludňajších hodinách. Kolóny vznikajú predovšetkým na križovatkách a preto jednou z možností, ako tento problém riešiť, sa javí zvýšenie priepustnosti križovatiek. Rozširovanie križovatiek má samozrejme svoje limity a preto sa ako perspektívna a doteraz nie veľmi využívaná možnosť vo väčších slovenských mestách javí budovanie flexibilných a inteligentných dopravných systémov, s využitím nových informačno-komunikačných technológií. Križovatky s inteligentným riadením alebo aj dynamicky riadené križovatky dokážu sami vyhodnocovať vzniknutú dopravnú situáciu a na základe určitých algoritmov vhodne riadiť svetelnú signalizáciu, prípadne smerovať dopravu tak, aby priepustnosť daného riadeného dopravného uzla bola čo najväčšia. Riadiace centrá, ktoré už existujú vo veľkých európskych mestách, dokážu monitorovať príjazd vozidiel do miest. Na základe zozbieraných údajov a ich následného spracovania pomocou určitých algoritmov je možné automaticky alebo ručne riadiť dopravnú situáciu v meste [6], [8]. Náklady na zriadenie takýchto inteligentných dopravných systémov sú relatívne vysoké, ale výsledkom je plynulejší prejazd vozidiel, zvýšenie bezpečnosti cestnej premávky a priepustnosti

dopravného uzla a v neposlednom rade aj ochrana životného prostredia prostredníctvom zníženia exhalátov.

INTELIGENTNÉ KRIŽOVATKY

Doprava je v súčasnosti jedným z najväčších problémov, pretože počet automobilov neustále rastie, pričom cestná infraštruktúra nemôže rásť rovnakým tempom a navyše má jej rast svoje limity. Preto jednou z možností ako riešiť tento problém je efektívnejší spôsob riadenia dopravy, kde jednou z jeho foriem sú tzv. inteligentné križovatky. S myšlienkou inteligentných križovatiek prišla už pred časom spoločnosť IBM. Inteligentné križovatky dokážu sami monitorovať dopravnú situáciu a napr. na základe údajov z GPS a digitálnych máp vyhodnocovať vzniknutú dopravnú situáciu [1].

Riadiace systémy inteligentných križovatiek, resp. inteligentných dopravných systémov dokážu napr. prepnúť semafor na červenú v prípade, ak do križovatky prichádza vozidlo vyššou rýchlosťou ako je povolená, pričom snímač rýchlosti vozidla je umiestnený na samotnom semafore alebo na vhodnom mieste v okolí križovatky. Ďalšou zaujímavou funkcionalitou týchto systémov je to, že napr. vo večerných hodinách dokážu prepnúť farbu semaforu na zelenú v prípade, že sa z akejkoľvek strany blíži vozidlo a na križovatkách sa nenachádzajú žiadne ďalšie vozidlá. Cieľom takéhoto večerného riadenia je, aby vodič zbytočne nečakal, kým sa mu na svetelnom signalizačnom zariadení zobrazí zelené svetlo [1].

Jedným z najrozšírenejších druhov inteligentných križovatiek sú križovatky, ktoré majú pár metrov pred hranicou križovatky vo vozovke umiestnený snímač (elektrickú cievku), pomocou ktorého riadiaci systém križovatky určuje počet vozidiel, vyhodnotí vzniknutú dopravnú situáciu na križovatkách a na základe vhodného algoritmu riadi svetelnú signalizáciu. Ak napr. v nejakom smere snímač nezaznamenal žiadne vozidlo, riadiaci systém pre tento smer vynechá zelené svetlo [1], [3].

