

# MOŽNOSTI TESTOVANIA PARAMETROV DOPRAVNÉHO PRÚDU PRI STRATE FUNKČNOSTI VYBRANÉHO PRVKU CESTNEJ SIETE

## POSSIBILITIES OF TRAFFIC FLOW PARAMETERS TESTING AT LOSING OF THE FUNCTIONALITY OF SELECTED ROAD NETWORK ELEMENT

Bohuš Leitner, Eva Sventeková, Ladislav Novák<sup>1</sup>

*Anotácia: Cieľom príspevku je definovanie možností testovania výkonnostných parametrov dopravného prúdu pri obmedzení alebo strate funkčnosti zvoleného prvku cestnej infraštruktúry. Článok obsahuje účel a možnosti modelovania dopravného prúdu, všeobecnú charakteristiku nástroja OmniTRANS, jeho využitie pri návrhu organizácie dopravy pri obmedzujúcich podmienkach na úseku cestnej siete a interpretáciu výsledkov riešenej prípadovej štúdie.*

*Kľúčové slová: cestná infraštruktúra, dopravný prúd a jeho modelovanie, výkonnostné parametre, strata funkčnosti prvku.*

*Summary: Aim of the paper is to define the options for traffic flow performance parameters testing in the restriction or loss of function of the road infrastructure selected element. The article contains the purpose and possibilities of traffic flow modelling, general characteristics of the software product OmniTRANS, its use in the design of the traffic organization at restrictive conditions on the segment of road and results interpretation of the solved case study.*

*Key words: road infrastructure, traffic flow and its modelling, performance parameters, loss of function element.*

### ÚVOD

Neustále sa zvyšujúca intenzita cestnej dopravy, ako aj rozširovanie siete pozemných komunikácií prináša aj vyššiu mieru rizika vzniku neočakávaných negatívnych udalostí. Ich vznik je obvykle vyvolaný rozličnými okolnosťami, najmä prírodného alebo antropogénneho charakteru. Výkonnostné parametre dopravy môže okrem krízového javu ovplyvniť napr. aj plánovaná rekonštrukcia alebo bežná oprava cestného úseku, príp. významného objektu na infraštruktúre pozemných komunikácií. Na takéto plánované obnovy alebo neočakávané mimoriadne udalosti v infraštruktúre je nutné reagovať čo najefektívnejšie, najmä za predpokladu ich dlhodobejšieho negatívneho vplyvu na dopravný systém. V takýchto prípadoch je jedinou možnosťou viesť dopravný prúd po vhodne zvolenej obchádzke.

<sup>1</sup> doc. Ing. Bohuš Leitner, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta špeciálneho inžinierstva, K technických vied a informatiky., 1.mája 32, 010 26 Žilina, SR, Tel.: +421 41 513 6863, E-mail: [Bohus.Leitner@fsi.uniza.sk](mailto:Bohus.Leitner@fsi.uniza.sk)

doc. Ing. Eva Sventeková, PhD., doc. Ing. Ladislav Novák, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta špeciálneho inžinierstva, 1.mája 32, 010 26 Žilina

Takáto zmena v organizácii dopravy však musí byť realizovaná najmä s ohľadom na priepustnú výkonnosť a ďalšie, najmä kapacitné parametre komunikácie a často predstavuje aj nutnosť vykonania zmien v dopravnom značení, príp. redukcii prejazdnosti jednotlivých úsekov komunikácií. K uvedenému účelu sa v súčasnosti s výhodou využívajú špecializované softvérové nástroje s rozsiahlymi možnosťami modelovania a experimentovania s modelom – simulácie. Pomocou nich je možné počas relatívne krátkeho času simulovať mnoho početné scenáre dopravných situácií a realizovať prepočty výkonnosti úsekov, príp. jednotlivých objektov dopravnej infraštruktúry.

## 1. MODELOVANIE DOPRAVNÉHO PRÚDU A JEHO CHARAKTERISTÍK

Modelovanie dopravných prúdov prostredníctvom vhodného softvérového vybavenia predstavuje v odboroch dopravného inžinierstva, ale aj dopravného staviteľstva účinnú pracovnú metódu. Takéto modelovanie však nezahŕňa iba simuláciu dopravnej prevádzky, ale predstavuje širokú škálu pomocných nástrojov, od relatívne jednoduchých jednoúčelových aplikácií, až po komplexné nástroje pre realizáciu zložitých analýz dopravných sietí a procesov na nich. Jedným z najvýznamnejších teoretických nástrojov týchto špecializovaných softvérových produktov sú modely dopravných prúdov. Tieto modely tvoria jeden zo základných vstupných parametrov pri analýzach a optimalizácii cieľového správania sa účastníkov premávky na pozemných komunikáciách (7).

Modely dopravného prúdu boli vytvorené ako nástroj k teoretickému popisu a kvantifikácii vplyvu rôznych faktorov na hodnoty analyzovaných charakteristík dopravného procesu, ako aj pre určenie najdôležitejších parametrov, ako sú kapacita pohybu prúdu v rôznych podmienkach, vyšetovanie vplyvu nehody na správanie sa dopravného prúdu, odhad dĺžky kolón pred svetelnou signalizáciou a pod. Primárne sa jedná o prúd vozidiel v jednom jazdnom pruhu, kde vozidlá musia zachovávať poradie. Pri vyššom počte prúdov sa proces komplikuje a prístupujú nové okolnosti a vlastnosti. Dopravný prúd obvykle analyzujeme z pohľadu dvoch, principiálne odlišných prístupov, a to ako **model prúdu makroskopický** alebo **model mikroskopický**. Teoreticky sa uvažuje sa aj s tzv. modelmi mezoskopickými, ktorými sa však nebudeme aktuálne zaoberať.

