

Technická správa k projektu do predmetu IMS

## **Zadanie 8: Model dopravy na diaľnici D1**

6.12.2014

**Autori:** Ladislav Šulák, [xsulak04@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xsulak04@stud.fit.vutbr.cz), 3BIT  
Jan Spišiak, [xspisi03@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xspisi03@stud.fit.vutbr.cz), 3BIT  
Fakulta informačných technológií  
Vysoké Učení Technické v Brne

# Obsah

---

1	Úvod .....	3
1.1	Autori a zdroje informácií.....	3
1.2	Overovanie validity modelu .....	3
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií.....	3
2.1	Použité postupy.....	3
2.2	Použité metódy .....	4
2.2.1	Diaľnica D1 .....	4
2.2.2	Intenzita dopravy .....	4
2.2.3	Dopravné nehody.....	4
2.2.4	Úseky vo výstavbe .....	4
2.2.5	Pravidlá cestnej premávky .....	4
3	Koncept - model .....	5
3.1	Návrh konceptuálneho modelu.....	5
3.1.1	Model diaľnice.....	5
3.1.2	Model vozidla .....	5
3.1.3	Model dopravnej nehody.....	6
3.2	Formy konceptuálneho modelu .....	6
4	Koncept - implementácia.....	7
5	Architektúra simulačného modelu/simulátoru .....	7
5.1	Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného.....	7
6	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh.....	7
6.1	Postup experimentovania .....	7
6.2	Popis jednotlivých experimentov .....	7
6.3	Záver vyplývajúci z experimentov .....	8
7	Zhrnutie simulačných experimentov a záver.....	8
	Reference .....	8

# 1 Úvod

Táto technická správa popisuje návrh a implementáciu modelu (viď [1], slajd 7), ktorý má za úlohu vykonať simuláciu (viď [1], slajd 8) dopravy na diaľnici D1 na úseku Praha-Brno v oboch smeroch. Úlohou bolo vytvoriť daný model a na základe simulačných experimentov (viď [1], slajd 165) zistiť priepustnosť diaľnice v rôznu dobu. Zmyslom tejto práce je na základe štatistík demonštrovať chovanie diaľnice v rôznu dobu a pri rôznych obmedzeniach týkajúcich sa rozpracovaných stavieb a opráv, a havárií.

Model môže byť užitočný v tom, že zistí presne na 1km aké úseky na diaľnici obmedzujú premávku, na ktorých nájazdoch prichádza a na ktorých zjazdoch odchádza najviac vozidiel a ako nehody na diaľnici ovplyvnia premávku.

## 1.1 Autori a zdroje informácií

Ladislav Šulák, [xsulak04@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xsulak04@stud.fit.vutbr.cz)

Jan Spišiak, [xspisi03@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xspisi03@stud.fit.vutbr.cz)

Pri tvorbe modelu boli využité nasledujúce zdroje informácií:

- Poznatky nadobudnuté z predmetu IMS [1]
- Materiály z webových stránok Ředitelství silnic a dálnic ČR - celostátní sčítání dopravy [2][8], modernizace D1 [12]
- Vyhláška o provozu na pozemných komunikacích - Zákony ČR [5] a doplňující informace z hlavního koordinačního subjektu bezpečnosti silničního provozu ČR - BESIP [6]
- Európsky modulárny systém [7]
- Štatistiky Policie ČR, predovšetkým nehodovosť na diaľniciach v roku 2013 [10] (tabuľka 9)
- Informácie o diaľniciach ČR, diaľnici D1 a jej úsekoch: webové stránky České dálnice [4][11] ako aj online monitoring diaľnice D1 v úseku Praha-Brno: systém RODOS [13]

## 1.2 Overovanie validity modelu

Validita modelu bola overovaná experimentami. Výsledky týchto experimentov boli porovnávané so skutočnými hodnotami hustoty premávky rôznych časov počas celého dňa. Tieto informácie boli získané vďaka webovým stránkam dopravní info [9], ktoré monitorujú diaľnicu D1 a poskytujú štatistiky za posledných 24h.

