

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA MATEMATIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Analýzy dopravně inženýrských dat v serverovém
prostředí**

Daniel Beran

Plzeň, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
Podpis

V Plzni dne 30.5.2016

Daniel Beran

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Karlu Jedličkovi Ph.D. za všechny připomínky a podněty k vylepšení této práce. Děkuji společnosti Edip s.r.o. za poskytnutí dat, materiálů a odborné konzultace. Za konzultace k návrhu algoritmů děkuji kolegovi Františku Kolovskému.

Abstrakt

Cílem této práce je usnadnit přípravu dat pro časově dynamickou vizualizaci dopravního stupně vytížení silniční sítě. V textu jsou shrnuty postupy pro výpočet dopravní kapacity a intenzity pomocí variací dopravních intenzit. Protože jsou pro časově dynamickou vizualizaci nezbytné hodinové intenzity pro segmenty silniční sítě, byly v rámci práce navrženy knihovny v jazyce Scala pro výpočet hodinových intenzit s využitím variací intenzit. První knihovna umožňuje výpočet hodinových intenzit pro matici přepravních vztahů. Pomocí použití druhé knihovny může uživatel vypočítat hodinové intenzity pro silniční síť. Toto serverové řešení umožňuje pomocí strukturovaných vstupů a výstupů efektivněji připravovat data s dopravními intenzitami pro vizualizaci. Knihovny byly navrženy primárně pro projekt Otevřené dopravní mapy.

Klíčová slova

dopravní intenzity, kapacita komunikace, serverové řešení, GIS

Abstract

The purpose of this paper is to facilitate the preparation of data utilized in time-dynamic visualizations of traffic volume–capacity ratio on road networks. The following text summarizes the procedures for calculating traffic capacity and volume by applying variations of traffic volume. As time-dynamic visualizations of volume–capacity ratios require hourly traffic volumes for given segments of the public road system, two libraries in the Scala language were designed and included within the framework of this paper for the calculation of traffic volumes utilizing variations of traffic volume. The first library enables calculations of hourly volumes for the origin destination matrix. The second library is designed for calculations of hourly volumes on given segments of the public road system. This server solution, by means of structured inputs and outputs, enables effective preparation of traffic volume data utilized for visualization. The aforementioned libraries were designed primarily for the Open Transport Map project.

Key words

traffic volume, road capacity, server solution, GIS

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	6
ÚVOD	7
1 INTENZITA A KAPACITA V DOPRAVNÍM INŽENÝRSTVÍ	8
1.1 DOPRAVNÍ INŽENÝRSTVÍ.....	8
1.2 DOPRAVNÍ PROUD A JEHO CHARAKTERISTIKY	8
1.3 VZTAHY CHARAKTERISTIK DOPRAVNÍHO PROUDU	11
1.4 POUŽÍVANÉ METODY PRO VÝPOČET INTENZIT A KAPACIT KOMUNIKACE.....	13
1.4.1 Výpočet denních intenzit z měřených dat	13
1.4.2 Výpočet RPDI z generovaných dat.....	18
1.4.3 Výpočet kapacity komunikace	19
1.5 VIZUALIZACE DOPRAVNÍCH INTENZIT	22
1.6 OTEVŘENÁ DOPRAVNÍ MAPA	23
2 IMPLEMENTACE VÝPOČTU HODINOVÝCH INTENZIT.....	25
2.1 VÝPOČET HODINOVÝCH INTENZIT Z RPDI MEZI SÍDELNÍMI JEDNOTKAMI	25
2.1.1 Příprava a popis vstupních dat	25
2.1.2 Popis a použití knihovny	28
2.2 VÝPOČET HODINOVÝCH INTENZIT ZE SILNIČNÍ SÍTĚ	30
2.2.1 Příprava vstupních dat.....	30
2.2.2 Vstupní data	31
2.2.3 Popis a použití knihovny	32
2.2.4 Výstup hodinových intenzit pro segment komunikace	34
2.3 VÝHODY POUŽITÍ KNIHOVEN	37
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39
PŘÍLOHY	41

Seznam symbolů a zkratk

DI	dopravní inženýrství
RPDI	roční průměr denních intenzit
OTM	Open Transport Map
OTN	OpenTransportNet
ČSN	česká technická norma
ÚKD	úroveň kvality dopravy
CSV	formát Comma-separated values
SW	software
MPV	matice přepravních vztahů

Úvod

Vzhledem k důležitosti automobilové dopravy pro běžný chod západní společnosti je jistě nutné se zabývat otázkami jejího vlivu na okolí. Při takovém zkoumání je nutné vždy získat hodnoty intenzity a kapacity pro zkoumané území. V některých studiích stačí znát pouze hodnotu intenzity dané komunikace, protože nám udává celkový objem vozidel využívajících komunikaci. Můžeme tak zkoumat vliv na produkci škodlivých plynů, případně jejich ovlivnění okolního prostředí [1][2]. Pokud však známe i hodnotu kapacity dané komunikace, dostáváme při srovnání s intenzitou zatížení daného úseku komunikace. Díky tomu můžeme předpovídat kolony dopravy či navrhnout efektivnější řešení dopravní obslužnosti sítě. Podobné problémy zahrnující dopravní analýzy intenzit a kapacit jsou řešeny v rámci Otevřené dopravní mapy (angl. Open Transport Map), která vzniká jako součást projektu OpenTransportNet (OTN). Výhodou Otevřené dopravní mapy oproti klasickým vizualizacím dopravních intenzit je možnost vidět dopravní intenzity dynamicky s jejich změnami v čase. Změny dopravních intenzit v čase jsou počítány pomocí časových variací intenzit. Tato práce se zabývá výpočtem hodinových intenzit z průměrných hodnot pro denní intenzity.

První kapitola práce (*Intenzita a kapacita v dopravním inženýrství*) popisuje obor dopravní inženýrství charakteristik dopravního proudu. Jsou uvedeny vztahy jednotlivých charakteristik a metody jejich výpočtu z dat získaných měřeními a dat generovaných modelem. V závěru kapitoly jsou popsány současné metody vizualizace dopravních intenzit a kapacit. Je vysvětleno, proč je nutné pro dynamickou vizualizaci vypočítat hodinové intenzity komunikace na zobrazovaném území.

Druhá kapitola (*Implementace výpočtu hodinových intenzit*) je věnována implementaci kódu pro výpočet hodinových intenzit. Je ukázáno, jakou formu mají mít vstupní a výstupní data a dále popisuje možnosti použití kódu.

1 Intenzita a kapacita v dopravním inženýrství

1.1 Dopravní inženýrství

Dopravní inženýrství (DI) je vědní obor, který se zabývá studiem, průzkumem, rozбором a prognózou jevů a zákonitostí v dopravě z hlediska komunikace [3]. Obor se nezaměřuje výlučně na silniční dopravu a zahrnuje zkoumání i jiných druhů dopravy jako železniční, lodní či leteckou. Silniční doprava je však ze všech nejhůře analyzovatelná a předvídatelná, protože na rozdíl od jiných druhů dopravy se zde silně projevuje variabilita jednotlivých prvků: komunikace, vozidla a individualita řidiče, který svým chováním ovlivňuje charakter provozu. Jen malá část silniční dopravy také podléhá určité formě centrálního plánování, jako je tomu u železniční dopravy nebo alespoň poskytuje veřejně známé rozpisy cest, jako je tomu u letového provozu. Silniční DI je pro složitou předvídatelnost chování jednotlivých řidičů a plánování jejich cest nejrozsáhlejší podobor DI. I kvůli těmto důvodům se tato práce věnuje výhradně analýzám silničního DI. Kapitoly o DI jsou vypracovány z podkladů [3], [4] a [5].

Mezi cíle DI patří tvorba podkladů pro silniční plánování a pro silniční projektování a hledání a uplatňování okamžitých i výhledových řešení dopravy. Pro představu se může jednat o promyšlené zvolené kategorie a tříd nově stavěných komunikací (více o kategoriích a třídách komunikací v kapitole 1.3) a jejich umístění, řízení křižovatek či optimalizace dopravy skrze stavební úpravy. Pro dosažení takových cílů je třeba znát data z různých oblastí: informace o uživatelích komunikace (jaký typ dopravy očekáváme), dopravní charakteristiky dané komunikace (údaje o průběhu dopravního dění na komunikaci, např. kapacita, nehodovost, potřeby parkování), dopravní průzkumy (stav dopravního proudu v čase a prostoru) a dopravní prognózy (odhady charakteristik dopravního proudu v budoucnosti).

Abychom byli schopni dobře popisovat pohyb dopravních jednotek, tedy jakéhokoli sledovaného objektu (cyklisté, automobily nebo užší výběr například pouze osobní automobily), potřebujeme nejprve popsat základní pojem dopravních analýz – dopravní proud.

1.2 Dopravní proud a jeho charakteristiky

Dopravní proud tvoří všechny dopravní jednotky (vozidla nebo chodci), pohybující se po sledované komunikaci stejným směrem [4]. Mezi jeho základní charakteristiky patří

intenzita, kapacita, hustota a rychlost. Znalost těchto charakteristik je klíčová pro řešení otázek dopravního inženýrství.

Intenzita dopravního proudu (I) je definována jako počet dopravních prostředků, které projedou určitým úsekem (profilem) komunikace za jednotku času v jednom směru [3]. Obvyklou jednotkou, kterou používá i Ředitelství silnic a dálnic ČR při celostátním sčítání dopravy, je voz/24h (voz/den) (denní intenzita) či voz/hod (hodinová intenzita). Obecně je však možné libovolné časové rozmezí vhodné pro daný účel sčítání. Mezi odvozené charakteristiky patří časový odstup, čas t , který uplyne mezi projetím dvou za sebou jedoucích vozidel v určitém místě komunikace, a střední časový odstup, který je průměrnou hodnotou všech časových odstupů. Zavedeným a používaným pojmem pro vyjadřování intenzit je roční průměr denních intenzit (RPDI). *RPDI je aritmetický průměr denních intenzit dopravy všech dnů v roce [5]. Speciální formou RPDI je průměr pouze z pracovních dnů. Pro RPDI je nutné dlouhodobé a nákladné sčítání dopravy a proto je často odhadováno na základě krátkodobých průzkumů (viz kapitola 1.4.1. a 1.4.2.).*

Kapacita komunikace (K) je maximální počet vozidel (za jednotku času), která mohou projet daným profilem (úsekem) komunikace za daných provozních podmínek [3]. Kapacita komunikace tak závisí na stavu komunikace (stavební podmínky), není-li limitována zúžením či omezením rychlosti, a charakteru provozu (provozní podmínky) ovlivněným počasím a podílem pomalých vozidel. Kapacita komunikace tak nikdy není pouze jedna a do jejího výpočtu se promítá celá řada faktorů. Vzhledem k tomu, že kapacita i intenzita popisují počet vozidel, která projedou definovaným profilem (úsekem) komunikace, můžeme kapacitu komunikace chápat jako nejvyšší přípustnou intenzitu pro daný úsek komunikace za daných podmínek. Popisem použitelných faktorů výpočtu kapacity se zabývá kapitola 1.2.5.

Hustota dopravního proudu (H) je počet vozidel, jedoucích jedním směrem, zaznamenaný v určitý okamžik a vztažený na jednotkovou délku komunikace [3]. Obvykle se vyjadřuje v voz/km či voz/100m. Hustota dopravy je používána jako jeden z parametrů pro určení kvality dopravy. Obdobně jako pro intenzitu můžeme odvodit délkový odstup, tedy vzdálenost dvou vozidel v proudu v daný okamžik, a průměrný délkový odstup (l):

$$l = \frac{1000}{H} [m/voz] \quad (1.1)$$

Rychlost je v rámci dopravního inženýrství poměrně komplikovaný pojem. Jsou popsány dvě rychlosti, které popisují rychlost při jejím měření různými způsoby.