SITUÁCIA V KOŠICIACH

Cestná infraštruktúra v Košiciach, v súčasnosti druhom najväčšom meste na Slovensku, predstavuje dôležitý a zložitý dopravný uzol s množstvom križovatiek riadených svetelnou signalizáciou. Na základe analýzy vykonanej pomocou informácií a údajov z dostupných zdrojov a na základe výsledkov vyplývajúcich z komunikácie so zodpovednými inštitúciami je možné konštatovať, že počet križovatiek, ktoré

možno označiť za inteligentné, je vzhľadom na celkový počet križovatiek so svetelnou signalizáciou zanedbateľný. Existujú však jednoduchšie systémy, napr. na preferenciu električiek, kde sa jedná o tzv. prihlasovacie „čidla“ umiestnené na trolejovom vedení. Princíp spočíva v tom, že električka sa pár metrov pred križovatkou prostredníctvom prihlasovacieho „čidla“ prihlási do križovatky. Riadiaci systém križovatky toto prihlásenie zaznamená, ukončí aktuálnu fázu a nastaví svetelnú signalizáciu tak, aby električka mohla prejsť križovatkou bez dlhšieho čakania, prípadne ak je to možné, aby mohla prejsť križovatkou okamžite [9].

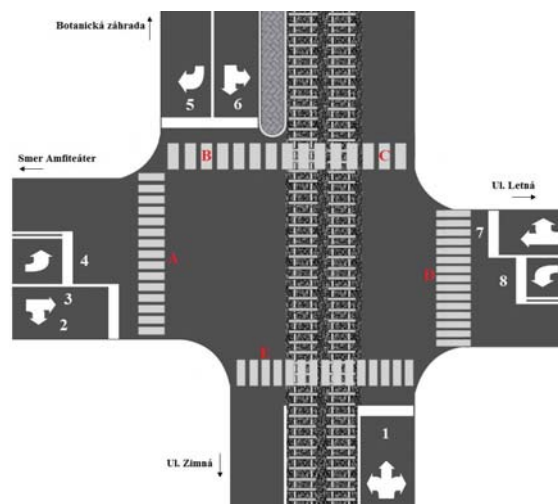
POPIS REÁLNEHO STAVU NA VYBRANEJ KRIŽOVATKE

Vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti, bolo cieľom autorov príspevku vybrať jednu križovátku so svetelnou signalizáciou v Košiciach, pomocou vhodného softvérového nástroja vytvoriť jej simulačný model a následne navrhnúť algoritmus inteligentného riadenia tejto križovatky a na vytvorení modeli simulačne overiť navrhnuté riadenie. Pretože bolo potrebné vykonať sledovanie reálnej premávky na zvolenej križovátke, vybrali sme križovátku ulíc Letná a Némcovej (tá za križovatkou končí a ďalej pokračuje ako Zimná). Križovátka sa nachádza v blízkosti hlavnej budovy Technickej univerzity v Košiciach a hlavne v ranných a popoludňajších hodinách je pomerne frekventovaná, pričom ňou v jednom smere prechádzajú aj električky.

V riadiacom systéme križovatky bol ešte koncom roka 2013 implementovaný iný algoritmus riadenia, ako je v súčasnosti. Na základe požiadavky dopravnej polície došlo k zmene signálneho plánu. Hlavným dôvodom bolo rozdelenie súbehu zelených signálov z oboch smerov Letnej ulice, počas ktorého si protismerné vozidlá odbočujúce vľavo museli dávať prednosť. V križovátke tak museli čakať vozidlá, kým nebudú mať bezpečný a voľný prejazd križovatkou. Takto riadená križovátka bola jedinou a zároveň poslednou križovatkou v Košiciach. Od januára 2014 je program v testovacej prevádzke [9].

Tvar križovatky je znázornený na obr. 1. Ako je možné vidieť, vozidlá prichádzajú zo štyroch smerov: amfiteáter, ulica Zimná a Letná a od Botanickej záhrady. Električky prichádzajú iba z dvoch smerov a to od Botanickej záhrady a z ulice Zimná. Veľké písmená znázornené na obrázku predstavujú prechod chodcov križovatkou a čísla predstavujú prechod vozidiel. Chodci prechádzajú križovatkou nasledovne: od Botanickej záhrady na ulicu Zimnú (A), od nástupného ostrovčeka v smere na amfiteáter (B), od Technickej univerzity na nástupný ostrovček (C), z ulice Letná k Technickej univerzite (D), zo smeru amfiteáter na ulicu Letná