# 2 Rozbor témy a použitých metod/technológií

Pre modelovanie a simuláciu zadaného úseku diaľnice D1 je nutné mať údaje o jednotlivých sub-úsekoch, teda stav nájazdov a zjazdov z diaľnice, hustotu premávky v rôznu dobu počas dňa, rôzny deň v týždni – kategorizácia na pracovné dni a voľné dni. Tiež je nutné zistiť faktory, ktoré vplyvajú na obmedzenia premávky, teda predovšetkým štatistiky o nehodách na diaľnici a rozostavané stavby. Tiež je nutné poznať niektoré zákony a vyhlášky týkajúce sa hlavne rýchlostných obmedzení na diaľnici ako napríklad rozostupy medzi autami v danej rýchlosti a maximálna rýchlosť. Uvedené faktory sú popísané nižšie.

## 2.1 Použité postupy

Pre tvorbu simulačného modelu (viď [1], slajd 44) bol použitý jazyk C/C++ so simulačnou knižnicou SIMLIB [3]. Táto knižnica poskytuje základné prostriedky pre popis diskretných, spojitých aj kombinovaných modelov (viď [1], slajd 45). Náš model je kategorizovaný ako diskretný typ modelu. Existuje viac druhov popisu diskretných systémov (viď [1], slajd 120), v kapitole 3.2 Formy konceptuálneho modelu bude pre modelovanie (viď [1], slajd 8) použitý graf Petriho siete (viď [1], slajd 123).

## 2.2 Použité metódy

### 2.2.1 Diaľnica D1

Diaľnica D1 je najstaršia a najdlhšia diaľnica na území ČR. Spája Prahu, Brno a Ostravu. Táto práca sa zameriava na spojenie Praha – Brno v oboch smeroch. Tento úsek diaľnice má približne 204km [4], ak teda berieme do úvahy úsek v meste Brno. Na tomto úseku je v smere Brno-Praha 30 exitov, teda nájazdov a zjazdov, na ktorých je možné do diaľnici prísť alebo odísť. V opačnom smere ich je 29.

### 2.2.2 Intenzita dopravy

Informácie o intenzite a hustote dopravy na danom úseku diaľnice D1 a jeho sub-úsekoch sme čerpali predovšetkým z Celostátného sčítania dopravy [2].

### 2.2.3 Dopravné nehody

Informácie o dopravných nehodách sú verejne dostupné na stránkach Polície ČR (viď [10], tabuľka 9). Kompletne štatistiky sú k dispozícii vždy z posledného roku, teda do našej práce sme zohľadnili nehodovosť z roku 2013. Na diaľniciach ČR bolo celkovo 2546 nehôd. Celková dĺžka diaľnic ČR je aktuálne (12/2014) 775km [11], z čoho úsek ktorý budeme modelovať má dĺžku 204km. Na tomto úseku je približne 670 nehôd ročne v oboch smeroch, teda v každom smere takmer 1 nehoda denne.

### 2.2.4 Úseky vo výstavbe

Úseky, ktoré sú vo výstavbe by sa dali rozdeliť do 2 kategórií:

Dlhodobejšie opravy alebo výstavba:

- Úsek 09, Exit 66 Loket – Exit 75 Hořice, dĺžka opravovaného úseku je 9.6 km
- Úsek 14, Exit 104 Větrný Jeníkov – Exit 112 Jihlava, dĺžka opravovaného úseku je 8.54 km
- Úsek 21, Exit 153 Lhotka – Exit 162 Velká Bíteš, dĺžka opravovaného úseku je 9.05 km

Krátkodobé, čiastkové opravy, alebo obmedzenia: prebiehajú na úsekoch dlhých 2-5km, ich počet je priemerne 4 denne [4][13]. V našom modeli zohľadníme, aj to, že tento druh opráv prebieha v 1 smere.

Spoločne platí to, že ak je daný úsek vo výstavbe, maximálna rýchlosť vozidiel je stanovená na 80 km.h<sup>-1</sup> a jazdí sa iba v 1 pruhu [12].