### 1.1 Simulačné nástroje pre modelovanie podmienok dopravy a dopravného prúdu

Aktuálne sa pri riešení problémov v doprave využíva množstvo špecializovaných softvérových produktov (napr. Getram/AIMSUN, PTV Vissim, OmniTrans a mnohé ďalšie). Umožňujú počas relatívne krátkej doby modelovať scenáre dopravných situácií a realizovať prepočet výkonnostných a kapacitných parametrov analyzovaných úsekov alebo objektov dopravnej infraštruktúry. Ich využitím je možné modelovať aktuálne a odhadovať výhľadové stavy dopravy zvoleného dopravného módu (individuálna automobilová doprava, ľahká a ťažká nákladná doprava, systémy hromadnej dopravy, pešia i cyklistická doprava) alebo kvantifikovať parametre prevádzkovej zaťažnosti prvkov cestnej siete. Takéto riešenia obvykle využívajú mikroskopickú dynamickú simuláciu dopravy, kde môže byť simulované správanie sa jednotlivého vozidla v prúde alebo makroskopický princíp, pri ktorých je dopravný prúd charakterizovaný globálne prostredníctvom jeho základných charakteristík.

### **Makroskopické modely**

Makroskopické modely sú obvykle založené na vzťahoch medzi základnými charakteristikami dopravného prúdu a predpoklade, že dopravný prúd je homogénny a teda platia podmienky tzv. ustáleného stavu dopravy. Ich základ tvoria najmä na deterministické vzťahy a hodnoty. Jedná sa hlavne o rýchlosť pohybu, intenzita dopravy a hustota dopravného prúdu. Dopravný prúd je popisovaný globálne v základných charakteristikách, t.j. nemožno vystopovať pohyb určitého vozidla v určitom čase. Výstupy môžu slúžiť najmä na analýzu súčasného stavu alebo prognóz do budúcnosti alebo na posudzovanie alternatívnych riešení, vplyv výstavby a dopravných obmedzení na vznik kongescií a pod.. Medzi základné výstupy patria prepravné alebo dopravné výkony, dopravná záťaž na komunikácii a pod. (1), (3)

### **Mikroskopické modely**

Mikroskopický model je systém, skladajúci sa z jednotlivých vozidiel, ako najmenšej jednotky rozlíšenia objektov. Model popisuje správanie sa jednotlivých vozidiel (resp. vodičov) v dopravnom prúde. Najrozšírenejší typ mikroskopických modelov je tzv. CFM - Car following model (model nasledujúceho vozidla), ktorý popisuje chovanie sa *i*-teho vozidla v závislosti na predchádzajúcom vozidle a pracuje s určenými vzdialenosťami medzi jednotlivými vozidlami a ich rýchlosťami (2). Ich použitie je vhodné napr. pri vyšetovaní pohybu určitého vozidla v kolóne, pri stanovení bezpečnosti pohybu vozidiel v kolóne alebo pre klasifikáciu stability kolóny pri vyšších hustotách.

#### **1.2 Modelovanie dopravy pri obmedzujúcich podmienkach na dopravnej sieti**

Jedným zo zásadných problémov dopravy v mestských aglomeráciách sú dopravné kongescie (zápchy), ktoré majú za následok najmä zníženie rýchlosti pohybu dopravného prúdu, zvýšenie prepravných nákladov a vyššiu pravdepodobnosť vzniku incidentu / nehody. Kongescie sú výsledkom narastajúceho počtu vozidiel na pozemných komunikáciách, ktoré majú pritom nižšiu kapacitu, ako je v danom okamžiku práve potrebné.

- **Pravidelné dopravné kongescie** sú také, ktoré vznikajú na rovnakom úseku cestnej komunikácie s určitou pravidelnosťou. Na ich vznik majú vo veľkej miere vplyv najmä počet jazdných pruhov, pričom najviac kongescií vzniká obvykle tam, kde sa počet jazdných pruhov znižuje a spájajú sa do jedného. Ďalšími faktormi je napr. pozdĺžny sklon komunikácie, ktorý je dôležitý hlavne v segmente nákladných automobilov, rampy na vjazdoch a výjazdoch na komunikáciu, stredové deliace ostrovčeky, úzke krajnice a iné. (4)

- **Nepriavidelné dopravné kongescie** vznikajú náhodne. Ich vznik je podmienený výskytom náhodnej negatívnej udalosti obvykle prírodného alebo technogénneho charakteru. Z prírodných javov sa jedná obvykle o hustý a silný dážď alebo sneh, poľadovicu, hustú hmlu. Z technologického javov sa jedná najmä o dopravné nehody, ktoré obmedzia alebo úplne zamedzia priechodnosť dopravných pruhov. Okrem nich na dopravný prúd negatívne vplyvajú realizované stavebné a zemné práce, buď priamo na úseku alebo v jeho okolí. Takéto, náhodne sa vyskytujúce, javy dokážu významne znížiť priepustnosť komunikácie (4).