(E). Vozidlá prechádzajú postupne z ulice Zimná a súčasne aj vozidlá odbočujúce vpravo z amfiteátra. Po ich prejazde prechádzajú vozidlá zo smeru amfiteáter a vozidlá odbočujúce vpravo od Botanickej záhrady. Po ich prejazde dostáva signál voľno električka. Jej svieti voľno vždy, aj keď sa v križovátke nenachádza. Po jej prejazde pokračuje križovátka štandardným krokom. Signál voľno dostávajú vozidlá prichádzajúce od Botanickej záhrady. Ako posledné prechádzajú križovatkou vozidlá z ulice Letná.



Obr. 1 Tvar križovatky a spôsob radenia v jazdných pruhoch

Dĺžka zelenej pre jednotlivé jazdné smery je presne daná. Celý cyklus (vozidlá postupne prichádzajú zo všetkých štyroch smerov) trvá približne 114 sekúnd. Súčasný stav prechodu vozidiel križovatkou je popísaný k 20.2.2014.

POPIS A ANALÝZA SIMULAČNÉHO MODELU KRIŽOVATKY

Ako už bolo spomínané, cieľom bolo vytvoriť simulačný model uvedenej križovatky a následne navrhnúť algoritmus riadenia, ktorý by určoval dĺžky intervalov zelenej pre jednotlivé smery podľa počtu prichádzajúcich vozidiel. Simulačný model križovatky bol vytvorený v jazyku Matlab s využitím Stateflow Toolboxu, ktorý dokáže modelovať stavové automaty a vývojové diagramy v rámci prostredia Simulink. Stateflow Toolbox predstavuje vhodný nástroj pre modelovanie dynamických systémov, ktoré sa vyvíjajú v čase, majú konečný počet stavov a môžu v nich vzniknúť definované udalosti v čase [2].

Riadiaci systém križovatky určuje dĺžku intervalu zelenej na základe počtu vozidiel v križovátke podľa definovanej stupnice. Napr. ak sa v križovátke nachádza 5 vozidiel, dĺžka zelenej bude 11 sekúnd, ak senzor zaznamenal 13 vozidiel v danom smere, riadiaci systém nechá zelenú

svietiť po dobu 29 sekúnd. Dĺžka zelenej na svetelnom signalizačnom zariadení pre daný smer bola vypočítaná ako priemer jednotlivých časov prechodu vozidiel križovatkou. Výpočty časov prechodu vozidiel križovatkou boli zistené empiricky na dvoch križovatkách v Spišskej Novej Vsi a na križovatke v Košiciach. Počítali sa vozidlá, ktoré prešli hranicou križovatky [7].

SIMULAČNÝ MODEL PRE PRACOVNÝ DEŇ

Križovátku môžeme z kybernetického hľadiska chápať ako nejaký systém s určitými vstupmi a výstupmi. Vstupmi do križovatky sú počty vozidiel prichádzajúcich do križovatky z jednotlivých smerov, ktoré sú zosnímané detektormi umiestnenými vo vozovke alebo kamerami umiestnenými na semaforoch. Na základe informácií z týchto snímačov zisťuje riadiaci systém intenzitu dopravy a na základe toho určuje dĺžku intervalu zelenej v jednotlivých jazdných pruhoch.

Na simuláciu počtu vozidiel boli použité štandardné funkcie Matlabu a Simulinku na generovanie náhodných čísel, ktoré predstavujú počty vozidiel, ktoré sú zosnímané detektormi, na generovanie prítomnosti električky v križovatke a smeru, z ktorého prichádza. Po nastavení času simulácie a jej spustení sa na všetkých semaforoch zobrazí červené svetlo. Simulácia začína prvým paralelným podstavom, kedy križovatkou prechádzajú vozidlá z ulice Zimná. Riadiaci systém križovatky dostáva informáciu o tom, či je alebo nie je v križovatke prihlásená električka, keďže sa v každom cykle križovatky s električkou neráta. Môžu nastať tieto situácie:

- električka nie je prihlásená do križovatky,
- električka prichádza od Botanického záhrady,
- električka prichádza z ulice Zimná.