Střední bodová rychlost (\bar{V}_l) je vypočtená jako průměr rychlostí jednotlivých vozidel, zjištěných v určitém místě komunikace během určité doby (např. radarem). [3]

$$\bar{V}_l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{li} \quad (1.2)$$

kde N je počet měřených dopravních jednotek,

V_{li} je bodová rychlost jednotlivé dopravní jednotky

Střední okamžitá rychlost (\bar{V}_m) je rychlost vozidel, vypočtená jako průměr údajů rychlostí zjištěných v určitém okamžiku na sledovaném úseku komunikace [3].

$$\bar{V}_m = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} V_{mi} \quad (1.3)$$

kde N_t je počet měřených dopravních jednotek na úseku měřené dráhy,

V_{mi} je okamžitá rychlost jednotlivé dopravní jednotky

Popsané rychlosti vycházejí z přímého měření rychlosti. O rychlosti se v DI hovoří také jako o veličině odvozené z empirických vztahů a o parametru komunikace. V takových případech hovoříme o těchto pojmech:

Návrhová rychlost je rychlost pro stanovení minimálních návrhových prvků silniční komunikace, určuje minimální hodnoty prostorových prvků pro návrh a stavbu příslušné kategorie cesty. [6]

Směrodatná rychlost je očekávaná rychlost osobních automobilů umožněná dopravně-technickým stavem určitého úseku silnice nebo dálnice, kterou nepřekračuje 85 % jinak neomezovaných řidičů. [7]

Více o rychlostech v rámci DI je možné najít v citovaných normách [6] a [7].

1.3 Vztahy charakteristik dopravního proudu

Teorie dopravního proudu se kromě popisu charakteristik zabývá i hledáním vztahu mezi veličinami. Základním vztahem pro intenzitu (I) je součin hustoty (H) a rychlosti (V) [3]:

$$I = H \cdot V \quad (1.4)$$

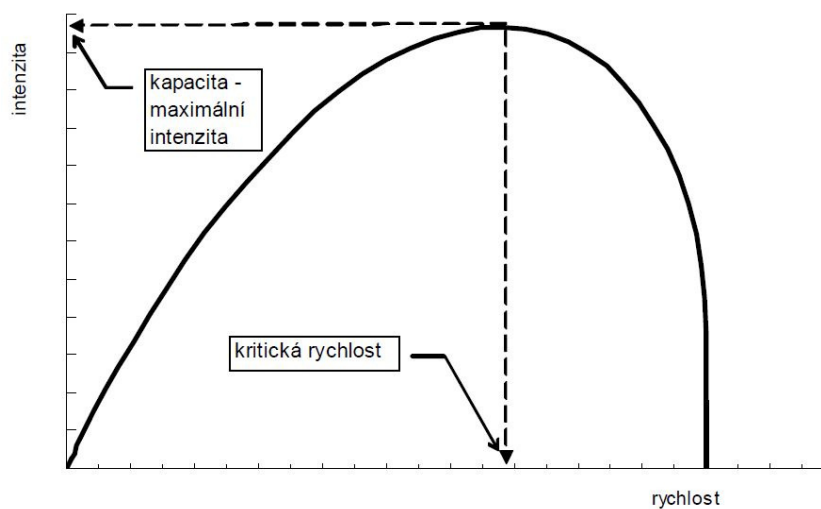
Přičemž platí, že rychlost (V) je závislá na hustotě (H)

$$V = V(H) \quad (1.5)$$

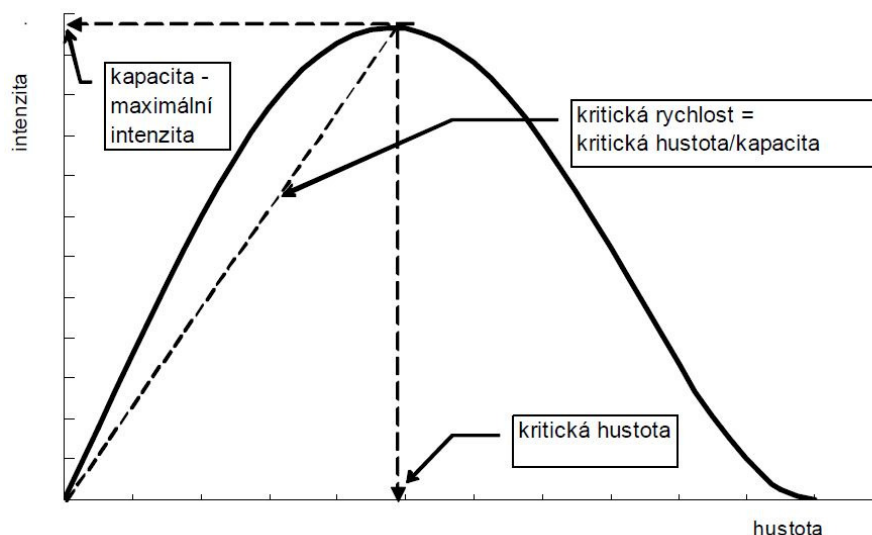
a tedy platí:

$$I(H) = H \cdot V(H) \quad (1.6)$$

Běžně používaným způsobem pro popis vztahů v rámci dopravního modelu jsou tzv. *fundamentální grafy*. Fundamentální grafy ukazují vztahy mezi třemi veličinami: hustota, rychlost a intenzita (resp. kapacita jako maximální intenzita), viz obr. 1.1 a 1.2.



Obr. 1.1 Fundamentální graf intenzity a rychlosti [8]



Obr. 1.2 Fundamentální graf intenzity a hustoty [8]

Funkce určující vztah mezi veličinami vycházejí vždy z použitého dopravního modelu. Více o problematice fundamentálních grafů a dopravních modelů je možné najít v [8].

Pro posouzení komunikace z hlediska pohybu dopravního proudu je nejdůležitější intenzita. Pro vztah intenzita a kapacita je zavedený pojem *stupeň vytížení* (a) jako podíl intenzity (I) a kapacity (K).

$$a = \frac{I}{K} \quad (1.7)$$

S tímto pojmem pracuje i ČSN 736 101 při zavedení *úrovně kvality dopravy* (ÚKD). K popisu jednotlivých ÚKD (A až F). Vztah mezi ÚKD a stupněm vytížení je ukázán v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Úrovně kvality dopravy [9]

ÚKD	Maximální hustota [voz.km ⁻¹ .pruh ⁻¹]	Stupeň vytížení a
A: zcela nerušené dopravní podmínky	6	0,24 – 0,29
B: volné a nerušené dopravní podmínky	10	0,39 – 0,47
C: ovlivněna volnost manévrování	15	0,59 – 0,68
D: omezena rychlost a volnost manévrování	20	0,78 – 0,85
E: mez stability dopravního proudu	28	1,0
F: kongesce (dopravní zácpa)	> 28	> 1,0

Více o členění komunikací pomocí charakteristik dopravního proudu je možné najít například v [9].

1.4 Používané metody pro výpočet intenzit a kapacit komunikace

Předcházející kapitola vysvětlila, proč se tato práce zabývá výpočtem intenzit a kapacit komunikace. Tato kapitola popisuje, jakým způsobem jsou tyto veličiny získávány. První dvě podkapitoly (1.4.1 a 1.4.2) popisují výpočet intenzit a poslední podkapitola 1.4.3 je věnována výpočtu kapacit.

1.4.1 Výpočet denních intenzit z měřených dat

Dopravní intenzity jsou na zájmovém území vždy alespoň částečně získávány z měřených dat. Protože se dopravní proud v čase mění, může jeho měření mít různé podoby podle dimenze, v které měření probíhá [3]:

Bodové (profilové, lokální) sledování po určitý čas T (s) v bodu (profilu) komunikace, měření probíhá v čase.

Momentální (okamžitá) sledování v určitém momentu na daném úseku komunikace délky L (m), měření probíhá v prostoru.

Prostorově-časové - po určitý čas T (s) na určité délce komunikace L (m), tzv. časoprostorová plocha LT , měření probíhá v čase i v prostoru.

Úsekové sledování probíhá sledováním měřícího prvku proudu, jedoucího auta.

Dopravní průzkumy se také odlišují dle zvolené metody získání dat [5]:

Ruční průzkum je vhodný pro krátkodobé (několik hodin) průzkumy. Výhodou je operativnost a možnosti komplexních poznatků o typech projetých vozů. Způsobilé osoby, které průzkum provádějí, musejí být náležitě poučeny, aby se předešlo ovlivnění lidským faktorem. Samotný průzkum je zaznamenáván do předem připraveného formuláře, který svým charakterem odpovídá konkrétnímu průzkumu (doba průzkumu, zkoumané atributy vozidel).

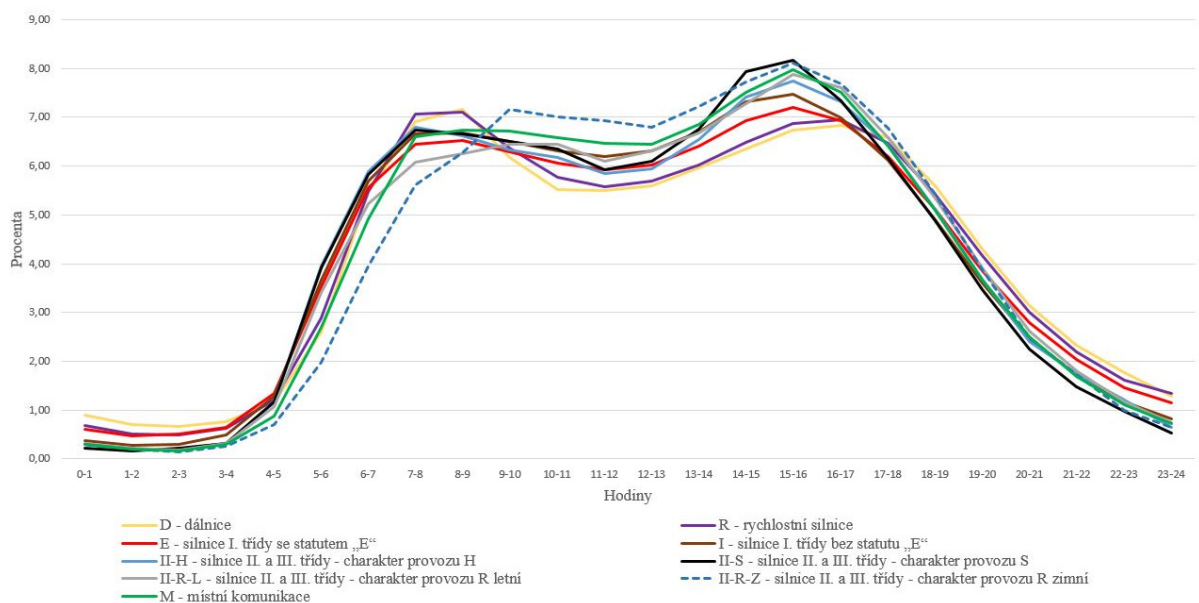
Průzkum pomocí technických zařízení je vhodnější pro dlouhodobé průzkumy (několik dnů). Přesnost průzkumu se odvíjí od kvality použitých zařízení a softwarů. Nevýhodou těchto průzkumů jsou počáteční časové a finanční výdaje na instalace zařízení. Mezi nejčastěji

používaná zařízení patří: detektory připevněné k vozovce (hadice, piezoelektrické senzory, indukční smyčky), videodetekce, radarové a infračervené detektory, popřípadě jejich kombinace.

Vzhledem k nákladnosti a komplikacím spojeným s celoročním sčítáním dopravy se často hodnota RPDI odhaduje přibližně z přepočtových koeficientů získaných z krátkodobých průzkumů. Přepočtové koeficienty jsou vždy vypočteny v závislosti na dané metodice, typu komunikace, typu vozidla, denní, týdenní a roční variaci.