Riešenie problémov v doprave – či už vyvolaných mimoriadnou udalosťou alebo neočakávaným vznikom negatívneho javu (kongescie, rekonštrukcia úseku/ objektu a pod.)

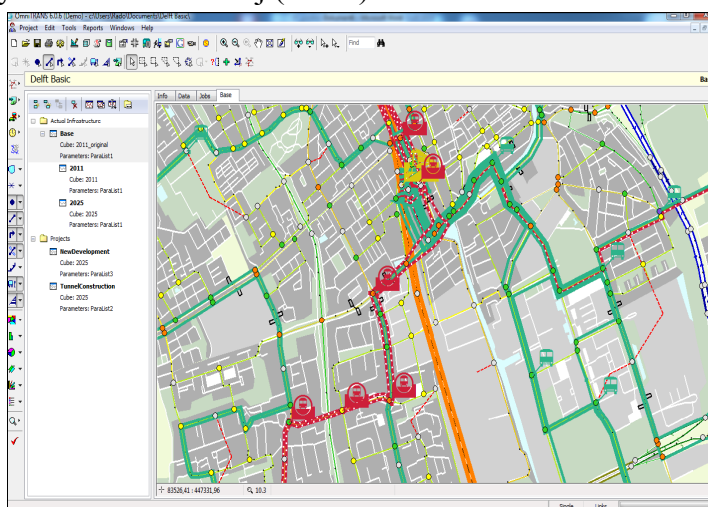
a snahy o optimalizáciu zvoleného riešenia je často realizované iba subjektívne. Prevláda subjektívny prístup, kedy sa na základe osobného názoru alebo pocitu navrhne alternatívne riešenie problému, napr. obchádzková trasa iba na základe dostupnosti okolitej siete. Neberie sa pritom ohľad na možné dopady plánovaného odklonu dopravného prúdu na jednotlivé komunikácie, hlavne s ohľadom na ich kapacitné a výkonové parametre a bezpečnosť premávky na nich. Obvykle však nie sú navrhnuté a overované viaceré varianty riešenia situácie, aby bol zvolený najlepší variant z pohľadu vopred určených relevantných kritérií.

## 2. VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA NÁSTROJA OMNITRANS

Z vyššie uvedeného je zrejmé, že modelovanie dopravy sa využíva predovšetkým pri:

- zmene organizácie dopravy a nezmenenej cestnej infraštruktúry,
- zmene / obmedzení na cestnej infraštruktúre,
- porovnaní uvažovaných variantov riešenia,
- určení vývojových trendov za určitých predpokladov rozvoja územia,
- podstatnej zmene významu dopravy počas pracovných a víkendových dní a pod.

Pred samotným procesom tvorby virtuálneho dopravného modelu je potrebné, aby bol zvolený vhodný nástroj pre modelovanie a experimentovanie s modelom. Medzi známe, voľne dostupné nástroje pre makroskopické modelovanie dopravy patrí aj softvérový nástroj OmniTRANS. Je vhodný na modelovanie stredne veľkých a veľkých dopravných sietí a jedná sa o tzv. multimodálny modelovací nástroj (Obr.1).



Zdroj: Omnitrans

Obr. 1: Pracovné prostredie OmniTRANS

Dopravná sieť, údaje z premávky a programové úlohy sú tri základné prvky, tvoriace predpoklad na to, aby bol konečný model úspešne zostavený, aby bol čo najpresnejší a plne funkčný pre relevantné simulačné experimenty. Vstupy a výstupy, ktoré nástroj ponúka majú najčastejšie formu grafického porovnania dát, grafického výstupu zobrazujúceho sieť a dáta; grafického porovnania variantov. Nástroj OmniTRANS umožňuje vytvárať statické alebo dynamické modely.

- **Statické modelovanie** – obvykle prezentuje priemerné zaťaženie dopravnej siete v priebehu dňa napr. dopravnej špičky alebo v priemerný deň v týždni. Medzi ďalšie funkcie, ktoré umožňujú modelovať vplyv kongescií na rýchlosť pohybu vozidiel a taktiež zvlášť na vozidlá verejnej dopravy. Individuálnu dopravu a verejnú osobnú dopravu možno analyzovať na niekoľkých komunikáciách alebo na jednej vybranej komunikácii poprípade v oblasti, ktorá je uzatvorená. Pomocou skriptu možno spustiť pridelenie dopravnej požiadavky na vybranej cestnej sieti, ktorá môže byť rozdelená na jednotlivé druhy vozidiel.

- **Dynamické modelovanie** – prebieha v OmniTRANS prostredníctvom aplikácie MADAM, ktorá predstavuje makroskopický model zaťaženia dopravnej siete. Táto aplikácia je vhodný na predikciu a riešenie dopravných kongescií a ich dopadov na komunikácie spájajúce susedné aglomerácie alebo dopad na jednotlivé mestské časti - okrsky. Interakcie medzi jednotlivými vozidlami sú limitujúcim faktorom, ale môžu byť priamo pozorované. Pomocou MADAM možno jednoducho prejsť zo statického modelovania do dynamického. (5). Pri dynamickom modeli sa zobrazuje dopravný výkon v on-line, t.j. v konkrétnom časovom okamihu. Komunikácie sú automaticky rozdelené do rady krátkych segmentov, pre ktoré je v každom časovom okamihu prepočítavaný objem dopravy na základe toho, ako vozidlá do segmentov prichádzajú a odchádzajú. Model MADAM dokáže určiť rýchlosť pohybu dopravného prúdu v každom segmente v závislosti na hustote dopravy. Znamená to, že dynamické modelovanie umožňuje vytváranie kongescií v jednotlivých časových reláciách a pri modelovaní viacerých variantov umožňuje ich vzájomné porovnanie a posúdenie riešení.