Ak električka nie je prihlásená do križovatky, simulácia pokračuje do ďalšieho stavu, kedy riadiaci algoritmus dostáva informáciu o počte vozidiel v križovatke. Môžu nastať tieto situácie:

- detektor nezaznamenal vozidlá v križovatke,
- v križovatke sa nachádzajú vozidlá, ktoré čakajú na prejazd.

Ak riadiaci algoritmus zaznamenal vozidlá v križovatke, prepne sa farba semaforu na oranžovú a po dvoch sekundách na zelenú. Dĺžka zelenej sa odvíja od počtu vozidiel v križovatke. Po prechode vozidiel križovatkou sa na svetelnom signalizačnom zariadení pre daný smer zobrazí oranžové svetlo, ktoré svieti 3 sekundy a následne červené svetlo.

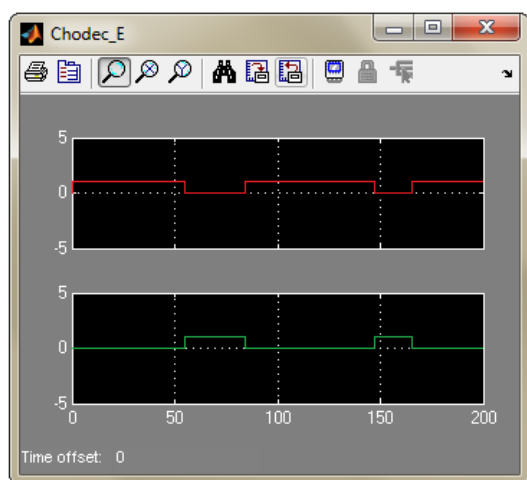
V prípade, ak snímač nezaznamenal v križovatke vozidlo, ostáva na semafore pre daný jazdný smer i naďalej svietiť červené svetlo. Riadiaci algoritmus tento smer vynechá.

Riadiaci algoritmus kontroluje vždy predtým, než prepne svetelnú signalizáciu pre riadenie premávky v ďalšom smere, či je v križovatke prihlásená električka. Ak električka prichádza z ulice Zimná, riadenie križovatky jej dáva signál voľno. Po uplynutí času potrebného na prejazd električky pokračuje simulácia štandardným krokom – zisťuje sa počet vozidiel v križovatke.

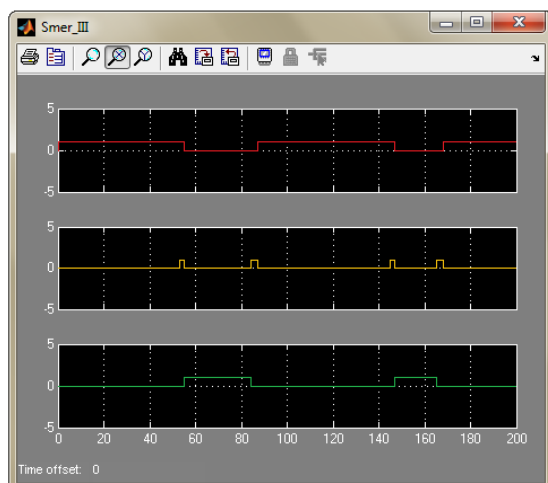
Úplne iná situácia nastáva v prípade, ak riadiaci algoritmus zaznamenal prihlásenie električky od Botanického záhrady. Keďže električka prichádza k zastávke, je potrebné zabezpečiť, aby cestujúci stihli do električky nastúpiť. Po jej zaznamenaní (električka sa nachádza v križovatke), najskôr riadiaci algoritmus križovatky pustí vozidlá v danom smere a až potom dáva signál voľno pre električku. V prípade, že riadenie križovatky nezaznamenalo žiadne vozidlá v danom jazdnom smere a do električky potrebujú nastúpiť cestujúci, pokračuje algoritmus ďalším smerom, kedy dáva signál voľno pre tento jazdný smer. Riadiaci algoritmus si pamätá, že sa v križovatke nachádza električka, ktorá čaká na prechod. Preto po prejazde vozidiel z daného jazdného smeru dáva signál voľno pre električku, ktorá po uplynutí daného času opúšťa križovátku.