### 2.2.5 Pravidlá cestnej premávky

Informácie o rýchlostných obmedzeniach boli čerpané zo zákona č. 361/2000 Sb. O provozu na pozemných komunikáciách [5]:

*§ 18 odstavec 3 je vodičovi motorového vozidla na diaľnici dovolené íst najvyššou rýchlosťou 130 km.h<sup>-1</sup> .*

*§ 35 odstavec 1 je zakázaný vstup motorovým vozidlám a jazdným súpravám, ktorých najvyššia dovolená rýchlosť je nižšia než 80 km.h<sup>-1</sup> . V úseku, kde diaľnica prechádza obcou je toto obmedzenie stanovené na 65 km.h<sup>-1</sup> .*

*§ 36 odstavec 1 je zakázané aby vodič zastavil inde než na miestach označených ako parkovisko. V tejto práci sa neuvažuje že by vodič zastavil na parkovisku, avšak môže dôjsť k nehode alebo spomaleniu premávky kvôli úsekom vo výstavbe.*

Podľa tohto zákona § 19 vodič motorového vozidla musí ponechať za iným vozidlom dostatočnú bezpečnú vzdialenosť, čo je nedostatočný údaj. BESIP [6] špecifikuje tento údaj na 2s – priemerná reakčná doba (od spozorovania podnetu k brzdeniu) človeka.

Informácie o dĺžke vozidiel [7] boli tiež v modeli zohľadnené, rovnako aj štatistika intenzity premávky podľa druhov vozidiel [8] rozdelených do nasledujúcich kategórií: osobné vozidlá, ťažké vozidlá, motocykle.

Na základe vyššie uvedených údajov bude v našom modeli vypočítaná vzdialenosť medzi vozidlami a maximálna kapacita vozidiel v sub-úseku.

## 3 Koncept - model

Cieľom projektu bolo modelovať diaľnicu Praha-Brno v oboch smeroch. Navrhnutý model, ktorý táto práca popisuje bude implementovaný ako postupnosť obslužných liniek (viď [1], slajdy 136, 141-148) typu *Store* (viď [1], slajd 184) ktoré reprezentujú 1km sub-úseky. Jedná sa o diskretný model. Základná jednotka behu modelu je 1 sekunda, a samotná simulácia trvá 1 deň.

Pri generovaní pseudo-náhodných čísel (viď [1], slajd 97) využívame nasledujúce rozloženia (viď [1], slajdy 89-94) : rovnomerné, exponenciálne a normálne rozloženie.

### 3.1 Návrh konceptuálneho modelu

Návrh konceptuálneho modelu bude rozdelený na niekoľko častí, ktoré sú popísané nižšie.

#### 3.1.1 Model diaľnice

Ako už bolo spomínané v tejto kapitole, model reprezentuje úsek Praha-Brno. Bol vytvorený model od centra Prahy až po posledný exit u mesta Brno, celý tento úsek má 205 km [4]. Premávka bude v 2 pruhoch, ale pokiaľ dôjde k nehode alebo je úsek vo výstavbe, na premávku bude k dispozícii len 1 pruh.

Úseky, kde prebiehajú práce na diaľnici boli popísané v kapitole 2.2.4 Úseky vo výstavbe. Generovanie čiastkových opráv je dôležité, pretože môže významne spomaliť premávku a teda nebolo zanedbané. Nedá sa jednoznačne určiť počas akých dní v roku, počas akej časti dňa a s akou dobou trvania prebiehajú.

V našom modeli sa generujú nezávisle na poveternostných podmienkach, a keďže sa nám nepodarilo nájsť presné štatistiky o čiastkových opravách – ktoré sú často nepredvídateľné, určili sme na základe monitorovacích systémov RODOS [4] a České dálnice [13] priemerné výskyty opráv.

Každý 1km sub-úsek bude mať určitú kapacitu, na základe ktorej sa dokáže určiť, či je na sub-úseku obmedzená premávka, alebo nie. Sledovať iba štatistiky o rýchlostiach v danom sub-úseku nie vždy určí že je doprava obmedzená, ťažké motorové vozidlá majú najmenšiu priemernú rýchlosť. Viac o dopravných prostriedkoch v našom modeli popisuje nasledujúca podkapitola.

#### 3.1.2 Model vozidla

Pre dosiahnutie čo najpresnejšieho modelu sme sa rozhodli kategorizovať dopravné prostriedky na ťažké, osobné a jednostopové motorové vozidlá. Túto kategorizáciu berieme do úvahy pri počítaní optimálnej kapacity úseku.