Základ modelovania v OmniTRANSE tvorí tzv. OTTraffic trieda, využívaná najmä pri statickom modelovaní. Z tejto triedy sa odvodzujú alebo na ňu nadväzujú ďalšie metódy, využívané na riešenie dopravnej siete, ako napr.:

- **Metóda obmedzenej kapacity:** využíva sa v prípade, že má nastať na komunikáciách rovnovážny stav. Zaťaženie vychádza z predpokladu, že kapacita komunikácie ovplyvňuje intenzitu na komunikácii. Jednotlivé komunikácie sú postupne zaťažované a ak zaťažovaná komunikácia dosiahne obmedzujúci stav, prechádza sa na ďalšiu komunikáciu. (5)

- **Metóda prírastkového zaťaženia:** metóda pri ceste zo zdroja do cieľa nájde s každým novým krokom kratšiu trasu. Cestovný čas sa prepočítava na každom úseku trasy a cesty sú zaťažované prístupom nič alebo všetko. (5)

- **Metóda najkratšej cesty:** prepravná trasa sa určuje tak, aby cestovné náklady boli minimálne. Pri výbere trás sa berie do úvahy, že na zvolenej trase nie sú kapacitné problémy a trasa je vnímaná pre všetkých ako najkratšia. (5)

- **Metóda zaťaženia priemerným objemom:** objem dopravy sa priradzuje na dopravnú sieť v iteratívnych krokoch, pričom priradovaný objem sa vypočíta ako lineárna kombinácia objemu dopravy z predchádzajúcej iterácie a objemom dopravy pridaných na základe prístupu všetko alebo nič v aktuálnej iterácii. (5)

- **Metóda dvoch alebo viacerých trás:** podobný princíp ako u metódy zaťaženia priemerným objemom. Rozdiel je vo využití Frank–Wolfovho algoritmu. Výsledok možno považovať za úspešný, ak sa dosiahne stav konvergenie alebo maximálny počet iterácií. (5)

### 3. VYUŽITIE NÁSTROJA OMNITRANS PRI NÁVRHU ORGANIZÁCIE DOPRAVY POČAS OBMEDZENÍ NA ÚSEKU CESTNEJ SIETE

Na preukázanie možností efektívneho využitia softvérových nástrojov pre modelovanie a následné zmeny v organizácii dopravy bola zvolená forma prípadovej štúdie. Podmienky prípadovej štúdie vychádzajú z predpokladu vzniku negatívneho javu a kvantifikácie jeho vplyvu na dopravnú obslužnosť a kapacitu vybraných úsekov cestnej siete na zvolenom území. Pri realizácii štúdie bol využitý softvérový nástroj OmniTRANS, najmä s ohľadom na jeho dostupnosť, relatívnu jednoduchosť a prehľadne spracovaný manuál na použitie (8).

Štúdia bola realizovaná v troch čiastkových úlohách – prípadoch s uvažovaním:

- **bežných podmienok premávky na úseku**, t.j. bez obmedzenia na riešenom úseku,
- **dočasného obmedzenia prejazdnosti** zvoleného mostného objektu na riešenom úseku a z toho vyplývajúcej dopravnej situácie,
- **úplnej a dlhodobej neprejazdnosti** riešeného úseku – príčina: neprejazdný mostný objekt s návrhom presmerovania dopravného prúdu na vhodnú obchádzku a úpravy dopravného značenia s určením prejazdnosti jednotlivých úsekov obchádzkovej trasy.

#### 3.1 Formulácia riešeného problému, opis oblasti a objektu

Štúdia bola realizovaná s cieľom preukázať možnosti a výhody využitia softvérovej podpory pre modelovanie dopravného prúdu pri riešení vzniknutej plánovanej / neplánovanej situácie vo forme čiastočného / úplného obmedzenia dopravy na určenom mieste cestnej siete (napr. mostný objekt, tunel, významná križovatka a pod.).

Cieľom prípadovej štúdie bola realizácia:

- kalkulácie zaťaženia cestnej siete vo vybranej lokalite pri bežnom stave (v čase rannej dopravnej špičky - od 7:05 do 9:25),
- predikcia dopravného zaťaženia pri výskyte dopravného obmedzenia na zvolenom mostnom objekte (most na ulici Juraja Závodského, Obr.2).
- návrhu vhodnej obchádzky a predikcia dopravného zaťaženia po realizácii navrhnutých opatrení tak, aby dopravný tok na komunikácii bol čo najplynulejší.



Zdroj: Autori

Obr. 2: Vybraný mostný objekt

Očakávaným výsledkom štúdie bolo potvrdenie / vyvrátenie predpokladu, že pri obmedzení dopravného prúdu, ktoré vznikne zamedzením prejazdnosti mosta, budú okolité komunikácie a navrhnuté alternatívne riešenie schopné obslúžiť dopravný dopyt v riešenej oblasti.