Na obr. 2 je znázornený priebeh signálu pre prechod chodcov, ktorí prechádzajú zo strany amfiteátra na Letnú ulicu. Z priebehu signálu na obrázku je možné vidieť, že približne v 55. sekunde sa na semafore pre chodcov prepne červená na zelenú. Červená pre chodcov opäť zasvieti v 84. sekunde. Zelenú opäť budú mať v 147. sekunde a na prechod križovatkou budú mať chodci 18 sekúnd, kedy sa v 165. sekunde zobrazí na semafore červené svetlo. Dĺžka intervalu prechodu chodcov križovatkou závisí od počtu vozidiel, ktoré zaznamenal snímač. Od tohto počtu sa odvíja nielen dĺžka intervalu zelenej pre vozidlá, ale aj dĺžka intervalu zelenej pre chodcov, ktorí prechádzajú križovatkou súčasne ako vozidlá v danom smere.

Na obr. 3 je zobrazený priebeh svetelných signálov pri simulácii riadenia pre tretí smer, kedy vozidlá prechádzajú smerom od Botanického záhrady. Ak amplitúda signálu nadobúda hodnotu 1 znamená to, že na svetelnom signalizačnom zariadení svieti dané svetlo. Ak svetlo na semafore nesvieti, amplitúda signálu je rovná 0. Takto na základe grafického priebehu je zrejmé, že v 55. sekunde zasvieti na semafore zelená pre tretí smer a napríklad, že v 168. sekunde zhasne na semafore oranžová a rozsvieti sa červená.



Obr. 2 Priebeh svetelných signálov pre chodcov v simulačnom modeli



Obr. 3 Priebeh svetelných signálov pre vozidlá idúce od Botanickéj záhrady v simulačnom modeli

SIMULAČNÝ MODEL PRE VÍKEND

Keďže počas víkendov a sviatkov prechádza križovatkou podstatne menej vozidiel, bol navrhnutý algoritmus riadenia svetelnej signalizácie aj pre tieto dni. Dĺžka intervalu zelenej sa i naďalej vyhodnocuje na základe počtu vozidiel prichádzajúcich do križovatky a tiež električky sa do križovatky prihlasujú prostredníctvom prihlasovacieho čidla. Podstatný rozdiel oproti režimu počas bežného pracovného dňa je v tom, že električka, ktorá sa prihlásila do križovatky v prvom smere, prejde križovatkou až vo štvrtom smere. Električka prihlásená v druhom smere, prejde križovatkou v prvom smere, prihlásená v treťom prejde druhým smerom a električka prihlásená vo štvrtom smere prejde križovatkou v treťom smere. Spoločné znaky všetkých štyroch smerov sú, že ak prechádza električka križovatkou, majú v tom čase zelenú aj chodci prechádzajúci od Botanickéj záhrady na ulicu Zimná, chodci

prechádzajúci od nástupného ostrovčeka v smere na amfiteáter a chodci z ulice Letná k Technickej univerzite.

Pri simulácii riadenia križovatky sa po spustení simulácie na všetkých semaforoch pre vozidlá zobrazí červené svetlo a pre všetkých chodcov zase zelené. Ak snímač z akéhokoľvek smeru zaznamená vozidlo prichádzajúce do križovatky, riadiaci algoritmus prepne semafor v danom jazdnom smere na zelenú, v ostatných smeroch ostáva na svetelnom signalizačnom zariadení svietiť červená. Zelenú pre chodcov nechá iba tam, kde chodci nekrižujú jazdný smer, ktorý má zelenú.