Pomery jednotlivých kategórií vozidiel boli štatisticky zistené – RSD [14]. Na základe týchto údajov sme vypočítali priemernú dĺžku vozidla, a zohľadnili sme medzi nimi bezpečnú vzdialenosť, podľa informácií subjektu BESIP, čo bolo popísané v kapitole 2.2.5 Pravidlá cestnej premávky.

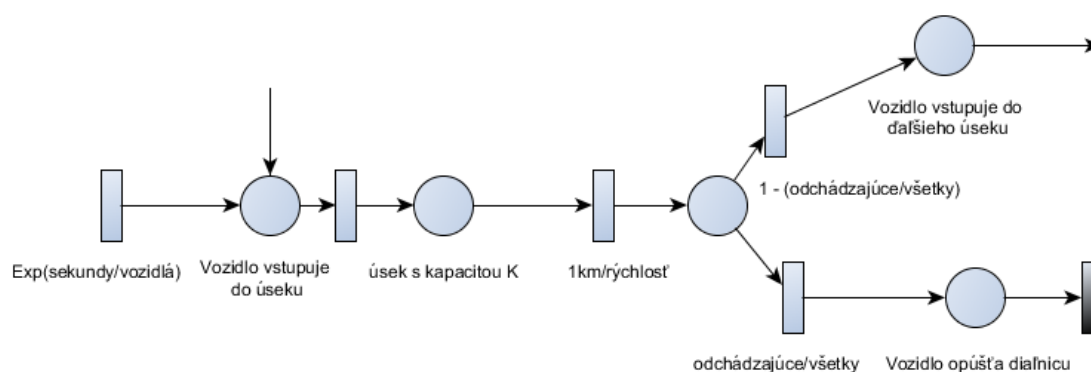
### 3.1.3. Model dopravnej nehody

Ako bolo spomínané v kapitole 2.2.3 Dopravné nehody, každý deň dochádza takmer k jednej nehode na diaľnici. Nepodarilo sa nám získať presné štatistiky o nehodovosti na každom úseku v každom smere, teda sme náš model zjednodušili. Rovnako sme model zjednodušili o poveternostné podmienky, pretože tieto štatistiky sa nám tiež nepodarilo získať. Dopravné nehody sa generujú s rovnomerným rozložením pravdepodobnosti na celej diaľnici, teda na každom sub-úseku je pravdepodobnosť že sa stane nehoda rovnaká nezávisle na poveternostných podmienkach alebo obdobi dňa.

## 3.2 Formy konceptuálneho modelu

Abstraktný model 1km sub-úseku s nájazdom a zjazdom bol popísaný pomocou Petriho siete. Popisuje zjednodušený priebeh pohybu vozidla na tomto sub-úseku:

- Generovanie vozidiel podľa exponenciálneho rozloženia pravdepodobnosti reprezentuje situáciu príchodu nových vozidiel na diaľnicu, alebo prichádza auto z predchádzajúceho úseku a zaberie kapacitu  $K$  o 1.
- Ak sa na danom úseku nachádza zjazd, vozidlo má na každom úseku inú pravdepodobnosť, že opustí diaľnicu. Táto pravdepodobnosť sa počíta na základe pomeru odchádzajúcich vozidiel ku všetkým vozidlám ktoré sa podľa štatistík nachádzajú na danom úseku.
- Po opustení úseku sa kapacita  $K$  uvoľní o 1. Vozidlo môže opustiť úsek a prejsť do ďalšieho, alebo môže opustiť diaľnicu. Druhá možnosť nie je na každom úseku, iba v takých, kde sú zjazdy. (Pre predstavu, úsekov je v jednom smere 204, ale zjazdov okolo 30, viď kapitola 2.2.1 Diaľnica D1).



Obrázok 1: Petriho sieť popisujúca 1km sub-úsek obsahujúci nájazd a zjazd

## 4 Koncept - implementácia

---

Architektúra programu je popísaná v kapitolách 2.1 Použité postupy3 Koncept - model.

## 5 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

---

Ako bolo uvedené vyššie, v kapitole 2.1 Použité postupy, pre implementáciu bol použitý jazyk C++ s knižnicou SIMLIB.