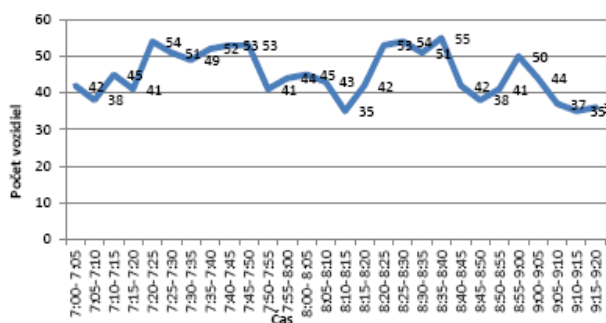
Pre prípadovú štúdiu bol zvolený mostný objekt v mestskej časti Žilina – Závodie (Obr. 2), umožňujúci prechod dopravného prúdu cez rieku Rajčanku..

Objekt leží na úseku cesty III. triedy III/5181 s dĺžkou 1,25 km (začiatok úseku Rondel, koniec úseku križovatka do Hôrok), na mimoúrovňovej kruhovej križovatke - Rondel - sa úsek križuje s cestou I. triedy I/18. Vybraný úsek komunikácie je hlavným spojením medzi centrom mesta Žilina a sídliskom Hájik, mestskou časťou Bánová a okolitými obcami Hôrky, Brezany, Bitarová a Ovčiarsko.

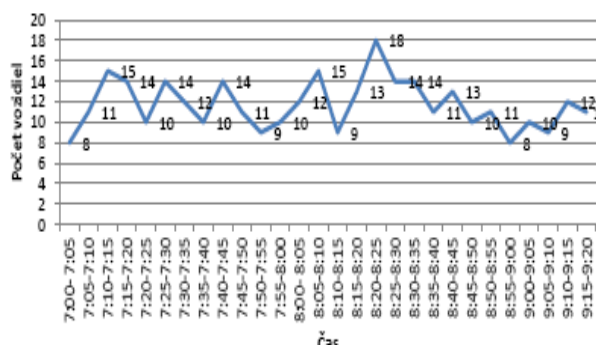
V blízkosti mosta sa nachádza aj križovatka ciest z Priemyselnej a Škultétyho, ktorá je riešená formou kruhového objazdu. Po zvolenej komunikácii a teda aj cez mostný objekt premáva i mestská hromadná doprava mesta Žilina (autobusová aj trolejbusová doprava). Iba pre zdôvodnenie výberu objektu - v roku 2010 bola na toku Rajčanky v časti Žilina - Závodie po dlho pretrvávajúcom daždi vyhlásený III. povodňový stupeň (hladina dosiahla cca 290 cm a vážne sa uvažovalo nad obmedzením premávky na moste). Ďalšie vstupné údaje: ide o miestne komunikácie, dva jazdné pruhy, maximálna povolená rýchlosť 50 km/hod. V lokalite sa nachádza jedna okružná križovatka a 8 úrovňových križovaní.

### 3.2 Vstupné údaje a zber dát

Po voľbe vhodného softvéru a opise analyzovaného úseku a priláhlého okolia bolo nutné získať ďalšie potrebné vstupné parametre, nevyhnutné na tvorbu modelu a objektívny priebeh simulácie. Medzi najdôležitejšie údaje patria tzv. prepravné vzťahy. Údaje potrebné na zadefinovanie dopravnej matice boli získané z dopravného prieskumu, ktorý sa uskutočnil počas pracovných dní v čase od 7:00 do 9:20 hod v dvoch lokalitách - na ulici Hôrecká cesta a ulica Osloboditeľov. V celkovom súbte sú zarátané osobné vozidlá, nákladné vozidlá, ako aj vozidlá MHD (Obr.3).



Obr. 3 Výsledky dopravného prieskumu - ulica Hôrecká



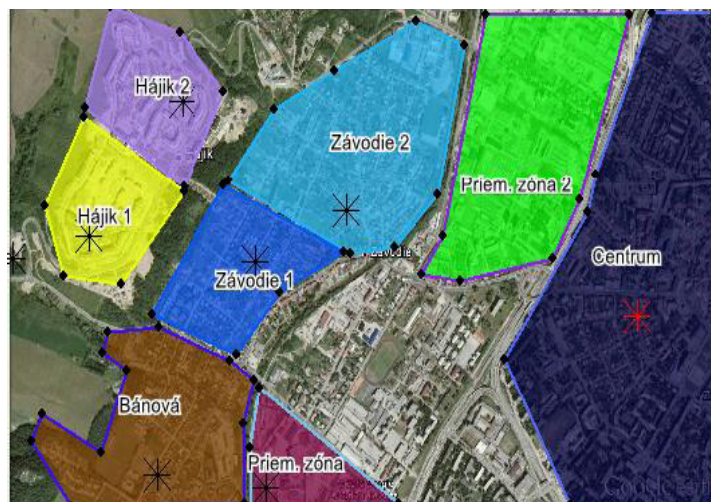
Obr. 4 Výsledky dopravného prieskumu - ulica Osloboditeľov

Ak na dopravný prieskum nie je dostatok času, napr. v prípade vzniku neočakávanej mimoriadnej udalosti, možno približné aktuálne informácie o intenzite dopravy a vybraných parametroch dopravného prúdu získať aj z údajov celoštátneho sčítania dopravy, ktoré monitoruje vyťaženosť ciest a realizuje sa každých päť rokov [9].