Pro stanovení odhadu RPDI je třeba stanovit nejprve odhad denní intenzity v den průzkumu, kdy zohledníme denní variace pro daný typ vozidel a komunikace. Ze získané denní intenzity znovu aplikací týdenních variací získáme odhad týdenního průměru denních intenzit. Odhad RPDI pak vypočteme zohledněním časových variací pro měsíce či roční období.

Variace intenzit dopravy popisují průběh intenzit dopravy v čase. Na obr. 1.3 můžeme vidět změnu intenzity v průběhu dne pro různé kategorie a třídy komunikace.



Obr. 1.3 Denní variace intenzit dopravy pro různé kategorie a třídy komunikací – jaro, vozidla celkem [5]

Vidíme tedy, že hodinové intenzity (voz/hod) se v průběhu dne liší. Jasně patrné je, že nejvyšší dopravní zátěž na všech komunikacích přichází v průběhu dopoledne okolo šesté až osmé hodiny a poté odpoledne kolem čtvrté hodiny. Tyto změny v čase můžeme po hodinách zaznamenat do tabulky a vytvořit tak tabulku koeficientů (1.2). Koeficienty jsou procentuálním

podílem hodinové intenzity na hodnotě RPDI.

Tab. 1.2 Část tabulky denních variací intenzit dopravy – jaro, vozidla celkem [5]

Kategorie komunikace	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
D - dálnice	0,89	0,71	0,66	0,77	1,16	2,60	5,46
R - rychlostní silnice	0,69	0,51	0,49	0,63	1,20	2,88	5,48
E - silnice I. třídy se statutem „E“	0,60	0,48	0,50	0,65	1,35	3,52	5,55
I - silnice I. třídy bez statutu „E“	0,38	0,28	0,29	0,48	1,29	3,67	5,69
II-H - silnice II. a III. třídy - H	0,29	0,20	0,20	0,32	1,16	3,95	5,89
II-S - silnice II. a III. třídy - S	0,21	0,16	0,21	0,32	1,17	3,91	5,83
II-R-L - silnice II. a III. třídy - letní	0,32	0,21	0,19	0,31	1,07	3,42	5,23
II-R-Z - silnice II. a III. třídy - zimní	0,29	0,19	0,14	0,25	0,71	1,98	3,96
M - místní komunikace	0,29	0,19	0,17	0,29	0,88	2,69	4,91

Vybrané ukázky denních variací intenzit dopravy (1.2) odpovídají změnám v jarní sezóně a jsou průměrnou hodnotou pro všechna vozidla. Obdobně jsou stanoveny i variace pro zbylá roční období a pro konkrétní dopravní jednotky. V rámci [5] jsou stanoveny i pro osobní automobily, motocykly, nákladní automobily, autobusy a nákladní soupravy.

Stejným způsobem jako jsou pomocí koeficientu popsány změny intenzity v rámci dne, můžeme popsat i změny v rámci týdne. Získáme tak tabulku týdenních (1.3) a ročních (1.4) variací intenzit. Koeficienty v tabulkách odpovídají procentům konkrétní denní intenzity oproti průměrné hodnotě RPDI.

Tab. 1.3 Tabulka týdenních variací intenzit – jaro, vozidla celkem

Kategorie komunikace	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
D - dálnice	101,2	104,3	107,8	111,9	118,4	79,0	77,4
R - rychlostní silnice	100,2	100,8	105,4	108,7	120,7	84,2	80,0
E - silnice I. třídy se statutem „E“	104,5	102,5	107,2	110,2	120,0	81,0	74,6
I - silnice I. třídy bez statutu „E“	106,4	105,2	109,4	110,5	118,1	81,2	69,2
II-H - silnice II. a III. třídy - H	107,5	105,4	108,5	108,4	117,3	82,5	70,4
II-S - silnice II. a III. třídy - S	106,4	102,4	105,8	105,8	120,4	87,0	72,2
II-R-L - silnice II. a III. třídy - letní	92,5	92,0	94,1	98,3	114,5	110,4	98,2
II-R-Z - silnice II. a III. třídy - zimní	93,3	96,1	98,0	99,9	112,3	107,9	92,5
M - místní komunikace	109,7	106,1	110,3	111,3	121,4	77,9	63,3

Tab. 1.4 Část tabulky ročních variací intenzit – vozidla celkem

Kategorie komunikace	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec
D - dálnice	79,6	81,0	99,3	101,5	105,2	109,1	107,3
R - rychlostní silnice	86,4	89,7	92,7	98,1	102,0	105,3	108,3
E - silnice I. třídy se statutem „E“	82,1	88,5	93,4	101,3	103,0	105,3	110,1
I - silnice I. třídy bez statutu „E“	84,4	89,2	94,6	103,2	104,1	105,2	107,0
II-H - silnice II. a III. třídy - H	84,8	88,3	99,4	100,8	104,7	108,3	107,9
II-S - silnice II. a III. třídy - S	84,8	88,3	99,4	100,8	104,7	108,3	107,9
II-R-L - silnice II. a III. třídy - letní	73,7	76,9	83,0	99,4	106,2	117,2	141,0
II-R-Z - silnice II. a III. třídy - zimní	104,7	109,9	103,9	86,2	84,2	107,3	113,7
M - místní komunikace	90,4	94,4	103,4	104,7	105,6	100,6	98,1

Kompletní variační tabulky pro denní, týdenní a roční variace pro všechna vozidla celkem jsou v přílohách této práce (*Variace_Denni.xlsx*, *Variace_Tydenni.xlsx*, *Variace_Rocni.xlsx*). Tabulky (1.2, 1.3 a 1.4) umožní vypočítat RPDI z měřených hodinových intenzit na základě vztahu [5]:

$$RPDI = I_m \cdot k_{m,d} \cdot k_{d,t} \cdot k_{t,RPDI} \quad (1.8)$$

kde:

I_m je intenzita dopravy v době průzkumu

$k_{m,d}$ je přepočtový koeficient intenzity v době průzkumu na denní intenzitu dopravy dne průzkumu

$k_{d,t}$ je přepočtový koeficient denní intenzity dopravy dne průzkumu na týdenní průměr denních intenzit

$k_{t,RPDI}$ je přepočtový koeficient týdenního průměru denních intenzit na RPDI

Pro přepočtový koeficient intenzity v době průzkumu na denní intenzitu dopravy platí:

$$k_{m,d} = \frac{100\%}{\sum p_i^d} \quad (1.9)$$

, kde

$\sum p_i^d$ je součet podílů intenzit dopravy za dobu průzkumu na denní intenzitě dopravy [%]

Součty podílů intenzity jsou koeficienty, které vyčteme z tabulky (1.2).

Pro přepočtový koeficient denní intenzity dopravy dne průzkumu na týdenní intenzitu dopravy platí:

$$k_{m,d} = \frac{100\%}{p_i^d}, \quad (1.10)$$

, kde

p_i^d je podíl denní intenzity dopravy dne průzkumu na týdenním průměru denních intenzit dopravy [%]. Podíly intenzity jsou koeficienty, které vyčteme z tabulky (1.3).

Pro přepočtový koeficient týdenního průměru denních intenzit na RPDI:

$$k_{m,d} = \frac{100\%}{p_i^r}, \quad (1.11)$$

, kde

p_i^r je podíl denní intenzity dopravy měsíce na ročním průměru denních intenzit dopravy [%]. Podíly intenzity jsou koeficienty, které vyčteme z tabulky (1.4).

Konkrétní příklad pro výpočet RPDI může vypadat následovně:

Doba měření: Od 5.00 do 7.00 v pondělí v měsíci lednu.

Počet všech zaznamenaných vozidel: 50

Kategorie komunikace: místní komunikace

Nejprve je nutné vypočítat hodnotu $k_{m,d}$ ze vzorce (1.9):

$$k_{m,d} = \frac{100\%}{2,69\% + 4,61\%} \cong 13,7$$

Hodnoty $k_{d,t}$ a $k_{t,RPDI}$ vypočteme dle vzorců (1.10) a (1.11):

$$k_{m,d} = \frac{100\%}{109,7} \cong 0,9$$

$$k_{m,d} = \frac{100\%}{90,4} \cong 1,1$$

Dosadíme do vzorce (1.8) a získáme odhad hodnoty RPDI pro daný úsek komunikace:

$$RPDI = 50 \cdot 13,7 \cdot 0,9 \cdot 1,1 \cong 678 \left[\frac{voz}{den} \right]$$

Pomocí popsaných vzorců a koeficientů můžeme tedy vypočítat odhad hodnoty RPDI pro libovolnou kategorii komunikace a dopravní jednotky, pokud známe hodinové intenzity. Postup je možné i obrátit a získat tak odhad hodinové intenzity z RPDI. Při takovém výpočtu se vychází z totožných vztahů i variací. Pro jednu hodnotu RPDI můžeme tedy dle popsaných

tabulek variací vypočítat průměrné hodnoty hodinových intenzit pro libovolný den v týdnu a měsíc v roce.

1.4.2 Výpočet RPDI z generovaných dat

Dopravní intenzity se dají odhadovat i jiným způsobem než z krátkodobých průzkumů. Hodnoty RPDI je možné získat modelováním dopravního proudu na dopravní síti z geografických dat dané oblasti. Pro výpočet intenzit z generované dopravy jsou potřeba následující data:

Generátory dopravy - demografická data sídelních jednotek s danými souřadnicemi. Podrobnost dat (sídelní jednotky mohou být města, vesnice, čtvrti nebo bloky budov) určuje výslednou podrobnost dopravního modelu. Z demografických dat je možno odvodit četnost dojíždění z a do dané lokality. Pokud z dat známe další informace, např. jestli se v dané sídelní jednotce vyskytuje škola, městský úřad nebo významný obchod, můžeme úměrně ovlivnit generování dopravního proudu a dosáhnout přesnějších výsledků.

Dopravní síť musí být topologicky čistá a odpovídat potřebám řešeného problému. Pokud například v Libereckém kraji budou řešeny dojezdy vozidel IZS, je nutné v dopravní síti zahrnout i polní málo frekventované cesty, které mohou být využity pro rychlé dosažení cíle v nouzi. Podrobnost sítě není ale pouze počet silnic a cest, ale i podrobnost atributů, které k jednotlivým komunikacím známe. Pro určení kapacit komunikace je velmi důležitá znalost povolené rychlosti, počet dopravních pruhů či omezení průjezdu pro některé typy dopravních prostředků.

Kalibrační měření - měření získaná z terénu z vybraných míst v řešeném území pro ověření přesnosti vypočteného modelu.

První kroky přípravy dat probíhají obvykle v prostředí geografického informačního systému (GIS). Ještě před spojením generátorů dopravy a dopravní sítě je nutné zkontrolovat topologii sítě a odstranit chybná napojení či křížení, které by neumožnily realistické modelování toku dopravního proudu. Je třeba také zkontrolovat jednotnost atributů v síti, např. že klasifikace dopravních komunikací byla sjednocena s klasifikací ve variacích dopravy. Síť je poté připravena pro routování vypočtením odboček a křižovatek. Propojení generátorů dopravy a sítě je nutné provést zvlášť. Souřadnice určující polohu sídelní jednotky mohou totiž být

pouze centroidem z dříve polygonově určeného území daného města či vesnice. Body tedy neleží přímo na silničních komunikacích a je nutné jim přiřadit místo komunikace (obvykle nejbližší možné), které bude sloužit jako výstup dopravy dané sídelní jednotky do sítě.

Za pomoci softwaru pro modelování dopravy poté dopravní inženýři mohou vypočítat pro každý silniční segment sítě hodnotu ročního průměru denní intenzity (RPDI). V rámci projektu OTN je využíván program OmniTRANS. V závislosti na podrobnosti generátorů a sítě tak vzniká model pohybu dopravy v řešeném území. Z takového modelu ještě ale stále nemůžeme poznat v jakou dobu a která místa jsou potenciálně ohrožena vznikem dopravní zácpy. Pokud bychom chtěli znát i hodnoty hodinových intenzity pro konkrétní čas v síti, musíme RPDI pro každý segment komunikace vynásobit příslušnými variacemi dopravy.

1.4.3 Výpočet kapacity komunikace

Znalost intenzity komunikace je klíčová pro popsání dopravního proudu a stanovení charakteru provozu. Pouze z její znalosti ovšem nemůžeme odvodit stupeň vytížení. *Stupeň vytížení vyjadřuje úroveň kvality dopravy poměrem návrhové intenzity a kapacity (intenzita dělená kapacitou)* [10]. Výpočtem kapacity komunikací v rámci praxe v České republice se zabývá norma ČSN 736101 Projektování silnic a dálnic [7] a faktické informace této kapitoly jsou z normy čerpány. Dle normy je pro výpočet kapacity možné použít tyto faktory:

- podélný sklon
- křivolakost a možnost předjíždění
- podíl malých vozidel
- příčné uspořádání

Podélný sklon ovlivňuje cestovní rychlost všech vozidel (především pomalých vozidel) na trasách ve stoupání s větším podélným sklonem – větším než 2%. Podélný sklon je odlišný v závislosti na směru jízdy po komunikaci a můžeme jej tedy zohlednit pouze v případě, že směr bereme v potaz. V takovém případě jsou klesající trasy zpracovávány jako vodorovné. K vypočtení třídy stoupání se používá tzv. *navrhového pomalého vozidla*, které je definováno v příloze normy [7], kde jsou popsány jeho parametry jako výkon, hmotnost a maximální přípustná rychlost pro silnice a dálnice. Na základě dosažené rychlosti vozidla v svažitém terénu je přiřazena třída stoupání.

Křivolakost a možnost předjíždění jsou v normě popsány společně, kde *možnost předjíždění* tvoří přídavek k vypočtené *křivolakosti*. Křivolakost je součtem absolutních hodnot úhlových

změn směrového vedení trasy, vztažených k délce trasy. Je označována písmenem K a vyjadřována v gradech na km.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^j \gamma_i}{l}, \quad (1.12)$$

, kde

γ_i je úhlová změna v situaci na dílčím úseku i v gradech,

l je délka komunikace v kilometrech,

j je počet dílčích úseků uvažované části komunikace.

Přídavek ke křivosti je určen tabulkou (tab. 1.5) podle *podílu trasy se zákazem předjíždění* (A_{ZP}):

$$A_{ZP} = \frac{l_{ZP}}{l} 100, \quad (1.13)$$

kde A_{ZP} je podíl trasy se zákazem předjíždění (%),

l_{ZP} je délka všech úseků dané komunikace se zákazem předjíždění,

l je délka komunikace v kilometrech.

Tab. 1.5 Přídavek ke křivosti při zákazech předjíždění [7]

A_{ZP} (%)	Přídavek ke křivosti (grad/km)
0 – 30	$5 \cdot A_{ZP}$
30 – 100	$150 + \frac{(A_{ZP} - 30)}{0,7}$

Výslednou hodnotou součtu křivolakosti trasy a přídavku je veličina *celková křivolakost*.

Podíl pomalých vozidel je vyjádřen v procentech s odstupem 5% a je zohledněn v tabulce pro výpočet kapacity (tabulka 1.5).

Příčné stoupání je určeno při vybudování komunikace a je tedy obsaženo v návrhové kategorii komunikace. Pro zohlednění příčného stoupání při výpočtu kapacity komunikace jsou tedy kategoriím přiřazeny koeficienty, kterými je výsledná kapacita z předchozího postupu vynásobena.

Tab. 1.6 Kapacita komunikace na dvoupruhových silnicích v extravilánu [3]

Třída stoupání	Celkové křivolakosti (grad/km)	Kapacity E (voz/h) v závislosti na podílu pomalých vozidel - skladbě (%)					
		0	5	10	15	20	25
1	0 - 75	2500	2365	2310	2275	2245	2220
	75 - 150	2165	2105	2090	2080	2075	2065
	150 - 225	2050	1985	1975	1960	1950	1940
	>225	2005	1865	1840	1820	1800	1780
2	0 - 75	2500	2255	2180	2130	2095	2060
	75 - 150	2165	2060	2040	2025	2015	2000
	150 - 225	2050	1970	1955	1940	1925	1910
	>225	2005	1850	1815	1785	1760	1735
3	0 - 75	2500	2090	1980	1915	1895	1880
	75 - 150	2165	1930	1890	1860	1825	1805
	150 - 225	2050	1880	1835	1795	1755	1725
	>225	2005	1790	1755	1730	1685	1650
4	0 - 75	2500	1880	1735	1680	1630	1610
	75 - 150	2165	1775	1695	1635	1590	1565
	150 - 225	2050	1725	1645	1585	1545	1520
	>225	2005	1685	1600	1540	1500	1475
5	0 - 75	2500	1600	1460	1370	1305	1260
	75 - 150	2165	1560	1435	1345	1280	1235
	150 - 225	2050	1535	1405	1320	1255	1210
	>225	2005	1505	1380	1290	1230	1190

Pro projekt OTN, potažmo pro datovou sadu OTM nejsou všechny potřebné parametry známy a proto byl na základě konzultací s firmou EDIP navržen a pro OTM realizován alternativní výpočet kapacity komunikace, zjišťovaný na základě třídy komunikace a křivolakosti úseku. Postup výpočtu byl navržen v rámci řešené semestrální práce předmětu Algoritmy prostorových analýz [11]. Křivost (K) je vypočtena dle normy [7] – vzorec 1.12. Třídám komunikací je přiřazena kapacita (C_{TR}) na základě vztahu:

Tab. 1.7 Vztah třídy komunikace a kapacity použitý v rámci OTM [11]

Třída komunikace (podle OTM)	Kapacita (C_{TR}) [voz/24hod]
mainRoad	45 000
firstClass	15 000
secondClass	8 000
thirdClass	6 000
fourthClass	4 000
fifthClass	2 000

Konečná kapacita C je získána opravením kapacity C_{TR} použitím křivosti (K) dle vztahu:

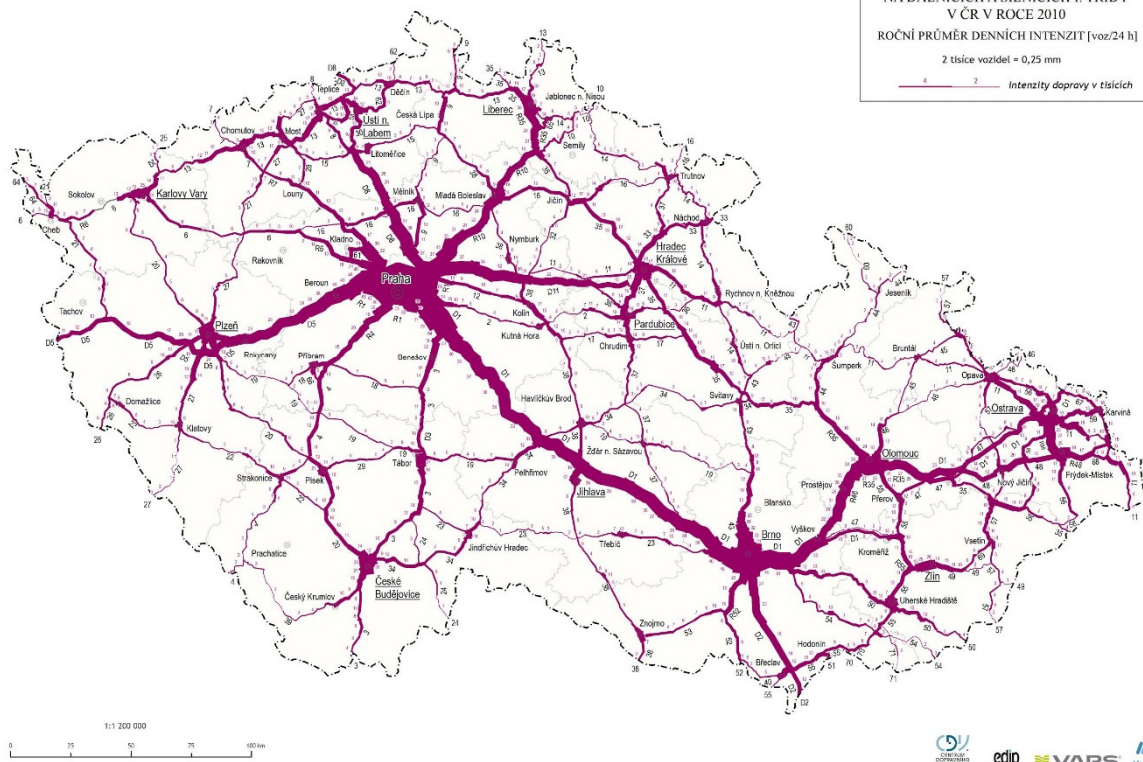
$$C = C_{TR} - (C_{TR} \cdot K \cdot 0,0011) \text{ pro } K \leq 225 \text{ grad/km ,} \quad (1.14)$$

$$C = C_{TR} \cdot 0,75 \quad \text{pro } K > 225 \text{ grad/km ,} \quad (1.15)$$

1.5 Vizualizace dopravních intenzit

Předcházející podkapitoly popisují způsoby, jakými je možné získat dopravní intenzity (denní i hodinové) a kapacity. Vzhledem k tomu, že vypočtené hodnoty intenzit a kapacit se vždy dají vztáhnout k nějakému segmentu dopravní sítě, nabízí se výsledky prezentovat nějakou kartografickou metodou.

Pro prezentaci výsledků dopravního sčítání se nejčastěji používá tzv. *pentlogram*. Ve slovníku dopravní terminologie, projekt Ministerstva dopravy, je pojem *pentlogram intenzit dopravy* uveden jako synonymum pro *kartogram intenzit dopravy*. Pro oba termíny pak dle slovníku platí definice *grafické vyjádření zjištěných nebo návrhových intenzit dopravy* [12]. Z pohledu kartografie je pentlogram liniový kartodiagram, který tloušťkou linie či barevnými odstíny vyjadřuje hodnotu zobrazované intenzity či kapacity. Na obrázku 1.4 vidíme pentlogram vyjadřující výsledky sčítání dopravy provedené v roce 2010. Intenzita je zde vyjádřena pomocí jednoduchého jednosměrného kartodiagramu.



Obr. 1.4 Sčítání dopravy 2010 [13]

Pentagram nám umožňuje dobře rozpoznat klíčové (nejvytíženější) dopravní tahy a z popisných textových informací můžeme z mapy přímo vyčíst i přesnou hodnotu pro danou komunikaci nebo její část. Nemůžeme ale poznat, která komunikace je například častým místem dopravní kongesce. Zjistíme tak, kterou komunikaci využívá více účastníků provozu, už ale nepoznáme, jestli jsou využívány i úměrně schopné větší množství vozů pojmout – tedy jestli mají vyšší kapacitu komunikace. Druhým podstatným limitem vizualizace dopravních intenzit pomocí pentagramu je jeho staticita. Mapa na obr. 1.4 zobrazuje RPDI a tedy pouze průměrné denní hodnoty.

Oba dva tyto nedostatky se snaží vyřešit dynamická vizualizace ve webovém prostředí, kterou je Otevřená dopravní mapa.

1.6 Otevřená dopravní mapa

Otevřená dopravní mapa (angl. Open Transport Map – OTM) je jeden z dílčích výstupů projektu Open Transport Network (OTN). OTN je projekt Evropské unie zahájený v roce 2014, který se zaměřuje na práci s otevřenými daty. Mezi cíle projektu patří agregovat a otevírat dostupná data, navrhnout jejich využití při řešení problémů spojených s DI a vyvíjet vlastní

aplikace pro prostorová data s využitím při analýzách dopravy. Výstupy projektu jsou pro testovací účely aplikovány v rámci čtyř pilotních měst (Birmingham, Antverpy, Issy a Liberec), které každé čelí jinému dopravnímu problému.

Problémem řešeným na území Birminghamu je, že navzdory tomu, že se počet ročních úmrtí způsobených dopravní nehodou ve Velké Británii od počátku tisíciletí podařilo snížit téměř na polovinu, zahyne tímto způsobem ročně více než 17 stovek účastníků provozu. Podrobná analýza nehod silniční dopravy by mohla pomoci k tomu, aby se Velká Británie dostala s čísly ještě níže. Podrobnosti o řešených problémech na území Belgie, Francie a České republiky je možno je možné najít v [14].

Z různorodosti řešených problémů pilotních měst je patrné jak velký potenciál využití mají dopravní analýzy. V každém z uvedených příkladů je k důslednému nalezení řešení potřeba mimo jiné i výpočet dopravních intenzit a kapacit vizualizovaný v OTM. Tu je možno vidět na oficiálních stránkách projektu [15] a více o projektu OTN je popsáno v článku [14].

Pro kategorizování komunikací byla použita klasifikace *INSPIRE Funkční třída silnice* (angl. Functional Road Class Value) z registru *INSPIRE enumeration register*. Podrobný popis klasifikace je dostupný na stránkách ISNPIRE [16]. Protože variace intenzit dopravy, které byly použity pro vývoj knihoven, jsou vytvořeny pro tuzemskou legislativu, byl vytvořen konverzní vztah mezi kategoriemi dle Zákona o pozemních komunikacích [17] a kategoriemi dle INSPIRE:

- mainRoad: D - dálnice
- firstClass: I - silnice I. třídy bez statutu „E“
- secondClass: II-H - silnice II. a III. třídy - charakter provozu S
- thirdClass: II-H - silnice II. a III. třídy - charakter provozu S
- fourthClass: M - místní komunikace
- fifthClass: M - místní komunikace

V průběhu projektu bylo rozhodnuto, že v ní nebudou zahrnuty intenzity pro poslední dvě nejméně frekventované třídy komunikace (fourthClass a fifthClass), protože z testů v Libereckém kraji vplynulo, že na těchto komunikacích nedochází k vážným kongestivním stavům.

Druhým zjednodušením, na které se přistoupilo, byl výběr časových variací. Místo variací pro měsíce, jsou pro hodinové intenzity použita jednotlivá roční období (jarní, prázdninové, podzimní a zimní období). Čtyři roční období stále dobře reprezentují variace intenzit v průběhu roku a zároveň došlo ke snížení počtu výpočtů a objemu získaných dat. Pro každý

segment komunikace se známou denní intenzitou tedy bylo vypočteno 672 hodinových intenzit (24 hodin * 7 dní v týdnu * 4 roční období) na místo 2016 hodinových intenzit, pokud by byly použity i roční variace pro měsíce.

OTM má sloužit pro dynamickou vizualizaci dopravy v čase a pomáhat v hledání ideální cesty v dopravní síti. Pro zobrazení dopravních intenzit v čase je nutné počítat hodinové intenzity, které umožňují uživateli vidět změny dopravy v průběhu času na silniční síti. Výpočet hodinových intenzit je téma praktické části této práce.

2 Implementace výpočtu hodinových intenzit

Tato kapitola pojednává o výpočtu hodinových intenzit z dvou odlišných typů vstupních dat pomocí knihoven v jazyce Scala. Tyto knihovny byly vytvořeny v rámci této bakalářské práce. Jako první je popsán výpočet hodinových intenzit z denních (RPDI) intenzit pro *matici přepravních vztahů* (MPV) (v literatuře uváděno též jako *OD matice* z angl. *origin destination matrix*). Do druhého výpočtu vstupují už hodnoty RPDI vypočtené pro jednotlivé segmenty silniční sítě. Na výstupu jsou segmenty silniční sítě s vypočtenými hodinovými intenzitami. Kapitola má následující strukturu: Vysvětlení přípravy vstupních dat (2.1.1 a 2.2.1) způsob implementace (2.1.2 a 2.2.2) a výhody použití knihoven (2.3).

2.1 Výpočet hodinových intenzit z RPDI mezi sídelními jednotkami

Při generování dopravního proudu jsou nejprve dopravní intenzity vypočteny ve vztahu mezi sídelními jednotkami bez jejich rozdělení do silniční sítě. Tabulka intenzit mezi sídelními jednotkami se označuje jako matice přepravních vztahů (MPV, resp. OD Matrix) a obsahuje hodnoty RPDI. Pokud chceme znát MPV s hodinovými intenzitami je nutné matici přepočítat příslušnými koeficienty. Tento proces řeší vytvořená knihovna popsaná v následujících podkapitolách.

2.1.1 Příprava a popis vstupních dat

Prvním vstupem do výpočtu je MPV s denními intenzitami. MPV je čtvercová matice (tab. 2.1). V prvním řádku a prvním sloupci jsou uvedeny názvy jednotlivých sídelních jednotek.

Tab. 2.1 Matice přepravních vztahů

	Bezděz	Blatce	Blatečky	Houska	Konrádov	Tubož	Blíževedly
Bezděz	0	0,054	0,005	0,037	0,004	0,017	0,025
Blatce	0,054	0	0,016	0,083	0,01	0,052	0,111
Blatečky	0,005	0,016	0	0,004	0,007	0,034	0,011
Houska	0,037	0,083	0,004	0	0,005	0,024	0,001
Konrádov	0,004	0,01	0,007	0,005	0	0,007	0,046
Tubož	0,017	0,052	0,034	0,024	0,007	0	0,209
Blíževedly	0,025	0,111	0,011	0,001	0,046	0,209	0

Dle prvního sloupce a řádku můžeme najít hodnoty RPDI pro spojení každých dvou sídel. Z tabulky tedy můžeme například vyčíst, že RPDI z obce Litice do obce Skalka (stejně tak z obce Skalka do Litic) je 0,16 dopravních jednotek. Intenzita je stejná v obou směrech, protože se jedná o roční průměrnou hodnotu (RPDI). V této hodnotě je již zohledněna délka trasy a dopravní podmínky na dráze mezi obcemi. Z dat není možné zjistit, po jakých třídách komunikace vozidlo mezi obcemi pojede, není tedy možné při výpočtu zohlednit variace pro třídy komunikace. Pomocí časových variací ale můžeme získat hodinové intenzity dopravy mezi libovolnými dvěma obcemi, a to pro libovolnou hodinu, den a roční období. Dohromady můžeme vypočítat 672 (24 hodin * 7 dní v týdnu * 4 ročních období) různých MPV s hodinovými intenzitami. Tyto hodinové matice byly doposud vytvářeny v tabulkovém softwaru díky provázání s tabulkou variací. Vytvoření, export a práce s takovými daty není příliš pohodlná. MPV v požadované struktuře je přílohou této práce (*ODMatrix.csv*).

Druhým vstupem nezbytným pro výpočet hodinových intenzit jsou *tabulky časových variací*. Tyto tabulky jsou popsány v kapitole 1.4.1. Tabulky časových variací intenzit nemají obecně použitelnou jednotnou strukturu. Bylo třeba vytvořit strukturu variačních tabulek pro jeden vstupní soubor. Byl použit formát CSV. Je možné jej načítat a pracovat s ním jako s maticí při chodu programu a zároveň je možné pohodlně editovat hodnoty variačních koeficientů, které se mohou lišit při výpočtu hodinových intenzit v různých oblastech. Soubor CSV musí obsahovat denní variace intenzit (tab. 2.2), které jsou tvořeny čtyřmi tabulkami pro čtyři roční období.

Pro každé roční období jsou v tabulce vypsány variace pro hodiny v rámci dne s čtyřmi variantami dle kategorií komunikace. Tabulka týdenních variací (tab. 2.3) umožňuje zohlednit dny v týdnu, které tvoří sloupce, a roční období spolu s kategorií komunikace rozdělené po řádcích. Obě dvě tabulky jsou součástí jediného souboru formátu CSV. Pro korektní použití

skriptu je nutné použít strukturu přesně dle předlohy v příloze této práce (*Var_Volume.csv*).

Tab. 2.2 Denní variace

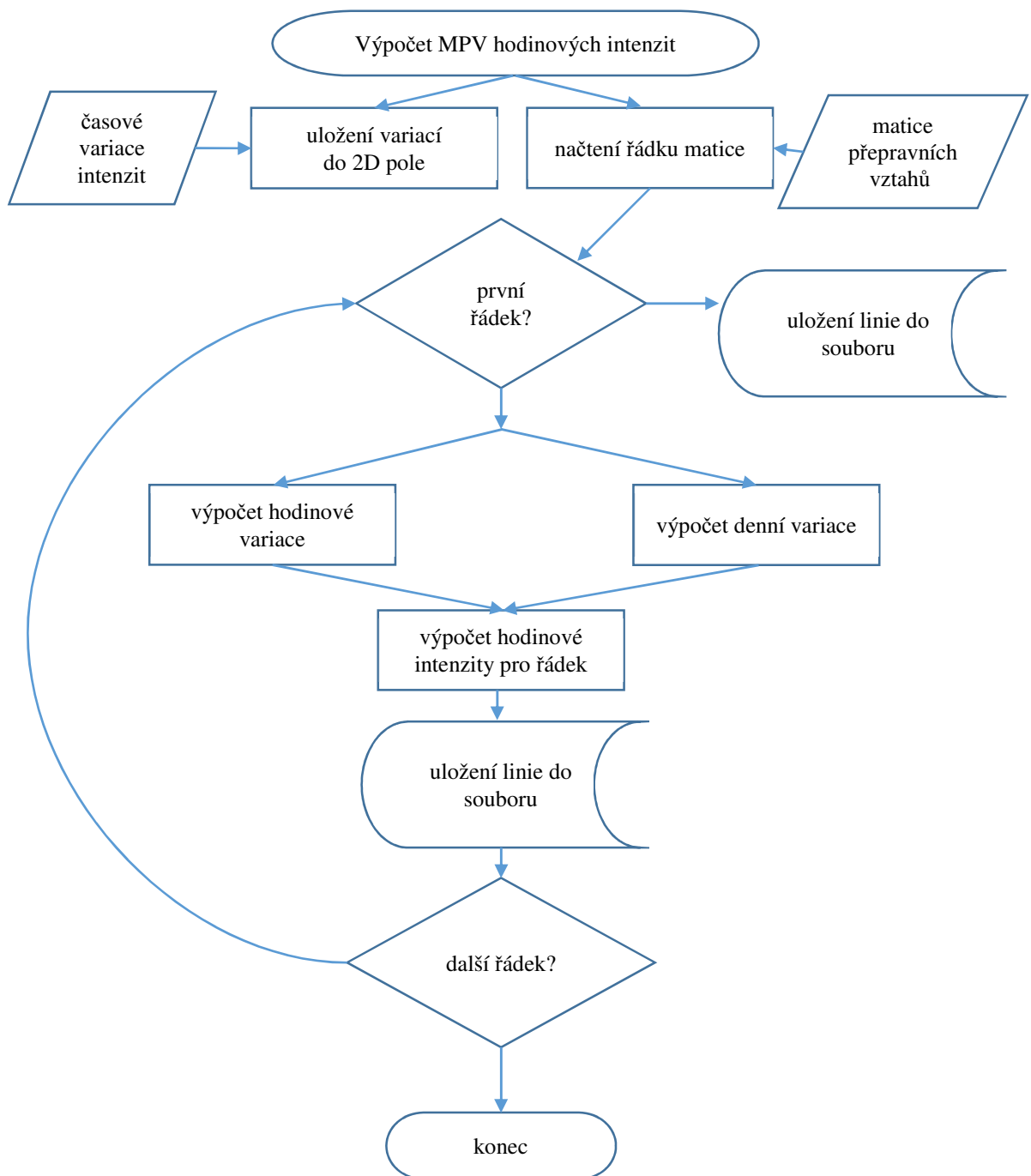
SPRING									
Road type	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
main road	0,89	0,71	0,66	0,77	1,16	2,6	5,46	6,92	7,1
first class	0,38	0,28	0,29	0,48	1,29	3,67	5,69	6,66	6,6
second and third class	0,21	0,16	0,21	0,32	1,17	3,91	5,83	6,74	6,6
fourth and fifth class	0,29	0,19	0,17	0,29	0,88	2,69	4,91	6,6	6,7
SUMMER									
Road type	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
main road	1	0,8	0,7	0,8	1,2	2,6	5	6,3	6,5
first class	0,5	0,3	0,3	0,5	1,2	3,5	5,3	6	6,3
second and third class	0,3	0,2	0,2	0,4	1,2	3,7	5,1	5,9	6,3
fourth and fifth class	0,4	0,2	0,2	0,3	0,8	2,5	4,4	5,9	6,5
AUTUMN									
Road type	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
main road	0,9	0,7	0,7	0,8	1,2	2,4	5	6,9	7,1
first class	0,4	0,3	0,3	0,5	1,2	3,5	5,6	6,7	6,7
second and third class	0,2	0,2	0,2	0,3	1	3,4	5,5	6,7	6,8
fourth and fifth class	0,3	0,2	0,2	0,3	0,8	2,7	5	6,8	6,8
WINTER									
Road type	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
main road	0,9	0,7	0,7	0,8	1,1	2,2	4,7	6,8	7,4
first class	0,4	0,3	0,3	0,5	1,2	3,4	5,4	6,6	6,8
second and third class	0,2	0,2	0,2	0,4	1,4	3,8	5,6	6,7	6,8
fourth and fifth class	0,3	0,2	0,2	0,3	0,9	2,6	4,8	6,7	6,7

Tab. 2.3 Týdenní variace

Road type	Time	Monday	Tuesday	Wednesda	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
main road	Spring	101,2	104,3	107,8	111,9	118,4	79	77,4
	Summer	100,1	100,9	104,6	107,9	117,9	85,9	82,7
	Autumn	102,5	104,4	107,3	110,5	119	79,6	76,7
	Winter	101,2	102,7	105,7	110	118,1	85,5	76,8
first class	Spring	106,4	105,2	109,4	110,5	118,1	81,2	69,2
	Summer	105,2	102,5	106,6	107,7	114	87,3	76,7
	Autumn	107,2	105,2	108,6	109,2	118,1	80,8	70,9
	Winter	110,6	107,7	111,2	111,4	118,5	76,3	64,3
second and third class	Spring	106,4	102,4	105,8	105,8	120,4	87	72,2
	Summer	104,1	103,2	105,2	107,5	114,1	86,8	79,1
	Autumn	105,1	103,8	104,9	106,6	119,5	86,6	73,5
	Winter	108,8	106,4	108,6	108,4	120,9	80,1	66,8
fourth and fifth class	Spring	109,7	106,1	110,3	111,3	121,4	77,9	63,3
	Summer	110,2	105,6	109,3	108,4	117	80,5	69
	Autumn	109,5	108,2	110,5	110,9	117,6	79,2	64,1
	Winter	112,6	109,9	111,4	112,5	119	73	61,6

Na vstupu je tedy tabulka variací v popsané sktruktuře (*Variation.csv*) a matice sídelních jednotek s hodnotou RPDI (*TrafficVolumeCities.csv*). Skript, který zpracovává tato vstupní data, vybere správné variační koeficienty a vypočte MPV pro zadanou hodinovou intenzitu. Tuto vypočtenou matici vloží do souboru CSV. Způsob chodu programu a výpočtu je popsán v následující kapitole 2.1.2.

2.1.2 Popis a použití knihovny



Obr. 2.2 Vývojový diagram pro výpočet hodinových intenzit z MPV

Základní chod skriptu je ukázán na vývojovém diagramu obr. 2.2. Parametr konstruktoru je název variačního souboru CSV. Při vytvoření objektu je zavolána metoda *loadMatrix(fileName: String)* s argumentem názvu souboru s variačními tabulkami, v tomto případě *Var_Volume.csv*. Soubor je natažen jako dvourozměrné pole do paměti. Pro výpočet MPV s hodinovými intenzitami musí uživatel zavolat metodu

calcMatrixToFile (*ODmatrixFileName*: *String*, *OutputFileName*: *String*, *hour*: *Int*, *day*: *Int*, *season*: *Int*), která má následující parametry: název souboru obsahující matici sídel, název výstupního souboru matice s hodinovými intenzitami, počáteční hodinu (0-23), den (1-7) s počátkem v pondělí a roční období (1-4) s počátkem na jaře. Využití knihovny pro výpočet hodinových intenzit pro jarní pondělní ráno od šesti do sedmi hodin vypadá následovně:

```
val matrix = new MaticeTransport("Var_Volume.csv")
matrix.calcMatrixToFile("ODMatrix.csv", "ODMatrixHours.csv", 6, 1, 1)
```

MPV není načítána do paměti. Je načten pouze první řádek matice a je vložen do pole. Pokud se jedná o první řádek, který neobsahuje žádné hodnoty intenzit, ale pouze názvy sídel, je beze změny vypsán do vytvořeného výstupního souboru. Poté je načten další řádek matice, který již obsahuje název města pouze na prvním místě pole. Toto pole s řádkem matice je použito jako argument metody *calculateVolume* (*line*).

Na základě znalosti struktury tabulky variací a vstupních číselných hodnot pro hodinu, den a roční období je možné nalézt v dvourozměrném poli s variacemi intenzit odpovídající parametry. Z MPV není možné získat informace o typu komunikace. Variace intenzit jsou ale vypočteny pro jednotlivé kategorie komunikace. Použitelná hodnota parametru variace pro denní či týdenní tedy není přímo vybrána z dvourozměrného pole variací, ale jsou nejprve vypočteny průměry pro danou časovou variaci ze všech kategorií komunikace. Aritmetický průměr variací z kategorií komunikace počítají metody *calculateHoursAverage*() a *calculateDaysAverage*(). Toto řešení je v souladu s dopravně inženýrskými postupy. Takto získané koeficienty je už možné použít pro výpočet hodinových intenzit. Hodinová intenzita je vypočtena pro každou hodnotu jednorozměrného pole zpracovávaného řádku matice. Řádek je poté uložen do již existujícího souboru výstupu. Pokud vstupní matice sídel obsahuje další řádek, je zpracován jako pole a uložen výstupu.

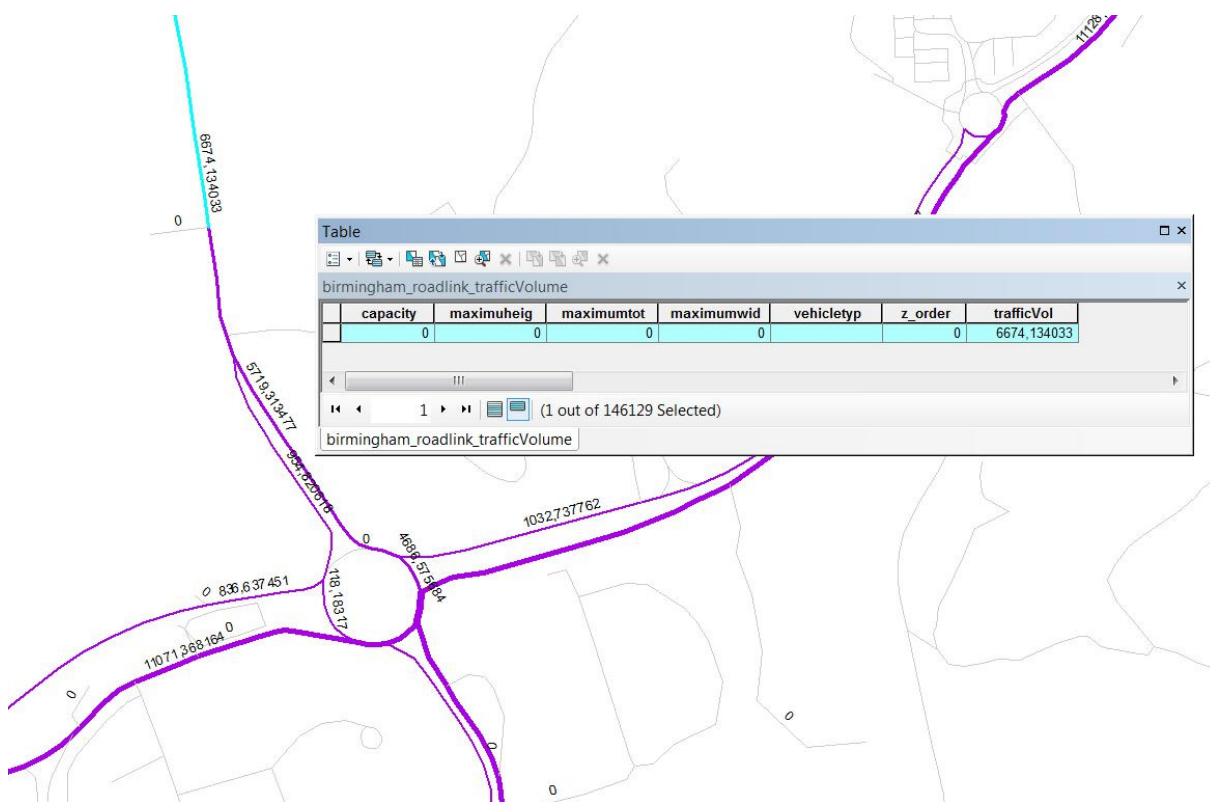
Po skončení výpočtu je ve vytvořeném výstupním souboru kompletní MPV s hodinovými intenzitami. Její struktura je totožná s MPV na vstupu. Tedy soubor CSV, kde první řádek a sloupec nesou názvy sídelních jednotek (tab. 2.1).

2.2 Výpočet hodinových intenzit ze silniční sítě

Tato kapitola popisuje výpočet hodinových intenzit pro silniční síť pomocí zpracování jednotlivých segmentů komunikací. Pro samotný výpočet hodinových intenzit není geometrie sítě potřebná. K tomu stačí hodnota RPDI, která byla uložena jako atribut při generování dopravy. Pokud ale zachováme identifikátory pro spojení s původním souborem obsahujícím geometrii, je možné následně získat potřebné vizualizace hodinových intenzit.

2.2.1 Příprava vstupních dat

Hodnoty RPDI získané generovaným dopravním modelem byly uloženy jako atribut *TrafficVol* v atributové tabulce soubor formátu *shapefile* s územím silniční sítě.



Obr. 2.3 Denní dopravní intenzity pro Birmingham

Na pentlogramu (2.3) je vyjádřen RPDI jednotlivých segmentů komunikace s hodnotou daného segmentu. Jsou jasně patrné velmi používané komunikace. Nulové hodnoty RPDI ukazují na limity použitého dopravního modelu, pro který je použit konečný počet generátorů dopravy. Atributová tabulka souboru dopravních segmentů může obsahovat celou řadu dalších informací o zobrazených komunikacích. Atribut, který je v rámci dat OTM sjednocen a je definován pro každý segment je typ silniční komunikace (*functional*), který určuje jednu z šesti tříd: *mainRoad*, *firstClass*, *secondClass*, *thirdClass*, *fourthClass* a *fifthClass*. Pro použití variačních

koeficientů z prostředí České republiky byl vytvořen vztah ke klasifikaci OTM (kap. 1.6). Důležitým atributem je identifikační číslo *inspireID*, které umožňuje data provázat po exportu zpět k jejich geometrii.

Vzhledem k nezávislosti geometrie silničních linií na výpočtu hodinových intenzit z RPDI byl proveden export samostatné atributové tabulky. Byl použit software ArcGIS 10.2 od společnosti Esri Inc. Dílčí software ArcMap umožňuje exportovat atributovou tabulku přímo do formátu CSV, který byl následně použit pro strojové čtení a práci s daty. Před použitím exportovaného souboru je třeba provést kontrolu a odstranit možné chyby. Atribut *inspireID*, může být nesprávně uložen jako datový typ double a při exportu do CSV formátu bude za identifikátorem obsahovat i desetinnou tečku a redundantní nuly za tečkou. Bylo také třeba zkontrolovat a opravit, pokud se v názvech komunikací vyskytovaly středníky, které byly použity jako oddělovač ve formátu CSV. Vstupní souboru CSV, který by obsahoval pouze pět linií a neměl žádné nadbytečné atributy, by mohl vypadat takto:

```
inspireID; functional; trafficVolume
1; mainRoad; 100
2; firstClass; 50
3; secondClass; 30
4; thirdClass; 20
5; fourthClass; 10
```

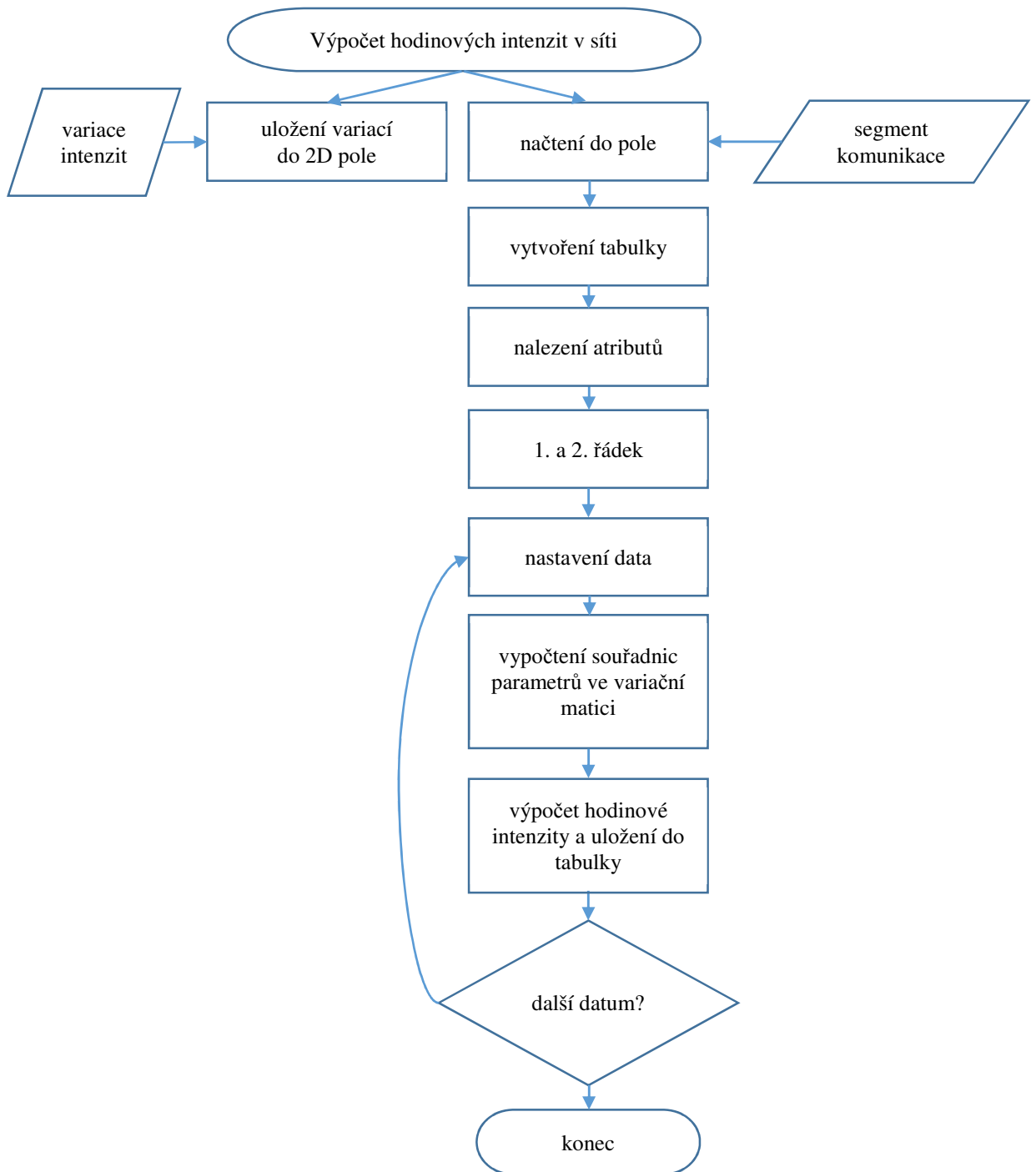
V praxi používaná data jsou ukázána v příloze (*RoadLink_Birmingham.csv*). Pojmenování atributů (v tomto případě *inspireID*, *functional* a *trafficVolume*) je libovolné. Uživatel jejich název zadává v podobě řetězce znaků při použití metody.

Cílem skriptu pro tento typ vstupního souboru byl výpočet hodinových intenzit pro každý segment silniční sítě. Byly k tomu použity hodnoty RPDI a atribut klasifikující komunikace do šesti skupin dle třídy. Dle klasifikace byly vždy použity vhodné časové variace pro daný segment. Časové variace byly jako v prvním případě hodnotové matice použity denní, týdenní a roční pro čtyři roční období.

2.2.2 Vstupní data

Vstupní data jsou dva soubory CSV. Jeden je popsán v předchozí kapitole 2.1.2 a je uveden v příloze (*RoadLink_Birmingham.csv*). Druhým vstupem jsou tabulky variací intenzit. Jejich struktura je shodná jako pro MPV. Její struktura je popsána v kapitole 2.1.1 a její příklad je v příloze této práce (*Var_Volume.csv*).

2.2.3 Popis a použití knihovny



Obr. 2.4 Vývojový diagram pro výpočet hodinových intenzit ze silniční sítě

Skript zpracovávající vstup popsaný v minulé podkapitole vypočítává hodinové intenzity pro každý segment komunikace dle diagramu na obr. 2.4. Při vytváření objektu třídy pomocí konstruktoru zadává uživatel potřebné vstupní hodnoty. Příkaz může vypadat takto:


```

val matrix = new RoadLinkTransport
("Var_Volume.csv", "RoadLink_Birmingham.csv", "inspireid", "functional",
"trafficVol", 1)

```

První dva parametry odkazují na název vstupních souborů CSV. Na prvním místě je soubor s variačními tabulkami a na druhém je soubor se segmenty komunikace. Další tři řetězce znaků nesou názvy atributů nutných pro výpočet hodinové intenzity v pořadí identifikátor, typ komunikace, denní dopravní intenzita. Pomocí těchto řetězců program vyhledá správné prvky pro výpočet. Posledním parametrem v datovém typu integer určuje, zdali chce uživatel výstupné data uložit do souboru. Pokud chce, zadá 1, v opačném případě 0.

Tabulky variací jsou načteny do paměti do dvourozměrného pole pomocí metody *loadMatrixVariation()*. Je načten první řádek tabulky *RoadLink_Birmingham.csv* a pomocí metody *locateIndices()* jsou nalezeny atributové sloupce, které odpovídají potřebným parametrům pro výpočet. Indexy těchto parametrů jsou uloženy do pole.

Pro výpočet hodinové intenzity pro první segment komunikace a tedy druhý řádek souboru *RoadLink_Birmingham.csv* (v první řádce jsou názvy atributů) zavolá metodu *processFeature()*. Metoda vrací dvourozměrné pole a může i uložit data do souboru, pokud tomu odpovídá uživatelem zadaný parametr v konstruktoru. Struktura výstupu je popsána v podkapitole 2.2.4

Metoda *processFeature()* vždy zpracuje jeden následující řádek tabulky *RoadLink_Birmingham.csv*. Tento postup byl zvolen z důvodu velikosti výstupních dat. Například testovaná data z Birminghamu obsahovala přes 145 tisíc segmentů a pro Liberec přes 75 tisíc. Ze stejného důvodu není do paměti ukládán ani výstupní soubor. Ten obsahuje pouze segmenty, které splní podmínky dle OTM (kap. 1.6). Pro Birmingham 17 tisíc a v Liberci 11 tisíc. Kromě podmínky dle OTM jsou ještě přeskočeny segmenty s nulovou hodnotou RPDI. Pro každý segment je ale vypočteno 672 (24 hodin * 7 dní v týdnu * 4 roční období) hodinových intenzit.

Metoda *processFeature()* vrací vypočtenou tabulku hodinových intenzit do proměnné dle uživatele, se kterou je možné dále pracovat jako s 2D polem. Metodu *processFeature()* je možné umístit do cyklu a postupně data nahrávat do databáze.

Zpracování metodou *processFeature()* začíná vyhodnocením, jestli načtený segment splňuje podmínky pro analýzu pomocí metody *getConditions()*. Pokud nejsou podmínky splněny, vrací metoda *processFeature()* prázdnou proměnnou. V opačném případě výpočet pokračuje.

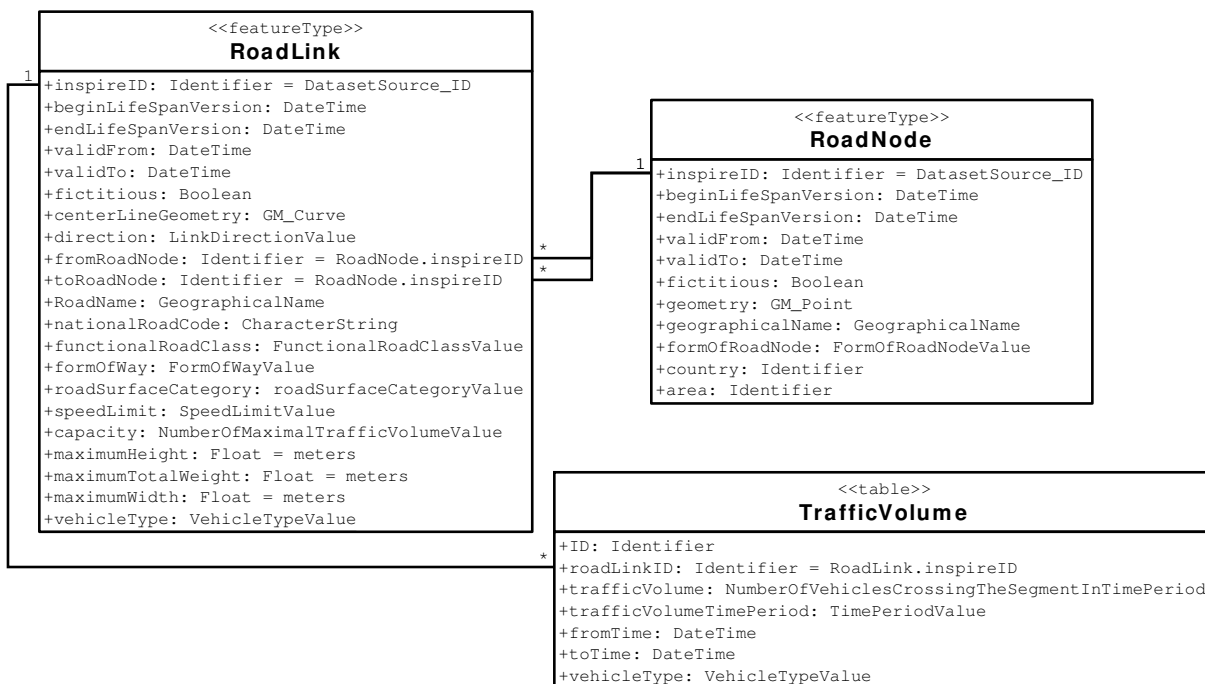
Jako první jsou do tabulky hodinových intenzit (*trafficVolume*) nahrány první dva řádky

pomocí metod *createFirstRow()* a *createSecondRow()*. První řádek doplní do matice řádek s popisem atributů. Druhý řádek je vyplněn pro denní intenzitu (hodnota RPDI). Ostatní řádky jsou postupně zaplněny dle datového modelu (obr. 2.5).

Výpočet hodinové intenzity (*trafficVolume*) je vypočten pro každou hodinu, každého pracovního týdne ve čtyřech ročních obdobích. Pokaždé je výsledná hodinová intenzita získaná z tří hodnot: původní hodnoty RPDI a dvou parametrů získaných z tabulky variací. Pro vybrání správných variačních parametrů je třeba přecházet ze zpracovávaného segmentu komunikace jeho třídu (vzhledem ke kritériím pro zpracovávané segmenty se jedná o *mainRoad*, *firstClass*, *secondClass* a *thirdClass*). Třída je převedena na číslo a umožňuje vybrat z variační tabulky správnou buňku s parametrem. Pro správný výběr parametrů z tabulky variací je samozřejmě třeba znát i hodinu, den v týdnu a roční období. Naplnění časových atributů (*fromTime* a *toTime*) je použitý datový typ *SimpleDateFormat*. Tento datový typ umožňuje snadné vymezení času pro hodinovou intenzitu.

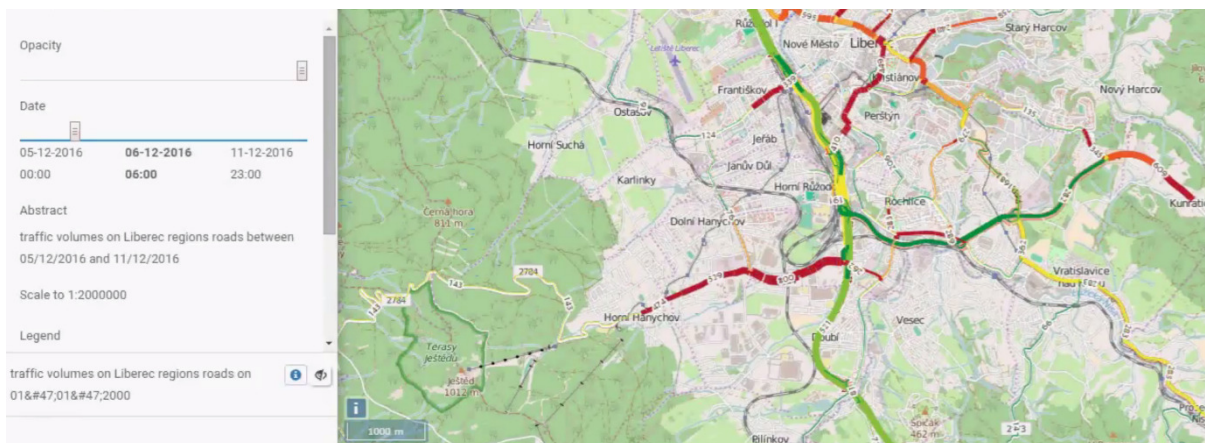
2.2.4 Výstup hodinových intenzit pro segment komunikace

Výsledkem zpracování dat je tabulka prvků, kde každý prvek reprezentuje jednu hodinovou intenzitu jediného silničního segmentu. Datová struktura výstupu obsahuje: identifikátor (*ID*), identifikátor silničního segmentu (*roadLinkID*), hodnotu intenzity (*trafficVolume*), délky časového období (*trafficVolumePeriod*), počáteční čas (*fromTime*), koncový čas (*toTime*) a typ vozidla (*vehicleType*). Při ukládání do databáze je každému atributu přidělen příslušný datový typ (viz. tabulka *TrafficVolume* na obr. 2.5). Ukázka výstupního souboru je v příloze této práce (*TrafficVolume.csv*).

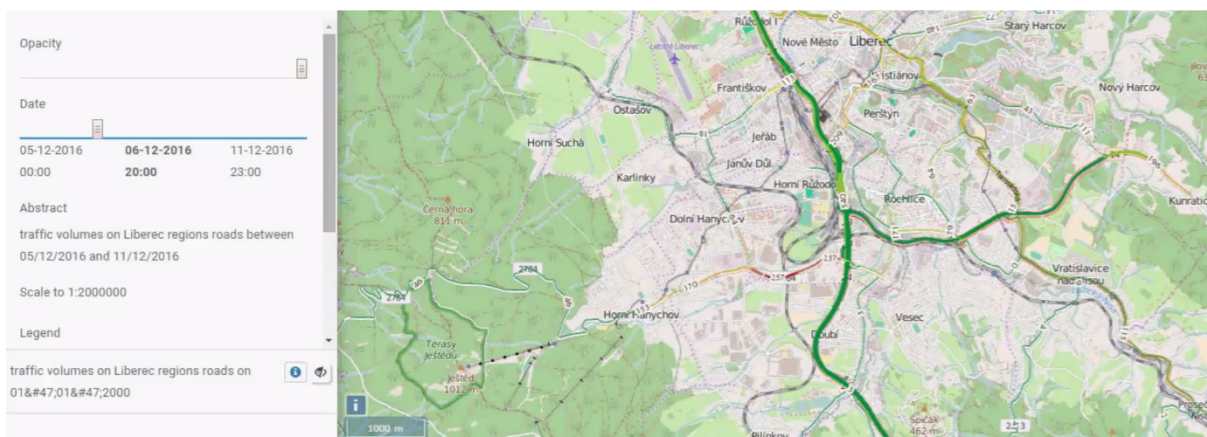


Obr. 2.5 Datová struktura OTM [15]

Data z výstupu popsáno výpočtu v podobě tabulky TrafficVolume (obr. 2.5) byla již nahrána do databáze a využita pro tvorbu vizualizace na OTM. OTM (obr. 2.6 a obr. 2.7) poskytuje uživateli pohled na silniční síť s přidanou vrstvou liniového kartodiagramu, který barevnou škálou a tloušťkou linie vyjadřuje stupeň vytížení komunikace (intenzita ku kapacitě, více v kapitole 1.3).



Obr. 2.6 Otevřená dopravní mapa nad Libercem v ranní špičce [15]



Obr. 2.7 Otevřená dopravní mapa nad Libercem ve večerních hodinách [15]

2.3 Výhody použití knihoven

Obě naprogramované knihovny tedy umožňují jednoduchý výpočet hodinových dopravních intenzit z intenzit denních. Implementace výpočtů v podobě knihovny jazyka Scala má oproti dřívějšímu řešení v desktopovém tabulkovém softwaru následující výhody:

- *Formát a struktura dat*

Formát CSV je široce rozšířen a pro jeho tvorbu není nutné vlastnit specializovaný SW. Je možné jej vytvořit v běžně dostupných textových či tabulkových SW. Jednotná struktura výstupu umožňuje data pohodlně nahrávat do databáze a propojit vypočtené hodinové intenzity s geometrií z původních souborů formátu *shapefile*.

- *Urychlení výpočtu*

Zrychlení výpočtu hodinových intenzit je dosaženo díky použití knihovny oproti tabulkovému SW, kde je třeba ručně zvolit vztahy mezi buňkami tabulek.

- *Výpočet na serveru*

Vytvoření knihovny v prostředí umožňujícím převést implementaci a výpočet na server nabízí možnost, že data nebude nutné počítat předem a ukládat do databáze. Pokud bude knihovna implementována do vizualizační techniky nad daty Otevřené dopravní mapy, bude možné hodinové intenzity vypočítat přímo při zadání dotazu.

Závěr

Cílem této práce bylo popsat existující metody výpočtu dopravní intenzity a kapacity za účelem získání stupně vytíženosti dopravní komunikace. Popsané metody byly upraveny pro potřeby projektu Otevřené dopravní mapy, který umožňuje dynamickou vizualizaci dopravního proudu v čase. Za účelem dynamické vizualizace v čase byly v rámci této práce vytvořeny dvě knihovny pro výpočet hodinových dopravních intenzit komunikace z ročních průměrných denních intenzit a variací intenzit. Byla vytvořena dokumentace knihoven, kde jsou popsány struktury vstupů pro algoritmy výpočtu. Testovací výpočty proběhly pro obě dvě knihovny. Knihovna pro výpočet hodinových intenzit matice přepravních vztahů zatím nebyla využita v praxi. Knihovna pro výpočet hodinových intenzit pro segmenty silniční sítě byla již úspěšně využita jako prostředek pro výpočet vizualizovaných dat v Otevřené dopravní mapě.

Prostor pro navazující práci představuje vyvinutí webové služby, která by eliminovala současnou nutnost psaní vlastního kódu pro použití knihoven. Taková služba by směřovala k využití dopravními inženýry při výpočtech hodinových intenzit.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Komplexní hodnocení vlivu dopravy na životní prostředí [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z:
http://www.koprivnice.cz/urad/dokumenty/hodnoceni_vlivu_dopravy_zp.pdf
- [2] LWEBUGA-MUKASA, Jamson S., et al. Association between traffic volume and health care use for asthma among residents at a US–Canadian border crossing point. *Journal of Asthma*, 2004, 41.3: 289-304.
- [3] SLABÝ, P., UHLÍK, M. *Dopravní inženýrství I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 101s. ISBN 80-01-03365-1.
- [4] SMĚLÝ, M.; SÜTÖOVÁ, E.; APELTAUER, T. Studijní opory pro předmět CM04 Dopravní inženýrství. Brno: 2007. s. 1-284.
- [5] BARTOŠ, L.; MARTOLOS, J. Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, TP 189. 2012.
- [6] ČSN 73 6100 Názvosloví silničních komunikací
- [7] ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic
- [8] HOLCNER, Petr. Modelování a simulace dopravního proudu. Brno: VUTIUM, 2012. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. Habilitační a inaugurační spisy. ISBN 978-80-214-4590-1.
- [9] LEDVINOVÁ, M. Dopravní význam a kapacita pozemních komunikací. *Perner's Contacts*, 2008, vol. 3, no. 4, s. 68 - 73. ISSN: 1801-674X.
- [10] ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací, včetně změny 1. 2010
- [11] KOLOVSKÝ, F., Výpočet kapacity komunikace – semestrální práce z předmětu *Algoritmy prostorových analýz*, Katedra geomatiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni, 2016
- [12] *Slovník dopravní terminologie*, Ministerstvo dopravy ČR, 2009, Dostupné z: *<http://www.slovnikdopravy.cz/>*
- [13] *Celostátní sčítání dopravy 2010*, Ředitelství silnic a dálnic, Dostupné z: *<http://www.scitani2010.rsd.cz/>*
- [14] JEDLIČKA, K., MILDORF, T., CHARVÁT, K., KOZHUKH, D., CHARVÁT, K., Jr, MARTOLOS, J., & ŠŤASTNÝ, J., Benefits of Using Traffic Volumes Described on Examples in the Open Transport Net Project Pilot Regions. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 2015, 7.2: 39.

- [15] Open Transport Map. [online] [cit. 2016-05-28].
Dostupné z: <http://www.opentransportmap.info/>
- [16] INSPIRE enumeration register. Funkční třída silnice [online] [cit. 2016-05-28].
Dostupné z: <http://inspire.ec.europa.eu/enumeration/FunctionalRoadClassValue>
- [17] § 2 zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích

Přílohy

Obsah přiloženého CD:

- Daniel_Beran_BP_2016.pdf
- \Dokumentace
 - Dokumentace_MatrixTransport.pdf
 - Dokumentace_RoadLinkTransport.pdf
- \Variace intenzit dopravy
 - Variace_Denni.xlsx
 - Variace_Rocni.xlsx
 - Variace_Tydenni.xlsx
- \Vstupni a vystupni data
 - ODMatrix.csv
 - ODMatrixHours.csv
 - RoadLink_Birmingham.csv
 - TrafficVolume.csv
 - Var_Volume.csv
- \Zdrojove kody
 - MatrixTrasnport.scala
 - RoadLinkTransport.scala