### 5.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného

V implementácii sa nachádza pole štruktúr *RoadSectionData* ktoré obsahuje dáta pre každú sekciu na diaľnici. Simulácia začína v čase 0 a končí v čase 86400, čo je 24 hodín v sekundách. Konceptuálny model je mapovaný do simulačného nasledovne:

- trieda *RoadSection*, ktorá je typu *Store* (viď [1], *slajd 184*) simuluje 1km sub-úsek na diaľnici. Tieto sub-úseky niesú identické, a súvisia spolu
- trieda *Vehicle*, ktorá dedí z abstraktnej triedy *Process* (viď [1], *slajd 171*) simuluje 1 vozidlo, ktoré môže byť typu ťažké motorové vozidlo, osobné vozidlo, jednostopové motorové vozidlo
- trieda *VehicleGenerator*, ktorá je odvodená od abstraktnej triedy *Event* (viď [1], *slajd 169*) a slúži pre generovanie vozidiel
- trieda *PartialRepair*, ktorá dedí z abstraktnej triedy *Process* *simuluje krátkodobé opravy na diaľnici v jednom smere*
- trieda *GeneratorPartialRepair*, ktorá je odvodená od abstraktnej triedy *Event* slúži pre generovanie čiastkových opráv
- trieda *Accident*, ktorá dedí z abstraktnej triedy *Process* *simuluje nehodu na diaľnici*
- trieda *GeneratorAccident*, ktorá je odvodená od abstraktnej triedy *Event* slúži pre generovanie nehôd na diaľnici

## 6 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

---

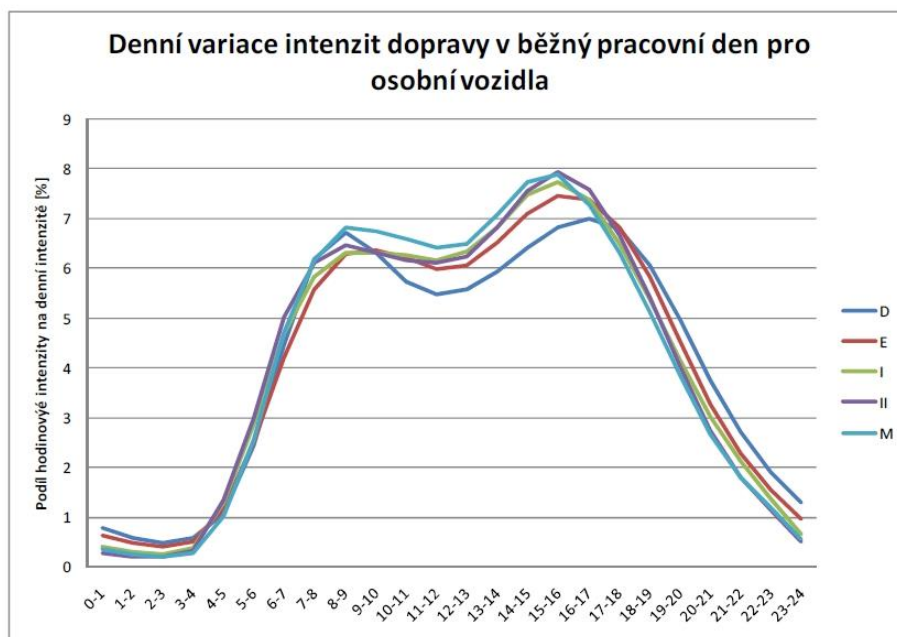
Zmysel experimentov spočíval v tom, že sa mala zistiť priepustnosť jednotlivých sub-úsekov diaľnice v rôznu dobu počas dňa. Vplyv počasia nebol do modelu uvažovaný, tak isto ani rozdiely medzi jednotlivými dňami, teda pracovný alebo nepracovný deň, kvôli nedostatku aktuálnych dát.

### 6.1 Postup experimentovania

DVABLA

### 6.2 Popis jednotlivých experimentov

Jednotlivé experimenty boli vykonávané so zmenami nasledovných parametrov: pravdepodobnosť výskytu nehody, alebo opravy nejakej časti úseku. Pri experimentovaní sa menili čas, autori sa zameriavali na premávku počas dňa kedy je najväčšia hustota vozidiel, ale i počas noci. Bolo zistené, že i keď dôjde k nehode alebo čiastkovej oprave počas hodín premávky s najmenšou hustotou, štatisticky to neovplyvní provoz. Výsledky našich experimentov boli porovnávané so štatistikami rôznych systémov a experimentov tretích strán [15], viď nasledujúci obrázok.



### 6.3 Závěr vyplývající z experimentov

Celkovo bolo vykonaných 10 experimentov. Experimenty boli zamerané na zistenie intenzity dopravy v úsekoch pre je obmedzená doprava. Ďalšie experimenty boli zamerané na zistenie akú priemernú rýchlosť majú vozidlá na úsekoch s obmedzením i bez, koľko vozidiel prešlo na takýchto úsekoch za každú hodinu. Experimentovaním sa zistilo, že ak je k dispozícii iba 1 jazdný pruh, navyše s obmedzenou rýchlosťou, na diaľnici D1 na úseku Praha-Brno aj v opačnom smere dochádza k výrazne vyššej intenzite dopravy najmä cez deň.

## 7 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Zo simulačných experimentov bolo zistené, že úseky, kde prebiehajú opravy, kde došlo k nehode alebo pri väčších mestách majú najväčšiu hustotu premávky, kolóny sa tvoria prevažne v týchto úsekoch. Nebolo možné získať tieto informácie a štatistiky ucelene – hlavne o čiastkových opravách, ktoré prebiehajú často nepredvídateľne, autori sa rozhodli vytvoriť si vlastné štatistiky na základe rôznych monitorovacích systémov [13]. Ďalej sme zistili, že je rozloženie hustoty dopravy počas 24h nerovnomerné, najväčšia premávka býva medzi 10-18h a najmenší medzi 0 - 5h.

## Reference

- [1] P. PERINGER, „Slajdy k prednáškam do predmetu Modelování a simulace,“ 2014. [Online]. Available: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [2] „Ředitelství silnic a dálnic ČR - celostátní sčítání dopravy,“ 2010. [Online]. Available: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/shop/default.aspx>.



- [3] P. PERINGER, „SIMLIB - SIMulation LIBrary for C++,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>.
  - [4] „České dálnice,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.ceskedalnice.cz/schema/d1>.
  - [5] „Zákony ČR,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.zakonycr.cz/seznamy/361-2000-sb-zakon-o-provozu-na-pozemnich-komunikacich-a-o-zmenach-nekterych-zakonu.html>.
  - [6] „BESIP,“ [Online]. Available: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-rizeni-vozidla/bezpecna-vzdalenost>.
  - [7] „European Modular System,“ 2009. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/transport/modes/road/events/doc/2009\\_06\\_24/2009\\_gigaliners\\_workshop\\_acea.pdf](http://ec.europa.eu/transport/modes/road/events/doc/2009_06_24/2009_gigaliners_workshop_acea.pdf).
  - [8] „Ředitelství silnic a dálnic ČR,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Intenzita-dopravy/celostatni-scitani-dopravy-2010>.
  - [9] „Dopravní info,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.dopravniinfo.cz/hustota-provozu-v-profilu-dalnice-d1>.
  - [10] „Policie ČR,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.policie.cz/soubor/7-iv-cast-web-strany-89-151-tabulky-p1-p21a-pdf.aspx>.
  - [11] „Dálniční síť ČR,“ [Online]. Available: <http://www.ceskedalnice.cz/dalnicni-sit/dalnice> .
  - [12] „Ředitelství silnic a dálnic ČR, modernizace D1,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.novad1.cz/o-projektu/>.
  - [13] „RODOS,“ 2014. [Online]. Available: [http://rodosdata.it4i.cz/rsd/Road.aspx?road=D1\\_1](http://rodosdata.it4i.cz/rsd/Road.aspx?road=D1_1).
  - [14] „Ředitelství silnic a dálnic ČR - priemer intenzit vozidiel,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Intenzita-dopravy/celostatni-scitani-dopravy-2010>.
  - [15] M. Dorda. [Online]. Available: <http://homel.vsb.cz/~dor028/Pruzkumy.pdf>.
-