### 3.3 Tvorba simulačného modelu

Vytvorenie dopravného modelu pozostávalo z nasledovných krokov:

**1. Vloženie mapového podkladu, zakreslenie zón a definovanie okrskov:** získanie mapového podkladu lokality, napr. z Google maps, resp. Google Earth a vymedzenie jednotlivých zón, predstavujúce jednotlivé mestské štvrte a tzv. okrsky v rámci nich (Obr. 5).



Zdroj: Google maps

Obr. 5: Zadefinovanie zón a okrskov

Po vložení mapového podkladu sa zakreslia jednotlivé zóny, ktoré predstavujú jednotlivé mestské časti a každej bol priradený názov. Po zakreslení zón pridáme do každej zóny tzv. okrsky, z ktorých neskôr budeme smerovať dopravné prúdy. Každý okrsk dostal svoj názov a pre jeho lepšie rozlíšenie boli zvýraznené každý inou farbou. Pre potreby riešenia prípadovej štúdie bolo definovaných celkom 8 okrskov.

**2. Vykreslenie dopravných uzlov, cestnej siete a zadefinovanie križovatiek na dopravných uzloch :** z jednotlivých dopravných okrskov, bola podľa mapového podkladu vytvorená cestná sieť, pozostávajúca z jednotlivých dôležitých uzlov, medzi ktorými boli definované významné úseky v rámci stávajúcej cestnej siete.

Dopravné uzly tvoria základ na vytvorenie siete z jednotlivých komunikácií, pričom dopravný uzol umiestňujeme na mapový podklad tam, kde sa reálne nachádza križovanie ciest. Po zadefinovaní dopravných uzlov vytvoríme medzi uzlami cestné úseky. Pri vytváraní cestnej siete a definovaní potrebných parametrov pre jednotlivé úseky komunikácií sa uplatňovala národná norma STN 63 6110 - Projektovanie miestnych komunikácií.

Vzťah pre výpočet prípustných hodnôt intenzít dopravného prúdu bol uvažovaný v tvare

$$I_p = I_z \cdot k_k \cdot k_s \cdot k_m \cdot k_b \quad (1)$$

kde  $I_p$  je hodnota prípustnej (návrhovej) intenzity dopravného prúdu vo vozidlách za hodinu (voz/ h),

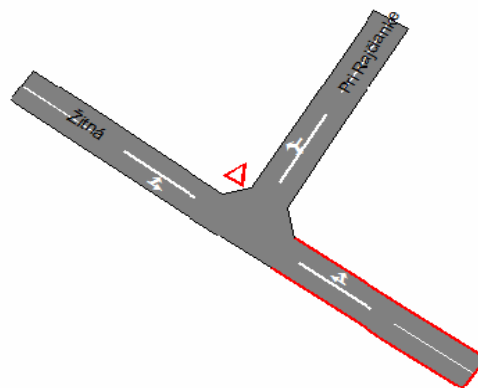
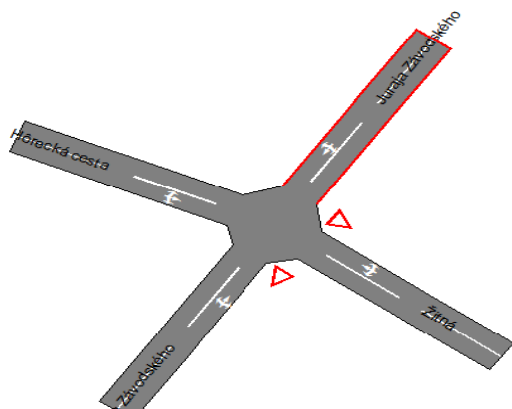
$I_z$  je základná hodnota prípustnej intenzity dopravného prúdu v (voz/h),

$k_k$  súčiniteľ vplyvu svetelne riadenej križovatky,

$k_s$  šírkový súčiniteľ,



$k_m$  súčiniteľ manévrovania,  $k_b$  súčiniteľ veľmi pomalých vozidiel.



Obr. 6: Križovatka Hôrecká, Závodského a Žitná    Obr. 7: Križovatka Žitná a Pri Rajčianke

Všetky hodnoty, uvádzané touto normou sú určené pre návrhové rýchlosti  $v_n > 60$  km/h. V prípade, že je navrhovaná rýchlosť nižšia, zadané hodnoty sa upravujú vynásobením ich podielu. Pri našom modeli sme uvažovali na všetkých komunikáciách s rýchlosťou  $v_n = 50$  km/h a preto po transformácii platí

$$v_n / 60 \text{ (km/h)} = 50/60 = 0,85$$

Hodnoty koeficientov použité pri vytváraní simulačného modelu potom boli:

- $l_z$  – pre  $v=50$  km/h s pozdĺžnym sklonom stúpania 0-1,5% a sklonom klesania 0-5%, s 5% pomalých vozidiel je  $l_z = 1250$  voz/h.
- $k_k$  – vo vytváranom modeli sa nenachádza žiadna svetelná križovatka, preto nebol tento koeficient uvažovaný a preto platí  $k_k = 1250$  voz/h.
- $k_s$  – pre jeden jazdný pruh v jazdnom páse pri smerovo nerozdelenej mestskej komunikácii, so šírkou jazdného pásu 3,5 m a bez pridruženého pásu volíme koeficient  $k_s = 0,75$ .
- $k_m$  – pri jednom jazdnom pruhu v danom smere volíme koeficient  $k_m = 0,96$ .
- $k_b$  – 5% podiel pomalých vozidiel; súčiniteľ vplyvu veľmi pomalých vozidiel  $k_b = 0,9$ .