ANALÝZA A POROVNANIE SÚČASNÉHO STAVU KRIŽOVATKY S NAVRHNUTÝM SIMULAČNÝM MODELOM

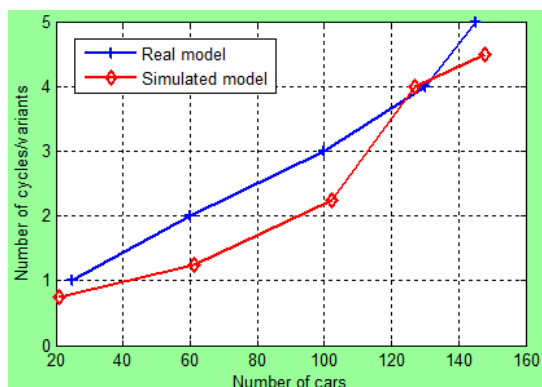
Kvôli väčšej prehľadnosti, lepšej čitateľnosti a pre účely analýzy boli výsledky simulácii zobrazované v grafickej podobe a vo forme tabuliek, s možnosťou voľby času a dňa. V tabuľke č. 1 je uvedený počet vozidiel, ktoré prešli križovatkou v reálnom a simulačnom modeli.

tab.1 Počty vozidiel – reálny a simulačný model – pondelok ráno

	reálny model		simulačný model	
pondelok – ráno	1 c	25	0.75	21
	2 c	60	1.25	61
	3 c	100	2.25	102
	4 c	130	4	127
	5 c	145	4.5	148

Na základe analýzy výsledkov simulácie môžeme konštatovať, že napr. počas prvého cyklu (jeden cyklus znamená prejazd vozidiel zo všetkých štyroch smerov) v reálnom modeli prešlo križovatkou 25 vozidiel, v simulačnom modeli prešli vozidlá iba z troch smerov a bolo ich 21. To znamená, že algoritmus riadenia v simulačnom modeli nechal dlhšie svietiť na jednom zo semaforov zelenú. Počas štyroch cyklov sa ukázal lepší reálny model, keďže križovatkou prešlo viac vozidiel ako v simulačnom modeli. Počas piatich cyklov v reálnom modeli prešlo križovatkou 145 vozidiel, pričom v simulačnom modeli počas štyroch cyklov a dvoch smerov prešlo križovatkou 148 vozidiel.

Uvedené výsledky sú v grafickej forme znázornené na obr. 4 (kvôli problémom so zobrazovaním diakritiky v prostredí Simulink sú popisy osí a legenda v anglickom jazyku). Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že algoritmus riadenia v simulačnom modeli križovatky dokázal pružnejšie reagovať na vzniknutú dopravnú situáciu.



Obr. 4 Počet vozidiel v simulačnom a reálnom modeli – pondelok ráno

V ďalšom bol porovnaný reálny a simulačný model pre premávku na križovatke počas bežného pracovného dňa na popoludnie, konkrétne v pondelok na popoludnie. V tabuľke č. 2 sú uvedené počty vozidiel, ktoré prešli križovatkou v pondelok na popoludnie.

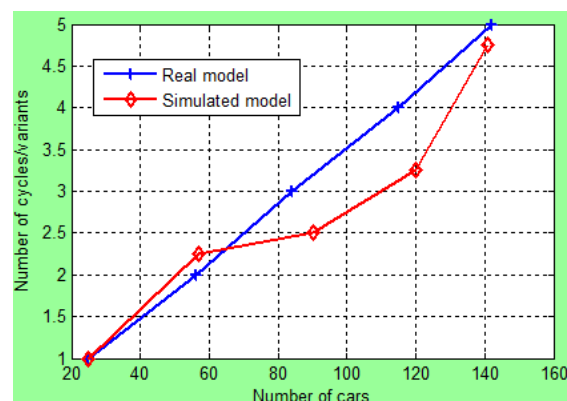
tab.2 Počty vozidiel – reálny a simulačný model – pondelok na popoludnie

	reálny model		simulačný model	
pondelok – popoludnie	1 c	25	1	25
	2 c	56	2.25	57
	3 c	84	2.5	90
	4 c	115	3.25	120
	5 c	142	4.75	141