Uvedené hodnoty dosadíme do vzťahu (1) a po vynechaní  $k_k$  dostaneme

$$l_p = l_z \cdot k_s \cdot k_m \cdot k_b = 1250 \cdot 0,75 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 810 \text{ voz / h} \quad (2)$$

Pre zadefinovanie križovatiek v určených dopravných uzloch je nutné, aby sa v dopravnom uzle spájali aspoň 3 vetvy cestných komunikácií. V spracovanom modeli záujmovej oblasti bolo definovaných celkom 8 križovaní ciest, pričom pre ilustráciu sú na Obr.5 a Obr.6 znázornené vybrané križovatky so zadefinovaním hlavných a vedľajších ciest.

**3. Zadefinovanie prepravnej matice a vytvorenie skriptu :** po vytvorení modelu cestnej siete záujmovej oblasti a definovaní križovatiek boli definované prepravné vzťahy do tzv. prepravnej matice (Tab.1). Pri jej tvorbe sa vychádzalo z predpokladu, že dopravné prúdy budú prichádzať z oblastí mestských častí a priľahlých obcí a budú smerované vo veľkej

miere do centra mesta Žilina. Dôležitou úlohou bolo vytvorenie skriptu programovej úlohy. Keďže bol využitý model dynamický (ten vždy vychádza z modelu statického) bol v úvode skriptu zadefinovaný aj skript pre model statický.

Tab. 1: Prepravná matica

	Hájik2	Hájik 1	Závodie 2	Závodie 1	Centrum	Bánová	Priem. Zóna	Hôrky
Hájik2	0	0	0	0	535	82	123	83
Hájik 1	0	0	0	0	509	78	117	79
Závodie 2	0	0	0	0	162	25	37	25
Závodie 1	0	0	0	0	103	16	24	17
Centrum	0	0	0	0	0	0	0	0
Bánová	0	33	0	0	213	0	49	33
Priem. Zóna	0	0	0	0	0	0	0	0
Hôrky	0	48	0	0	313	48	72	0

Zdroj: Autori

V rámci prípadovej štúdie boli vytvorené 3 simulačné modely a to model prejazdnosti mostného objektu bez obmedzenia – bežný stav; simulačný model s dočasným obmedzením prejazdu a simulačný model pri dlhodobjšom obmedzení a navrhnutou obchádzkou a so zmenami v organizácii dopravy. U všetkých boli realizované výpočty intenzity dopravného prúdu a hustoty vozidiel na 1 km úseku pri max. povolenej rýchlosti 50 km/h. Pre každý simulačný model boli realizované kalkulácie v časoch 07:05 a v ranej špičke – 8:25 a 08:55.

#### 4. INTERPRETÁCIA HLAVNÝCH VÝSLEDKOV PRÍPADOVEJ ŠTÚDIE

Už bolo uvedené, že prípadová štúdia obsahovala 3 čiastkové úlohy (jedna za predpokladu bežnej prevádzky na úseku, ďalšie dve pri obmedzených podmienkach, z čoho jedna bola regulovaná a jedna nie). Všetky tri simulačné modely boli analyzované vždy v 3 konkrétnych časoch (pred rannou špičkou a v čase ranej špičky).

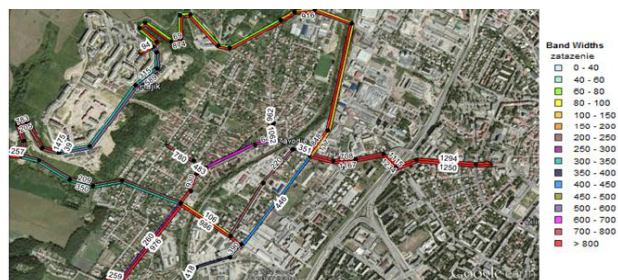
- **Prvá úloha** nebola obmedzovaná žiadnou mimoriadnou situáciou. Priebeh dopravného prúdu o 7:05 nebol na žiadnej zo skúmaných komunikácií problémový. Je nutné však konštatovať, že zvolený časový okamih je iba na začiatku ranej dopravnej špičky a preto v tomto čase nemožno očakávať výraznejšie problémy. Priebeh dopravy sa výrazne zmenil o 8:25, začína vrchol dopravnej ranej špičky. Tvrdenie dokazuje aj stav, ktorý bol v tomto čase zistený v modeli. Hlavné ťahy smerom na centrum mesta vykazovali výrazne preťaženie a hodnoty intenzity dopravy vysoko prekračovali plánovanú hodnotu kapacity úseku. Situácia o 8:55 sa mierne stabilizovala, v smere do centra už model nevykazoval nadmerné zaťaženie.