V prvom cykle prešiel križovatkou rovnaký počet vozidiel v simulačnom aj v reálnom modeli. Zaujímavá situácia nastáva pri druhom cykle. Počas dvoch cyklov prešlo križovatkou v reálnom modeli 56 vozidiel a v simulačnom modeli prešlo 57 vozidiel a okrem toho, v simulačnom modeli prešiel ešte jeden smer navyše. Z toho vyplýva, že ak riadiaci algoritmus križovatky nezaznamenal v križovatke v danom smere vozidlo, vynechal tento smer a signál voľno dal ďalšiemu smeru. Pri treťom a štvrtom cykle bola situácia opačná, pretože sa v križovatke nachádzalo väčšie množstvo vozidiel a preto riadiaci algoritmus nechal dlhšie svietiť zelenú v jednom z jazdných smerov. Hustota premávky v reálnom modeli bola 142 vozidiel za 9 minút a 30 sekúnd a v simulačnom modeli 141 vozidiel. Uvedené výsledky sú graficky znázornené na obr. 5.

Ako posledná je opísaná dopravná situácia na križovatke počas víkendov. V tabuľke č. 3 sú uvedené počty vozidiel počas víkendov na popoludnie. Počas víkendov a sviatkov sa spúšťa simulácia takým spôsobom, že pre všetky smery na semaforoch svieti červená a chodci majú zelenú. Z grafu na obr. 6, kde je znázornený počet vozidiel

prechádzajúcich križovatkou počas víkendov na popoludnie vyplýva, že počas 1 minúty a 54 sekúnd prešiel riadiaci systém križovatky v reálnom modeli jedným cyklom, na základe čoho prešlo križovatkou 16 vozidiel a v simulačnom modeli prešla simulácia jedným cyklom a navyše aj dvoma smermi, čím prešlo v simulačnom modeli križovatkou 17 vozidiel. Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že riadiaci algoritmus v simulačnom modeli dokázal pružnejšie reagovať na vzniknutú dopravnú situáciu.



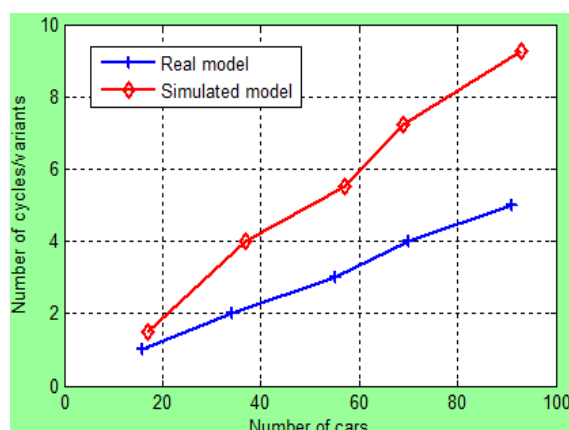
Obr. 5 Počet vozidiel v simulačnom a reálnom modeli – pondelok na popoludnie

tab.3 Počty vozidiel – reálny a simulačný model – víkend na popoludnie

	reálny model		simulačný model	
víkend – popoludnie	1 c	16	1.5	17
	2 c	34	3.25	37
	3 c	55	6.75	57
	4 c	70	8	69
	5 c	91	9.75	93

Na základe merania počtu vozidiel v reálnej premávke a na základe simulácií sa simulačný model počas víkendov javil ako lepší. Nedostatkom simulačného modelu je to, že vozidlá, ktoré prešli križovatkou, sa spočítavajú až po prepnutí semaforu na červenú. Uvedené výsledky sú graficky znázornené na obr. 6.

Kapacita cestnej križovatky so svetelnou signalizáciou predstavuje počet vozidiel, ktoré prešli križovatkou za hodinu. V simulačnom modeli to bolo 1001 vozidiel, zatiaľ čo reálne križovatkou prešlo 980 vozidiel. Na základe porovnania týchto hodnôt možno konštatovať, že navrhnutý riadiaci algoritmus v simulačnom modeli lepšie zvláda riadenie dopravy na križovatke pri dynamických zmenách počtu vozidiel prechádzajúcich križovatkou, ako riadiaci algoritmus, ktorý je v súčasnosti aplikovaný v riadiacom systéme križovatky.



Obr. 6 Počet vozidiel v simulačnom a reálnom modeli – víkend na poludnie

ZÁVER

Prínosom navrhnutého riadiaceho algoritmu svetelnej križovatky je predovšetkým dynamická zmena dĺžky intervalu zelenej pre jednotlivé smery, v závislosti od počtu vozidiel prechádzajúcich križovatkou v daných smeroch. Riadiaci algoritmus tiež pružne reaguje na prítomnosť električky v križovatke. Riadiaci systém križovatky, v ktorom je implementovaný takýto algoritmus, dokáže pružnejšie reagovať na vzniknutú dopravnú situáciu. Kľúčovými prvkami pre funkciu algoritmu sú vhodne špecifikované a spoľahlivé snímače počtu vozidiel prichádzajúcich do križovatky z jednotlivých smerov. Nezanedbateľným prínosom je tiež realizácia simulačného modelu, pomocou ktorého je možné verifikovať navrhnuté algoritmy riadenia a následne dosiahnuté výsledky porovnať s reálnym stavom na križovatke. Je zrejmé, že kvôli dosiahnutiu čo najväčšej plynulosti dopravy by bolo potrebné realizovať sieť takýchto inteligentných križovatiek, pričom by sa napr. monitorovali už počty vozidiel prichádzajúcich do mesta a tiež počty vozidiel smerujúcich do jeho určitých častí.

Literatúra

- [1] Bánovec, P.: V Považskej Bystrici spustili Inteligentný dopravný systém. Žilina, 2007. Dostupné na internete: http://www.vlcik.sk/vlcik/index.php?option=com_content&view=article&id=60:ids-v-pb&catid=
- [2] Chen, Ch., Sun, J., Liu, Y., Dong, J.S., Zheng, M.: Formal modeling and validation of stateflow diagrams. International Journal on Software Tools for Technology Transfer. Vol. 14, no. 6, 2012. pp. 653-671. ISSN 1433-2787
- [3] Drahovský, J.: Prvá inteligentná križovatka pri Bratislave. Bratislava: SME, roč. 21, 2005. Dostupné na internete: <http://drahovsky.blog.sme.sk/c/6618/Prva-inteligentna-krizovatka-pri-Bratislave.html>
- [4] Karban, P.: Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink. Brno: Computer Press, 2006. 221 s. ISBN 80-251-1301-9.
- [5] Kohl, B.: IBM je komplexným poskytovateľom Smart City riešení. Bratislava: IBM Slovensko, spol. s r. o., 2013. Dostupné na internete: <http://www.ibm.com/news/sk/sk/2013/08/28/m761997x92706w18.html>
- [6] Madarász, L.: Inteligentné technológie a ich aplikácie v zložitých systémoch. Košice: Elfa, 1. vydanie, 2004. 346 s. ISBN 80-89066-75-5.
- [7] Muchová, M.: Modelovanie a analýza systému cestnej križovatky. Diplomová práca. Košice: TU, 2014. 81s.
- [8] Sarnovský, J., Hladký, V., Jadlovská, A.: Riadenie zložitých systémov. Košice: Elfa, 2. vydanie, 2013. 133 s. ISBN 978-80-8086-224-4.
- [9] Vrábel, J.: Semaforey na košickej Letnej: Tvrdili, že sa to nedá. Dalo sa. Košice: Košický Korzár, roč. 14, 2014. Dostupné na internete: <http://kosice.korzar.sme.sk/c/7129103/semafor-y-na-kosickej-letnej-tvrdili-ze-sa-to-neda-dalo-sa.html#>

Tento článok bol vytvorený s podporou projektov Vedeckej grantovej agentúry a Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, VEGA č. 1/0298/12 (50%) a KEGA č. 021TUKE-4/2012 (50%).