- **Druhá úloha** prebiehala v čase dopravného obmedzenia (krátkodobá neprejazdnosť mostného objektu). Potvrdil sa vstupný predpoklad, že najviac zasiahnuté budú komunikácie „zbierajúce“ dopravu z priľahlých obcí a mestských časti a smerujúce do centra. Toto zaťaženie mala redukovať navrhnutá krátkodobá obchádzka a operatívne presmerovanie dopravného prúdu na inú trasu.

• **Tretia úloha** preukázala, že navrhnuté riešenie vo forme obchádzok malo na dopravnú situáciu pozitívny účinok. Hodnoty intenzít mali klesajúci charakter, no aj napriek tomu sa nepodarilo dostatočne zredukovať hodnoty hustoty vozidiel pod plánovanú kapacitu. V konečnom dôsledku bolo možné konštatovať, že navrhnuté riešenie bolo dobré (Obr. 8).



Obr. 8: Návrh obchádzok a smerovanie dopravného prúdu



Komunikácia	Hôrecká cesta	Žitná	Škultétyho	Priemyselná
Hustota (voz/km)	35	60	34	34
Zaťaženie (voz/hod)	350	986	446	848

Obr. 9: Dopravná situácia o 8:25 pri navrhnutej obchádzke

Ako by však dopravná situácia vyzerala za reálnych podmienok? Za reálnu situáciu možno považovať stav medzi okružnou križovatkou a kruhovým objazdom Rondel. Tam aj v skutočnej prevádzke vznikajú dopravné kongescie, či už smerom do centra alebo z centra. Zaujímavé by bolo porovnať simulované hodnoty s hodnotami skutočnými aj na ostatných komunikáciách, hlavne počas obmedzení na niektorých z nich. Otázne je tiež, ako by vodiči dodržiavali určené smery obchádzok, ak by vedeli o možnosti využitia iných vhodných komunikácií (iné možnosti obchádzky), apod.

## ZÁVER

Realizovaná štúdia posúdenia variantov organizácie dopravy v mestskej aglomerácii počas obmedzení na cestnej sieti predstavuje jeden z možných postupov riešenia rozličných neočakávaných javov a situácií v doprave s využitím softvérovej podpory. Na základe detailnej prezentácie a analýzy výsledkov prípadovej štúdie (bude obsahom ďalšieho článku v časopise Perner's Contacts) bolo preukázané, že aplikácia vytvorených modelov pre kvantifikáciu parametrov dopravného zaťaženia komunikácií má v oblasti riešenia problémov organizácie a technológie cestnej dopravy významné postavenie. Aj navonok subjektívne riešenie problémovej situácie v dopravnej infraštruktúre a premávky na nej je možné takto verifikovať, ale aj modifikovať podľa konkrétnych okolností a požiadaviek, na vhodne navrhnutých adekvátnych virtuálnych modeloch dopravnej siete.

Záverom si dovoľíme konštatovať, že simulačné nástroje majú vysoký potenciál pri riešení krízových javov a obmedzených podmienok v cestnej doprave a infraštruktúre, či už sa jedná o plánované alebo neplánované obmedzenia. Je preto na škodu, že sa v praxi pri riešení takýchto mimoriadnych situácií nevyužívajú v plnom rozsahu. Je potrebné, aby sa začalo presadzovať ich efektívnejšie využitie, pretože dokážu zefektívniť prácu a umožňujú autonómne navrhnuť viac variantov riešenia a pomôcť pri voľbe toho najvhodnejšieho.

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) GOGOLA, M.: *Dopravné plánovanie v OmniTRANS*. Návody na cvičenia, CD verzia, ŽU, Žilina 2008.
- (2) Model a modelovanie [on line]. *Úvod do modelovania*. Dostupné na: <http://www.kasr.elf.stuba.sk/predmety/masp/uvod.pdf>
- (3) Modelovanie dopravy [on line]. Kapitola IV. *Modelování dopravy na pozemních komunikacích* (Část 1), Ostrava 2009. Dostupné na: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/94>
- (4) Modelovanie dopravy [on line]. Kapitola IV. *Modelování dopravy na pozemních komunikacích* (Část 2), Ostrava 2009. Dostupné na: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/96>
- (5) Modelovanie dopravy [on line]. Kapitola IV. *Modelování dopravy na pozemních komunikacích* (ČÁST 3), Ostrava 2009. Dostupné na: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/95>.
- (6) LEITNER, B., SVENTEKOVÁ, E.: *Modely dopravného prúdu ako nástroj pre testovanie výkonnosti prvkov cestnej infraštruktúry*. In: LOGVD - 2012 Dopravná logistika a krízové situácie, Žilina: Žilinská univerzita, 2012. ISBN 978-80-554-0589-6.
- (7) OmniTRANS [on line] OmniTRANS. Dostupné na: <http://www.pbaprague.cz/download/omnitrans-cz.pdf>.
- (8) Priebeh simulačnej štúdie [on line] Modelování v dopravě / Průběh simulační studie. Dostupné na: <http://kds.vsb.cz/mkk/modelovani-10.htm>
- (9) <http://www.ssc.sk/sk/Rozvoj-cestnej-siete/Dopravne-inzinerstvo/Celostatne-scitanie-dopravy-2010.ssc>

Príspevok vznikol za podpory projektu "Centrum excelentnosti pre systémy a služby inteligentnej dopravy II", ITMS 26220120050.

Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



"Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ"