

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky



Bc. Markéta PAPAČOVÁ

**Vliv polohy zastávek regionální
autobusové dopravy ve městě Olomouci
na vazbu s MHD**

Diplomová práce

Olomouc 2012

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem magisterskou práci magisterského studia oboru Geoinformatika vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Pavla Tučka, Ph.D. Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví. Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 16. dubna 2012

podpis

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Pavlu Tučkovi, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji Mgr. Janu Cahovi za jeho cenné rady, připomínky a pomoc s typografickým softwarem TeX. Za poskytnutá data děkuji firmě KPM Consult, a.s.

Obsah

Úvod	1
1 Cíle práce	2
2 Použité metody a software	3
2.1 Použitá data	3
2.1.1 Tabelární data	3
2.1.2 Grafická data	3
2.2 Použité statistické metody	4
2.2.1 Histogram	4
2.2.2 Box plot (Krabicový graf)	5
2.2.3 Shapiro-Wilkův test	5
2.2.4 Kruskal-Wallisův test	6
2.2.5 F-rozdělení	6
2.2.6 F-test	7
2.2.7 Dvouvýběrový t-test	7
2.2.8 Fraktály	8
2.3 Použité programy	9
3 Současný stav zkoumání vlivu mezi veřejnou linkovou dopravou a městskou veřejnou dopravou	10
3.1 Sledování časové dostupnosti v kombinaci autobusové dopravy a pěší chůze	10
3.2 Synchronizace regionální dopravy a vytvoření optimálního jízdního řádu .	11
3.3 Implementace fuzzy logiky v dopravních systémech	12
3.4 Využití Chí kvadrát testů na příkladech experimentálních dat s využitím Geostatistical Analyst v softwaru ArcMap	13
3.5 Fraktální struktura systému veřejné dopravy v Soulu	13
4 Základní pojmy související s přepravou osob	15
4.1 Rozlišení veřejné dopravy podle obslužnosti	15

4.1.1	Dálková doprava	16
4.1.2	Regionální doprava	16
4.1.3	Městská doprava	16
4.2	Rozlišení veřejné hromadné dopravy podle typu dopravního prostředku .	17
4.2.1	Drážní doprava	17
4.2.2	Silniční doprava	18
4.2.3	Letecká doprava	19
4.2.4	Vodní doprava	19
4.3	Izostanty	19
4.4	Izochrony	19
4.5	Dopravní telematika	20
4.6	Ostatní pojmy používané v průběhu práce	21
5	Sběr dat	23
5.1	Zpravodajský průzkum	23
5.2	Metodika výběru hlavních přestupních uzlů	23
5.3	Hlavní průzkum dopravy	25
6	Zpracování datového souboru	27
6.1	Interakce mezi různými druhy dopravy na území zóny 71	28
6.2	Zastávky VLD v zóně 71	32
6.3	Pokrytí zóny 71	33
6.3.1	Proložení zóny pravidelnou sítí	34
6.3.2	Poměr pokrytí hlavních a vedlejších komunikací	35
6.3.3	Pokrytí zóny 71 z pohledu fraktální dimenze	38
6.4	Vliv časových spojů VLD a MHD na využívání křížových jízdních dokladů v místech s podobným trasováním linek	38
6.5	Časová dostupnost MHD z hlavních přestupních míst ve městě Olomouci	43
7	Výsledky	45

8	Diskuze	47
9	Závěr	49
	Literatura	51
	Summary	53
	Přílohy	56

Úvod

Autobusových dopravců existuje v České Republice mnoho. V rámci některých měst se dokonce vyskytuje více dopravců najednou a ve městech si tak vzájemně konkurují v přepravě osob. V poslední době je trendem vytvářet integrované dopravní systémy nejen v rámci krajů, ale i mezi nimi. Tyto systémy mají nespornou výhodu v tom, že na sebe jednotlivé druhy dopravy navazují a v některých místech je dokonce možné využívat jízdní doklad jednoho dopravce v autobusech jiného dopravce. To je případ i města Olomouce.

V současné době však existuje jen velmi málo studií, které se zabývají vzájemným vlivem těchto dopravců na chování a preference cestujících. Firma KPM Consult, a.s., která zaštitila sběr dat použitých v této práci, již dělá podobnou studii pro města Přerov, Prostějov a Třebíč. Jde však o daleko menší města než je město Olomouc. Zároveň mají tato města jednodušší strukturu jak městské hromadné dopravy, tak veřejné linkové dopravy. Navíc v žádném z těchto měst není možné cestovat po stejném území, které pokrývá městská hromadná doprava i železniční dopravou. Sběr dat byl tedy velmi složitý a náročný zejména na počet osob, které sčítání prováděli. Vzhledem k tomu, že byl tento sběr zprostředkován soukromou firmou a data jsou tedy v jejím vlastnictví, nebylo možné k práci přiložit originál těchto dat. K dispozici jsou tedy pouze dílčí výsledky v tabulkových formách, které byly z těchto dat vyexportovány.

V průběhu práce bude sledováno vzájemné působení veřejné linkové dopravy a městské hromadné dopravy v zóně 71 ve městě Olomouci. Tento vliv byl posuzován zejména z hlediska časového a prostorového a to pomocí různých početních a grafických metod. Vzájemné působení pak bylo porovnáváno pomocí podílu přepravených cestujících a složitosti sítí obou poskytovatelů hromadné přepravy osob v zóně 71 ve městě Olomouci.

1 Cíle práce

Cílem magisterské práce je sepsat rešerši na téma vliv hromadné přepravy osob z různých hledisek a pomocí různých metod řešení. Dále budou vysvětleny základní pojmy související s dopravou, jako je rozlišení dálkové, regionální a městské autobusové přepravy osob. Bude vymezen pojem hromadná přeprava osob a rozlišena železniční a autobusová hromadná přeprava osob. Další pojmy související s přepravou osob jako jsou izostanty a izochrony, budou také vysvětleny v průběhu práce.

Stěžejní kapitola pak bude věnována přestupním vazbám uvnitř systému městské hromadné dopravy města Olomouce. V tomto směru budou sledovány interakce mezi městskou hromadnou dopravou, veřejnou linkovou dopravou a železniční dopravou na území zóny 71. U městské hromadné dopravy a veřejné linkové dopravy pak bude sledováno rozmístění a počty zastávek uvnitř zóny 71. V rámci přestupních vazeb bude sledován vliv poloh a časových spojů veřejné linkové dopravy a městské hromadné dopravy v úsecích se stejným nebo podobným trasováním na jejich využívání cestujícími s důrazem na využívání křížových jízdních dokladů.

Dalším cílem je pak zjištění pokrytí zóny 71 městskou hromadnou dopravou i veřejnou linkovou dopravou a jejich vzájemné porovnání.

V rámci grafických výstupů pak bude vytvořena mapa, v níž budou vyznačeny doby dostupnosti ze stěžejních přestupních míst z veřejné linkové dopravy nebo s vhodným přestupem na městskou hromadnou dopravu.

2 Použité metody a software

2.1 Použitá data

2.1.1 Tabelární data

Data použitá v diplomové práci byla získána firmou KMP Consult, a.s, která je pořízovala pro krajský úřad města Olomouce. Primárně byla data sbírána, aby bylo možné mezi jednotlivé dopravce působící na území města Olomouce spravedlivě rozděleny dotace. Tyto dotace jsou rozdělovány na základě počtu přepravených osob. Jelikož však ve městě Olomouci existuje integrovaný dopravní systém, je možné na cestovní doklad jednoho autobusového dopravce cestovat s jiným poskytovatelem služeb hromadné dopravy ve městě Olomouci a jeho přilehlém okolí. Nebylo tedy možné tato data získat jiným způsobem než uskutečněním sběru dat v terénu, které probíhalo v týdnu od 17. do 23. 10 2011. Toto sčítání, a vše co s ním souviselo, bude popsáno dále v 5. kapitole, Sběr dat. Z tohoto dopravního průzkumu pak byla získána data o počtech nastupujících a vystupujících cestujících na jednotlivých zastávkách, pro jednotlivé dny, linky a jejich konkrétní spoje. Dále pak byl zjišťován cestovní doklad, který cestující využili, délka trasy, kterou absolvovali a jejich případný přestup na MHD. Všechna tato data byla pořizována v analogové formě a následně převáděná do digitální formy v podobě tabulek.

2.1.2 Grafická data

Základem grafických dat byla základní schémata linek městské hromadné dopravy, veřejné linkové dopravy a zastávky na území města Olomouce. Tato data poskytla pro účely diplomové práce katedra geoinformatiky v Olomouci. Jelikož tato data nebyla kompletní, byly upraveny a digitalizovány chybějící údaje. Autobusové zastávky byly dodigitalizovány nad ortofotomapou v měřítku 1 : 500, trasy jednotlivých autobusových linek pak v měřítku 1 : 1000.

V poskytnutém datasetu však chyběly z větší části autobusové trasy veřejné linkové dopravy v zóně 71 a mimo zónu už tato data k dispozici nebyla vůbec. Bylo tedy využito slovního popisu jednotlivých linek veřejné dopravy, které obsluhují zastávky na území města Olomouce a jeho přilehlého okolí. Tento popis byl poskytnut firmou Veolia Transport, a.s a na jeho základě pak byly jednotlivé linky rovněž digitalizovány nad ortofotomapou v měřítku 1 : 1000.

Hranice zóny 71, tedy zóny, do které spadá město Olomouc, byla získána rovněž digitalizací. Tato digitalizace proběhla nad rektifikovaným schématem zón pro celý Olomoucký

kraj a byla provedena v měřítku 1 : 10000.

2.2 Použité statistické metody

Níže jsou popsány složitější statistické metody, které byly použity pro zpracování datového souboru. Kromě těchto metod byly použity také základní statistické výpočty, *např.* součty, průměry a podíly, které jsou však známe a není třeba je detailněji popisovat.

2.2.1 Histogram

Většina statistických hypotéz je založena na předpokladu, že data pocházejí z normálního rozdělení. Bohužel však ve většině případů není podmínka o normalitě splněna. V mnoha případech je to způsobeno nedostatkem dat v datovém souboru. Pokud nepochází data z normálního rozdělení, je třeba použít jiných testů případně zavádět speciální parametry do daných testů.

Histogram je jednou z nejznámějších metod grafického ověřování normality dat. Lze z něj také snadno vyčíst rozložení a odchylky v datech. Histogram je ve své podstatě obrys sloupcového grafu, v němž jsou na ose x jednotlivé třídy, definující šířky sloupců a výšky sloupců odpovídají empirickým hustotám pravděpodobností, případně četnosti výskytu jednotlivých tříd (Meloun, 2004).

Pro sestavení histogramu je třeba určit nejprve rozpětím histogramu, která je dána rozdílem maximální a minimální hodnoty v datech. Dále jsou data rozdělena do tříd. Počet tříd závisí na obsáhlosti souboru (Tošenovský a Dudek, 2001):

- pro $n > 100$ $k = 10 \log(n)$
- pro $40 < n < 100$ $k = 2\sqrt{(n)}$
- pro $n < 40$ $k = 1 + 1,4426 \ln(n)$

Jakmile je znám počet tříd, lze vypočítat šířku intervalu, která je dána podílem rozpětí histogramu a počtem tříd.

Pokud mají data normální rozdělení, má histogram zvonovitý tvar, který kopíruje Gaussovu křivku.

2.2.2 Box plot (Krabicový graf)

Další z možností určení normality dat pomocí grafu je box plot. Na první pohled vidíme obdélník, který obsahuje většinu dat, stejně jakou outliers, neboli odlehlé hodnoty, k jejichž identifikaci je box plot velmi vhodný. Box plot může být vykreslován vertikálně i horizontálně.

Uvnitř obdélníku se nachází 50 % všech dat. Dolní hranice značí 25. percentil a horní hranice 75. percentil. To znamená, že 25, případně 75 % dat je nižších než hodnoty těchto kvartilů. Čára uvnitř pak značí x_{50} neboli medián datového souboru. Pokud obsahuje datový soubor extrémní hodnoty, pak se nacházejí za vousy v podobě prázdných koleček či hvězdiček.

Pro sestavení je třeba nejprve spočítat kvartily x_{25} a x_{75} a medián x_{50} . Na základě kvartilů lze pak vypočítat délku obdélníku a to pomocí jejich rozdílů $R = x_{75} - x_{25}$. Posledním krokem je určení tzv. koncových vousů (Tošenovský a Dudek, 2001). Jejich velikost určíme pomocí vztahů:

$$A = x_{25} - 1,5R \quad (1)$$

$$B = x_{75} + 1,5R \quad (2)$$

Data pocházejí z normálního rozdělení, pokud je box plot symetrický a splňuje tedy podmínku $B - A = 4.2$. Pravděpodobnost, že data leží mimo tento interval je tedy rovna $p_i = 0,04$ (Meloun, 2004).

2.2.3 Shapiro-Wilkův test

Pro ověření normality existuje nespočet početních možností. Jednou z nich je neparametrický Shapiro-Wilkův test. Testována je nulová hypotéza H_0 , že výběr x_1, \dots, x_n pochází z normálního rozdělení (Shapiro a Wilk, 1965).

Výpočet testovací statistiky W se provede pomocí vztahu:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

kde x_i označuje pořadovou statistiku a a_i jsou pak váhy určené vztahem:

$$(a_i, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m^T)^{1/2}} \quad (4)$$

Hodnotu m pak získáme ze vztahu:

$$m = (m_1, \dots, m_n)^T \quad (5)$$

Kde m_1, \dots, m_n jsou očekávané hodnoty pořadových statistik náhodného výběru s normálním rozdělením $N(0, 1)$, který má rozsah n . V je pak kovarianční matice těchto hodnot.

Zjednodušeněji lze říct, že se spočítají difference mezi jednotlivými pozorováními a seřadíme jejich absolutní hodnoty od největší po nejmenší. Poté se sečte pořadí kladných a záporných rozdílů. Pokud jsou kladné či záporné rozdíly menší než tabelární hodnota, zamítáme nulovou hypotézu H_0 .

2.2.4 Kruskal-Wallisův test

Kruskal-Wallisův test slouží pro určení nezávislosti jevů z jednoho výběru. Testována je tedy hypotéza H_0 , že jsou jevy na sobě nezávislé. Je jednou z mnoha variací statistické metody ANOVA, s tím rozdílem, že jsou data nahrazena jejich pořadím.

Testovací statistika má tvar:

$$KW = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k k \frac{T_i^2}{n_i} - 3(n+1), \quad (6)$$

kde $n = n_1 + \dots + n_k$, tedy součet všech pozorování a T je suma hodnot v řádku. Tento test má χ^2 rozdělení o $k - 1$ stupňů volnosti (Anděl, 1978).

2.2.5 F-rozdělení

Nechť $X \sim \chi_m^2$, $Y \sim \chi_n^2$ a necht' X a Y jsou nezávislé. Pak náhodná veličina

$$Z = \frac{\frac{1}{m}X}{\frac{1}{n}Y} \quad (7)$$

má Fisherovo-Snedecorovo rozdělení $F_{m,n}$ o m a n stupních volnosti.

F rozdělení má četné aplikace. Jednou z nich je ověřování hypotézy, že rozptyly dvou rozdělení jsou stejné, což se provádí pomocí F-testu.

2.2.6 F-test

Nechť X_1, \dots, X_n je náhodný výběr z $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ a Y_1, \dots, Y_m výběr z $N(\mu_2, \sigma_2^2)$. Nechť tyto dva výběry jsou na sobě nezávislé. Předpokládejme, že $n \geq 2$, $m \geq 2$, $\sigma_1^2 > 0$, $\sigma_2^2 > 0$. Označme $S_X^2 = (n-1)^{-1} \sum (X_i - \bar{X})^2$ a $S_Y^2 = (m-1)^{-1} \sum (Y_i - \bar{Y})^2$. Platí-li $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ pak náhodná veličina

$$Z = \frac{S_X^2}{S_Y^2} \quad (8)$$

má rozdělení $F_{n-1, m-1}$ (Anděl, 1978).

Pro zjednodušení lze říct, že testujeme, zda se rozptýly od sebe liší či nikoliv. Nulová hypotéza H_0 je tedy položena $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$. Spočteme si tedy výběrové variance a ptáme se, jaká je pravděpodobnost, že jsou výběrové variance stejné. Pokud je pravděpodobnost malá, zamítáme nulovou hypotézu H_0 . Pokud je pravděpodobnost větší, nemáme dostatek důkazů, abychom nulovou hypotézu zamítli. K zjištění této pravděpodobnosti slouží právě zmíněný F-test. Jeho hodnotu spočteme jako poměr větší variance k menší. Je-li tedy $S_1^2 > S_2^2$, potom

$$F = S_1^2 / S_2^2 > S_2^2 \quad (9)$$

2.2.7 Dvouvýběrový t-test

Nechť X_1, \dots, X_n je výběr z $N(\mu_1, \sigma^2)$ a Y_1, \dots, Y_m výběr z $N(\mu_2, \sigma^2)$. Nechť tyto dva výběry jsou na sobě nezávislé. Předpokládejme, že $n \geq 2$, $m \geq 2$, $\sigma^2 > 0$. Označme $\bar{X}, S_X^2, \bar{Y}, S_Y^2$ charakteristiky těchto výběrů. Pak náhodná veličina

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y} - (\mu_1 - \mu_2)}{[(n-1)S_X^2 + (m-1)S_Y^2]^{1/2}} \left[\frac{nm(n+m-2)}{n+m} \right]^{1/2} \quad (10)$$

má rozdělení t_{n+m-2} (Anděl, 1978).

Řekněme, že máme výběr X_1, \dots, X_n z $N(\mu_1, \sigma^2)$ a na něm nezávislý výběr Y_1, \dots, Y_m z $N(\mu_2, \sigma^2)$, kde σ^2 neznáme. Chceme testovat hypotézu $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = \Delta$ proti $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta$, kde Δ je dané číslo (nejčastěji bývá $\Delta = 0$). Vypočte se

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y} - \Delta}{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2 + \sum_{j=1}^m Y_j^2 - m\bar{Y}^2]^{1/2}} \left[\frac{nm(n+m-2)}{n+m} \right]^{1/2}. \quad (11)$$

Jestliže $|T| \geq t_{n+m-2}(\alpha)$, zamítáme H_0 na hladině významnosti α ; v opačném případě ji nezamítáme (Anděl, 1978).

Dvouvýběrový t-test používáme v případech, kdy se např. na pacientech zkouší působení léku A a na jiných m pacientech léku B . Účelem experimentu je zjistit, zda působení obou léků je stejné.

2.2.8 Fraktály

Fraktál je ve své podstatě objekt, jehož geometrická struktura se opakuje v něm samém. Je možné je zkonstruovat pomocí afinních transformací, jejichž opakováním se začne vynořovat fraktální struktura. Tyto objekty pak můžeme dělit na soběpodobné a obecné (Ivan, 2011).

Pro popis většiny tvarů stačí topologická dimenze 0, 1, 2 nebo 3. Fraktály jsou však zvláštní objekty, které neleze popsat pomocí topologické dimenze. Je tedy třeba neceločíselná fraktální dimenze. Tato dimenze je nazývána Hausdorffova-Besicovicova dimenze nebo také kolmogorova dimenze. Hodnota této dimenze udává úroveň členitosti daného objektu, případně s jakou rychlostí délka těchto útvarů roste do nekonečna. Pokud se fraktální dimenze liší od topologické jen velmi málo, je objekt méně členitý. Jestliže však fraktální dimenze ostře větší než topologická, je objekt velmi členitý (Zelinka, 2006).

Fraktální dimenze je vyjádřena vztahem:

$$d_k = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(\frac{1}{\varepsilon})} \quad (12)$$

Kde $N(\varepsilon)$ je minimální počet elementárních útvarů potřebných k pokrytí uvažované množiny.

U soběpodobných fraktálů lze použít vztah

$$D = \frac{\log N}{\log(\frac{1}{\varepsilon})} \quad (13)$$

Kde N je faktor změny délky a $\frac{1}{\varepsilon}$ je faktor změny měřítka.

Jeden z nejpoužívanějších algoritmů, které používají různé softwary pro výpočet fraktální dimenze je tzv. box-counting algoritmus. Nabízí systematické měření, které je aplikovatelné na všechny struktury v plánu a může být použito pro struktury v prostoru.

Struktura, u které chceme zjistit fraktální dimenzi, se proloží pravidelnou sítí o velikosti s . Počet čtverců sítě označíme N . Vzhledem k tomu, že počet čtverců N závisí na měřítku sítě s , označujeme počet čtverců $N(s)$. V dalším kroku se zmenší měřítko s a opět se určí počet čtverců $N(s)$. V posledním kroku, se vykreslí $\log(1/s)$ na osu x

a $\log(N(s))$ na osu y . Vykreslené body se proloží linií, jejíž sklon určuje box-counting dimenzi D (Peitgen et al., 1992).

2.3 Použité programy

Pro zpracování datových souborů, výpočty a vizualizace bylo použito různých softwarů. Pro zpracování dat a výpočty bylo použito softwaru MS Excel a R-project. Fraktální dimenze byla počítána pomocí softwaru Fractalyse. Pro grafické vizualizace datových souborů a analýz bylo použito softwaru ArcGIS a některé úpravy byly prováděny pomocí programu Corel DraxX5. Celá práce pak byla sepsána v typografickém softwaru TeX.

3 Současný stav zkoumání vlivu mezi veřejnou linkovou dopravou a městskou veřejnou dopravou

Existuje mnoho studií a výzkumů, které se zabývají dopravou ve městech. Hlavním zájmem studií je optimalizace sítě autobusové dopravy v rámci velkých měst. Nebo-li optimální rozvržení sítě tak, aby byly obsluhovány všechny části města v pravidelných intervalech, podle poptávky po veřejné dopravě. Tyto studie pak aplikovaly na sledování dopravních sítí různé metody. Například lze vyjmenovat aplikaci fraktálů, fuzzy logiky, celulárních automatů, či neuronových sítí. Většina studií se však věnovala zejména městské hromadné dopravě, případně automobilové dopravě. V rámci automobilové dopravy pak byla sledována kritická místa, kde docházelo k zácpám, a byla náchylná k různým kolizím. Mnoho z těchto studií vzniklo a bylo zpracováno v rámci univerzitních projektů studenty. Odborníky byly zpracovávány především studie, které řešily rozdělení finančních prostředků mezi různé systémy přepravních možností ve větších městech.

Ačkoliv se nikde nevyskytují studie, které by se věnovaly přímo vlivu polohy zastávek veřejné linkové dopravy (VLD) na vazbu s městskou hromadnou dopravou (MHD), existuje spousta studií, které sledují tyto dvě možnosti autobusové dopravy odděleně a jejich vliv na používání jiného způsobu dopravy, nejčastěji pěší chůze nebo automobilové dopravy. Některé metody, kterými byly zpracované tyto studie, by mohly být teoreticky využity i při zkoumání vlivů mezi veřejnou linkovou dopravou a městskou hromadnou dopravou.

3.1 Sledování časové dostupnosti v kombinaci autobusové dopravy a pěší chůze

Vzhledem k tomu, že byly všechny studie prováděny na velkoměstech, bylo sledováno velké množství dopravních prostředků a možností. Velmi často šlo o interakce mezi automobilovou dopravou, hromadnou autobusovou či železniční přepravou osob a pěší chůzí. Příkladem lze uvést studii provedenou na Novém Zélandu v Aucklandské univerzitě (Mavoa et al., 2011). Cílem této studie bylo zjištění kolik obyvatel má možnost potenciálního přístupu k danému cíli pomocí veřejné autobusové dopravy a pěší chůze. Účelem této studie je snaha o snížení potřeby vlastnit automobil a zajištění určitého komfortu domácnostem bez automobilového vozidla. Je sledováno několik faktorů, které jsou pak zohledněny ve výsledném modelu pro míru přístupovosti. Mezi tyto faktory patří dostupnost zastávek hromadné dopravy, doba cesty veřejné dopravy a dostupnost cíle pomocí hromadné dopravy. Pro modelování dostupnosti zastávek se používá buffer, kdy se před-

pokládá, že lidé jsou ochotní dojít na zastávku 400 až 800 m. Průměrná vzdálenost ochoty lidí dojít z domova na autobusovou zastávku a dojít ze zastávky na které vystoupili ke svému cíli cesty je odlišná. Na autobusovou zastávku jsou lidé z domova ochotní dojít 600 m, avšak ze zastávky k cíli cesty jsou ochotní dojít už jen 470 m. Čas strávený v autobuse bývá realizován pomocí nástroje GIS. Do výpočtu jsou zahrnuty i zdržení při dopravních špičkách a zdržení na semaforech. Většina nejnovějších modelů pak kombinuje vzdálenost a cestovní čas pro jeden nebo více druhů dopravy. Jednou z možností je GISově založený *Land Use and Public Transport Accessibility Index* (LUPTAI). Další možností je využití přístupových rejstříků, ale u těch jsou výsledky na rozdíl od LUPTAI přiřazeny mřížkovým buňkám. Tudíž není jejich výsledek zcela přesný, ale spíše orientační. Studie byla zpracována na Aucklandském regionu a pátý den v týdnu. Byla sledována tranzitní doba mezi každým zastavením na zastávce. Po každé když bylo třeba změnit způsob dopravy, bylo připočteno 10 minut jako čekací doba. Pomocí indexu pak byla zjištěna místa s vysokou tranzitní dostupností a naopak místa s nízkou tranzitní dostupností. Studií bylo zjištěno, že ačkoliv 94,4 % obyvatel Aucklandu má středně vysoké zajištění veřejnou dopravou a pěším přístupem, 26,5 % městského obyvatelstva má průměrnou frekvenci příjezdu městského autobusu dvakrát za hodinu a jen 5 % obyvatelstva má frekvenci dopravy jen jeden autobus za hodinu.

Z této studie je možné se poučit a vzít v úvahu možnost výpočtu pro časovou dostupnost zastávek, které je možno vzít v úvahu u hlavních přestupových míst z veřejné autobusové dopravy ve městě Olomouci.

3.2 Synchronizace regionální dopravy a vytvoření optimálního jízdního řádu

Další příkladovou studií je *Regional Bus Timetabling Model with Synchronization* byla provedena v Číně (Liu et al., 2007). V rámci této studie je navržen a vyzkoušen algoritmus, který umožní plánování jízdního řádu tak, aby byly linky mezi sebou vzájemně synchronizovány, navazovaly na sebe a jejich využívání bylo co nejvíce efektivní. Vše je řešeno pomocí regionálního operačního modelu. Tento model je plánovacím nástrojem, který umožňuje dynamicky znovu zapojit vozidla i posádku z několika autobusových linek a je založen na prostorově - časové nerovnováze maxima cestujících naložených na různých profilech a různých trasách během dopravních špiček. Cílem této plánovací metody je dobré hospodaření s lidskými, materiálními a finančními zdroji, zvýšení vozové efektivity a synchronizovat autobusové linky. Jelikož je tradiční doprava velice složitý a komplexní systém, je třeba tuto metodu rozdělit na několik částí. Mezi tyto části patří dopravní síť, jízdní řád, plánování vozů a plánování posádky, kdy výsledek předchozího

kroku je zároveň vstupem do následujícího kroku. Autobusový jízdní řád je pak základem pro celé plánování a je to jeden z prvních a základních úkolů všech autobusových společností. Jednou z největších zvláštností regionálního plánování je uvážení přestupních výhod pro pasažéry a generování jízdních řádů s minimální dobou čekání pasažérů v přestupních zastávkách. Algoritmus pro snížení doby čekání na přestup je již vytvořen, nicméně je příliš zjednodušen, aby mohl být použit k regionálnímu plánování v autobusové dopravě. Je těžké stanovit přesné kvantifikované vztahy u pravidelnosti veřejné dopravy, jelikož jsou všechny dostupné údaje velmi stochastické. Je tedy několik základních hypotéz, od kterých se pak odvíjí celý algoritmus. Mezi tyto hypotézy patří:

- každý cestující čekající na zastávce jede autobusem pouze v jednom směru
- autobus jede na stejné trase v přesných sekvencích
- vzor jízdy je pro všechny autobusy absolutně globální
- žádný pasažér nepřestupuje mezi začátkem a koncem každé trasy
- frekvence odjezdů není závislá na požadavcích trasy
- příjíždějící časy všech autobusů jsou přesné i se zvážením rozsahu chyb

Koeficient synchronizace je definován jako počet cest, kde příjíždějí vozy současně na spojující autobusovou zastávku k počtu všech cest procházejících stejnou zastávkou. Všechny hodnoty jsou zaznamenávány do tabulky tak, aby bylo na první pohled patrné, které interakce už byly provedeny. Na základě synchronizačního koeficientu se pak hledá optimální řešení jízdního řádu.

Tato studie ukazuje, jak navrhnout optimální jízdní řád. Ve studii je zpracováván pouze jeden systém dopravy. Algoritmus však vypadá natolik robustně, že by neměl být problém jej aplikovat i na více systémů dopravy, provozovaných různými dopravci. Vzhledem k tomu, že v Olomouci funguje doprava na principu integrovaného dopravního systému, měla by být snaha o provázanost mezi jednotlivými složkami tohoto systému co největší. Tato studie a algoritmus v ní popsany by tak mohl být nápomocen k optimalizaci synchronizaci systému hromadné přepravy osob fungující v rámci města Olomouce.

3.3 Implementace fuzzy logiky v dopravních systémech

Implementaci fuzzy logiky do dopravy je možné sledovat na studii *Bilevel fuzzy optimization to pre-process traffic data to satisfy the law of flow conservation* ze španělské Andalusie (de Oña et al., 2011). Tato studie vychází z faktu, že objem dopravy se měří

několika způsoby a každý ze způsobů vnáší do výpočtu určitou chybu. Pomocí fuzzy logiky se pak přiřadí datům, podle způsobu jejich sběru, stupeň příslušnosti, který určí, jak moc jsou tato data náchylná k chybám. Algoritmus použitý v této studii je použit na dopravních datech, kde je nutné dodržet zákon zachování toku. V příkladové části je pak algoritmus založen na fuzzy logice aplikován na dálniční síť v jihošpanělské Andalusii, kde jsou umístěny permanentní sčítače dopravy. Vzhledem k tomu, že jde o data o objemu dopravy z křižovatek, je nutné, aby zde byla zachována pravidla zachování toku dopravy.

I tato studie přináší určitý pohled na práci s dopravními daty. Mohla by být aplikována nejen na objem dopravy, jakožto počet automobilů, ale také na počet cestujících využívajících dopravu. Jelikož však data pro tuto práci pocházejí z jednoho zdroje, je předpokladem, že jsou všechna zatížená zhruba stejnou chybou. K jedné datové sadě tak nemá význam stanovovat funkci příslušnosti.

3.4 Využití Chí kvadrát testů na příkladech experimentálních dat s využitím Geostatistical Analyst v softwaru ArcMap

Bakalářská práce zpracovaná na dopravních datech posbíraných na území města Přerova. V rámci práce bylo počítáno s městskou hromadnou dopravou i s veřejnou linkovou dopravou. Byla zkoumána závislost počtů cestujících na denních dobách, případně na daných zastávkách. Výsledky z tohoto zpracování pak dále využívala firma KPM Consult, která figuruje ve sběru dat i pro tuto práci. Data pak byla využita pro určení rozdělení tržeb mezi jednotlivými dopravci ve městě Přerově (Papaková, 2010).

Tato diplomová práce v mnohém navazuje na bakalářskou práci a využívá některé postupy pro základní statistické analýzy datového souboru.

3.5 Fraktální struktura systému veřejné dopravy v Soulu

Studie, která se zabývala fraktální strukturou systému veřejné dopravy v Soulu, byla uskutečněna v roce 2003. V rámci výpočtů byla zjišťována fraktální dimenze metra a železničních tratí a byla porovnávána v čase. Dále byla zvláště zkoumaná fraktální dimenze sítí a fraktální dimenze stanic. Výsledkem studie bylo zjištění, že fraktální dimenze D stanic je větší než u sítí, což indikovalo zmenšujících se vzdálenosti stanic ve směru do centra. Dalším závěrem bylo, že zvětšování sítí v průběhu času zvyšuje fraktální dimenzi D linek (Kim et al., 2003).

Výpočtu fraktálních dimenzí lze využít také pro porovnání pokrytí zóny pomocí složitosti sítí jednotlivými možnostmi dopravy.

4 Základní pojmy související s přepravou osob

Aby bylo možné pokračovat v dopravní analýze a posouzení vlivu polohy zastávek veřejné linkové dopravy na vazby s městskou hromadnou dopravou je třeba nejprve vysvětlit základní pojmy týkající se veřejné linkové dopravy. V rámci této kapitoly budou rozlišeny typy dopravy podle prostředku či podle přepravované vzdálenosti a vysvětleny základní pojmy související s časovou dostupností. Dále bude vysvětlen a objasněn pojem telematika, což je soubor prostředků, které slouží ke zlepšení a zkvalitnění dopravních služeb.

Veřejná doprava, je přístupná každému zájemci. Je zprostředkovávána na různě velkých územích různými dopravními prostředky, ale musí být provozována za předem určených a vyhlášených přepravních a tarifních podmínek. Opakem veřejné dopravy je pak například doprava osobního, či zájezdového charakteru.

Pojem veřejná hromadná doprava pak zdůrazňuje, že je v rámci tohoto systému převáženo větší množství osob. V některých rozvojových zemích stále ještě funguje doprava na bázi potahových vozidel. V těchto vozech však není možné přepravovat větší množství osob, a proto ji neřadíme mezi hromadnou dopravu. Ve vyspělých zemích funguje tento způsob dopravy už pouze jako turistická atrakce.

Veřejná doprava se v ČR začala formovat až v polovině 19. století a to zejména se vznikem železnic (Mykl, 2006). Autobusová doprava se začala rozvíjet až na počátku 20. století. Postupně se začaly dopravní systémy slučovat a vyvíjet. Na našem území nastavil jasná pravidla veřejné dopravy komunistický režim. Železniční doprava byla sjednocena pod ČSD a autobusová doprava pak pod ČSAD. Městská doprava byla svěřena pod hlavičku jednotlivých obcí. Až v 90. letech pak byly podniky ČSAD privatizovány a začalo vznikat mnoho samostatných autobusových dopravců. ČD byly odstátněny v roce 2003. V městské dopravě zůstala situace neměnná. Ta stále spadá pod správu měst a obcí.

4.1 Rozlišení veřejné dopravy podle obslužnosti

Veřejnou osobní dopravu lze dělit podle několika různých faktorů. Jedním z možných způsobů dělení je podle dosahu obslužnosti dopravními prostředky. Podle základních kategorií se doprava dělí na dálkovou, regionální a městskou.

4.1.1 Dálková doprava

Dálkovou veřejnou autobusovou dopravu lze také jinak nazvat meziměstská doprava. Na dálkové dopravě jsou linky, které obsluhují obce a města, která jsou od sebe vzdálená 150 km a více. Nejsou obsluhovány všechny obce na trase autobusu. Většinou jde o větší města případně významné dopravní uzly.

Na těchto trasách jezdí speciální autobusy, které jsou od r. 2002 povinně vybaveny bezpečnostními pásy. V těchto dálkových linkách navíc není povoleno stání cestujících ve voze a maximální počet cestujících je tedy roven počtu sedadel ve vozidle. Tento počet se může lišit dle typu autobusu, jakým je například klasický dvanácti metrový či třípatrový patnácti metrový autobus. Autobusy jsou také přizpůsobeny vyšším rychlostem, aby velkou vzdálenost urazily v pokud možno nejkratším čase.

4.1.2 Regionální doprava

Regionální doprava je podle znárodnovacího zákona 311/1948 Sb. nazývána příměstskou dopravou. Jde však o dva totožné pojmy. Regionální doprava pak obsluhuje obce v blízkosti velkých měst a venkovská sídla na úrovni okresů.

V České republice je regionální doprava poskytována převážně autobusy. Jen malou část obstarávají železniční tratě. Jedním z nejznámějších poskytovatelů regionální autobusové dopravy jsou dopravci Veolia Transport, a.s a First Transport Lines, a.s.

4.1.3 Městská doprava

Městská hromadná doprava je činnost dopravce spočívající v pravidelné přepravě osob, ručních zavazadel, spoluzavazadel a živých zvířat pro zajištění obecných přepravních potřeb na území města, případně jeho příměstských oblastí (Vyhláška č.175/2000 Sb.). Městská doprava je složitý a komplexní systém, který zajišťuje dopravní obsluhu uvnitř města.

Městská hromadná doprava může být poskytována různými formami dopravy. Patří mezi ně autobusová, tramvajová, trolejbusová, podzemní, ale také vlaková doprava. Ve větších městech s možností velkých splavných řek pak můžeme najít i přívozy či jiné formy vodní dopravy. Druhy dopravy podle přepravního prostředku budou zmíněny v následující podkapitole.

Pro městskou hromadnou dopravu jsou pak určeny speciální vozy, které pojmu velké množství cestujících. Vzhledem k šetření životního prostředí je snaha o pokud možno co největší zapojení tramvajové, vlakové a podzemní dopravy.

Velkou výhodou městské hromadné dopravy je schopnost přepravit velké množství cestujících, šetrnost k životnímu prostředí a menší zatížení hlukem. Pokud bereme v úvahu tramvajovou dopravu je pak další výhodou nenáchylnost k dopravním zácpám. Ani to však nedělá tento způsob dopravy rychlejším. Vzhledem ke snaze o co největší dostupnost míst pomocí MHD bývají od sebe zastávky velmi blízko. Přepravní prostředek pak zastavuje na všech zastávkách, což výrazně prodlužuje dobu jízdy. A proto je i ve velkých městech stále ještě nejčastějším dopravním prostředkem automobil.

Při optimalizaci veřejné dopravy ve městech je vhodné umísťovat stěžejní uzly městské dopravy v blízkosti významných přestupních bodů jiných druhů dopravy, jako je například regionální autobusová a železniční doprava.

Trendem poslední doby je snaha o integrované dopravní systémy. Díky nim tak vznikají propojené a ucelené dopravní sítě, které kombinují hlavně regionální a městskou dopravu. V těchto systémech pak platí jednotné přepravní a tarifní podmínky. Největší výhodou integrovaného dopravního systému je sjednocený jízdní doklad. V České Republice je od roku 2006 oficiálně 13 integrovaných dopravních systémů. Doprava v Olomouci patří pod integrovaný dopravní systém olomouckého kraje.

4.2 Rozlišení veřejné hromadné dopravy podle typu dopravního prostředku

Podle typu použitého dopravního prostředku lze veřejnou dopravu rozdělit na mnoho kategorií. V této práci se budeme věnovat hlavně typům prostředků, které jsou využívány na území města Olomouce. Ostatní typy budou zmíněny jen okrajově. Podle typu dopravního prostředku by bylo možné zmínit i typy dopravy jako je cyklistika či pěší chůze. Tyto druhy dopravy však nespĺňují definici hromadné přepravy osob. Ačkoliv jsou tedy nejčastěji využívané, nebudou v tomto dokumentu zmíněny, s výjimkou pěší dopravy jako prostředku k dosažení přestupní stanice pro použití jiného způsobu veřejné dopravy.

4.2.1 Drážní doprava

Veřejná drážní osobní doprava je činnost dopravce spočívající v pravidelné přepravě osob, zavazadel, věcí a živých zvířat vozidly na dráze celostátní, regionální a tramvajové (Vyhláška č.175/2000 Sb.).

Do kategorie drážní dopravy patří nejen železniční doprava, ale také přeprava metrem, tramvají, trolejbusem a lanová doprava. V České Republice můžeme lanovou dopravu najít v horských oblastech a jedna lanová dráha se nachází v Praze. Taktéž metro

nalezneme pouze v hlavním městě Praha. Trolejbusová doprava je už častějším jevem, který se vyskytuje ve většině velkých měst v ČR. V Olomouci však tento druh dopravy nenalezneme.

Železniční doprava je v České republice ještě stále provozována převážně Českými drahami. Existuje několik málo tratí, na kterých provozují vlaky soukromí dopravci. Nově od roku 2011 jsou v provozu také vlaky společnosti RegioJet, které jezdí na hlavní trase Ostrava-Praha a zastavují rovněž v Olomouci. V rámci města Olomouce se pohybuje také jedna vlaková souprava, která zastavuje i na několika zastávkách v rámci katastrálního území města Olomouce.

Tramvajová doprava zcela spadá pod město Olomouc a je provozována Dopravním podnikem města Olomouce v rámci městské hromadné dopravy.

4.2.2 Silniční doprava

Veřejnou silniční osobní dopravou je činnost dopravce spočívající v pravidelné přepravě osob, zavazadel, věcí a živých zvířat vozidly ve veřejné linkové dopravě včetně městské autobusové dopravy (Vyhláška č.175/2000 Sb.).

Mezi silniční druhy dopravy patří zejména autobusová doprava, která může být nazvána také silniční linková doprava. Dále zde můžeme řadit například taxi služby a podobně. Ty už ale nesplňují definici hromadné přepravy osob a nepatří do silniční linkové dopravy.

V České Republice existuje mnoho autobusových dopravců. Každý se pak řídí svými přepravními podmínkami a má své tarify. Na území města Olomouce poskytuje své služby tři autobusoví dopravci zajišťující regionální přepravu. Přímo na katastrálním území města Olomouce pak působí ještě autobusy dopravního podniku města Olomouce zajišťující městskou hromadnou dopravu. Podle zákona musí každý dopravce ukládat veškeré jízdní řády a změny u příslušných dopravních úřadů. Ty je pak zadávají do celostátního informačního systému o jízdních řádech. To usnadňuje cestujícím orientaci mezi mnoha poskytovateli dopravních služeb.

Silniční doprava je nejrozšířenějším druhem dopravy nejen u nás, ale i všude ve světě. Její největší výhodou je snadná dostupnost. Při zavádění hromadné dopravy jsou náklady na vybudování tras minimální, jelikož autobusy využívají stávající silnice. Při vybudování jiného druhu dopravy je třeba pro ně nejprve vybudovat trať. Bohužel však silniční doprava patří mezi silné znečišťovatele ovzduší a zatěžuje okolí nadměrným hlukem.

4.2.3 Letecká doprava

K veřejné hromadné dopravě patří taktéž letecká doprava. Na území České republiky funguje tento způsob dopravy pouze na linkách Ostrava - Praha a Brno - Praha. Linky jsou letadly obsluhovány 3x denně. Tento způsob dopravy je však velice nákladný, a připočítáme-li i dobu, kterou musí cestující strávit na letišti ještě před odletem letadla, i časově náročný. Na tyto "kratší" vzdálenosti se pak tento druh přepravy nevyužívá, snad jen jako přestup na navazující letecký spoj do jiných destinací.

4.2.4 Vodní doprava

Vodní doprava je rovněž jednou z možností veřejné hromadné dopravy. Pro tento způsob dopravy je však potřeba mít velké a klidné vodní toky. Takových je u nás málo a příznivé podmínky pro vodní dopravu poskytují jen na některých úsecích. Vodní dopravu je pak možno najít pouze na Vltavě a na Labi. Pro přepravu osob je však využívána jen minimálně.

4.3 Izostanty

Izostanty nebo také čáry indiference velmi často používá ve své teorii A. Lösch. Jsou to čáry, které spojují místa, kde mají jeden nebo více podniků stejné možnosti si vzájemně konkurovat (Lamač, 2009). V teoretickém pojetí by bylo optimální, kdyby si na libovolně velkém prostoru všechny podniky konkurovaly stejně. V praxi to tak bohužel obvykle nefunguje a velmi často se setkáváme spíše s monopolem. Příkladem takového monopolu může být železniční doprava, která byla až do 90. let poskytována výhradně československými dráhami.

Jak již bylo zmíněno výše, autobusová doprava je v Olomouci provozována více dopravci. Městská hromadná doprava je však obsluhována výhradně dopravními prostředky dopravního podniku města Olomouce.

4.4 Izochrony

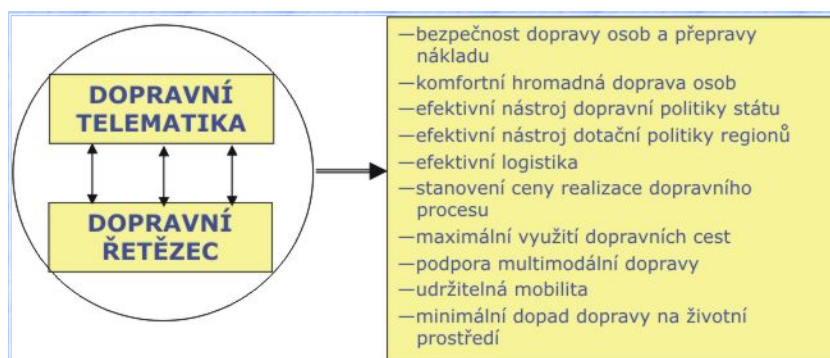
Izochrony jsou čáry, které na mapě či grafu spojují místa se stejnou časovou hodnotou daného jevu (Pánek, 2011). Izochrony sice nesou časovou hodnotu, ale po jejich vizualizaci zjistíme i prostorové rozložení daného jevu. Jejich použití je rozmanité v mnoha vědních i nevědních oborech. Příkladem může být třeba vizualizace postupu studené

fronty, případně modelování postupu vlny tsunami či zemětřesných vln. Ve všech těchto případech je modelován čas a prostor, ve kterém se šíří vlny z místa vzniku.

V dopravě je tento způsob zobrazení používán velmi často. Je z něj totiž velmi rychle a přehledně možno zjistit dostupnost z daného místa v určitém čase. Tím že je možné si určit výchozí bod i časovou proměnnou dostáváme nekonečné množství variací. Nejčastěji se pak modeluje vzdálenost dostupná v určitém čase pomocí různých dopravních prostředků.

4.5 Dopravní telematika

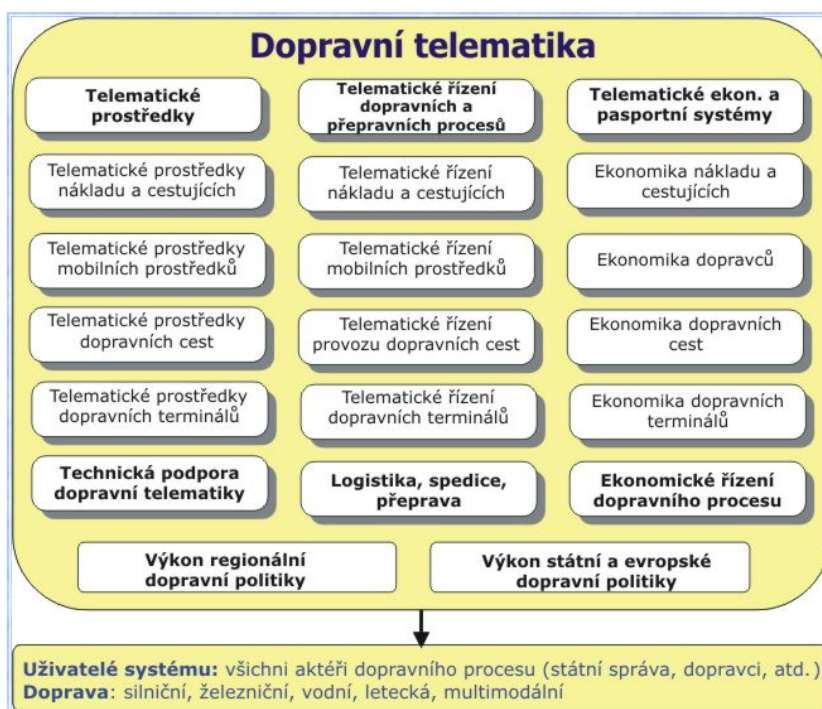
Dopravní telematika (angl. Intelligent Transport System) integruje informační a telekomunikační technologie s dopravním inženýrstvím za podpory ostatních souvisejících vědních oborů (ekonomika, teorie dopravy, systémové inženýrství, atd.) tak, aby se při dané infrastruktuře zvýšily přepravní výkony a efektivita dopravy, stoupla bezpečnost a zvýšil se komfort přepravy (Svítek, 2001). Prakticky to znamená informační a telekomunikační podporu dopravních procesů. Dopravní procesy je třeba důkladně analyzovat a provést správně jejich syntézu, aby bylo možno použít dopravní telematiku. Jejím cílem je pak dojít k optimalizaci homeostatických procesů v daném regionu i účelné napojení na vyšší celky. Dalším cílem je zvýšení bezpečností dopravních procesů.



Obrázek 1: Vazba dopravní telematiky a přepravně-dopravního řetězce. (převzato z: Svítek (2001))

Dopravní telematika je jinak také nazývána jako inteligentní dopravní služby (ITS). Tento název lépe vystihuje a reflektuje její účel. Dopravní telematika poskytuje inteligentní služby pro různé uživatele dopravy. Tyto uživatele jde rozdělit do několika skupin podle toho, jak dopravní služby využívají, či jak je poskytují. Základní skupinou jsou cestující a řidiči, kterým dopravní ITS poskytuje informace o dopravních spojích a situacích na cestách. Druhou skupinou jsou správci infrastruktury. Ti využívají ITS zejména

pro sledování kvality a údržbu dopravních cest. Další skupinou jsou provozovatelé cest, kteří využívají služeb ITS pro volbu optimálních tras svých dopravních linek. Čtvrtou skupinou je státní a veřejná správa. Díky dopravní telematice mohou sledovat zboží či cestující na trasách. Poslední avšak nejméně důležitou skupinou využívající služeb ITS jsou bezpečnostní a záchranné systémy. Díky dopravní telematice mají jednotlivé složky integrovaného záchranného systému možnost rychlejšího a koordinovanějšího zásahu.



Obrázek 2: Vazba dopravní telematiky a přepravně-dopravního řetězce. (převzato z: Svítek (2001))

Za projev dopravní telematiky lze na území města Olomouce považovat mimo jiné i digitální označníky umístěné na různých autobusových zastávkách. Poskytování informací o přesném příjezdu autobusu či tramvaje má na cestující zásadní vliv zejména na redukování jejich stresu při čekání na zastávce (Yu et al., 2011).

4.6 Ostatní pojmy používané v průběhu práce

V průběhu práce se velmi často některé pojmy a zkratky, které je třeba vysvětlit. Mezi tyto pojmy patří:

- MHD – městská hromadná doprava
- VLD – veřejná linková doprava

- Linka – autobusové spojení mezi místem A a B
- Spoj – konkrétní autobus, který vyjíždí ze zastávky v danou dobu. Jedna linka má více spojů. Vztah mezi linkou a spojem je vždy 1:N
- Zastávka – místo, kde je možné nastoupit do vozu bez ohledu na směr jízdy. Název tohoto místa najdeme v jízdním řádu.
- Označnick – počet nástupišť na zastávce. Jedna zastávka může mít více označnicků. Vztah mezi zastávkou a označnickem je vždy 1:N

5 Sběr dat

Sběr dat proběhl pod záštitou firmy KPM Consult, a.s., která má se sčítáním dopravy bohaté zkušenosti z jiných měst, *např.* Přerova. V případě Olomouce však bylo sčítání podstatně rozsáhlejší a tak bylo potřeba kromě hlavního průzkumu provést zpravodajský průzkum, na jehož základě se pak vybíraly trasy, časy a zastávky, které se sčítaly v hlavním sčítacím týdnu.

5.1 Zpravodajský průzkum

Zpravodajský průzkum probíhala v týdnu od 19. do 24. září 2011 a tento průzkum prováděli pouze řidiči autobusů na území zóny 71. Základní myšlenkou zpravodajského průzkumu bylo získat co nejvíce dat s co nejmenším omezením dopravy. Na zastávkách s velkým obratem byla proto tato skutečnost pouze zaznamenána bez pátrání po přesném počtu cestujících, jelikož by docházelo k velkému zpoždění spojů. Naopak v zastávkách s menšími obraty byla snaha o přesný záznam všech sledovaných jevů.

Řidiči jak v městských autobusech, tak ve veřejných linkových autobusech zjišťovali počet nastupujících a vystupujících cestujících v zastávkách, počty využívaných křížových jízdních dokladů a v případě veřejných linkových spojů i počet cestujících, kteří zůstali ve voze po opuštění zóny 71.

5.2 Metodika výběru hlavních přestupních uzlů

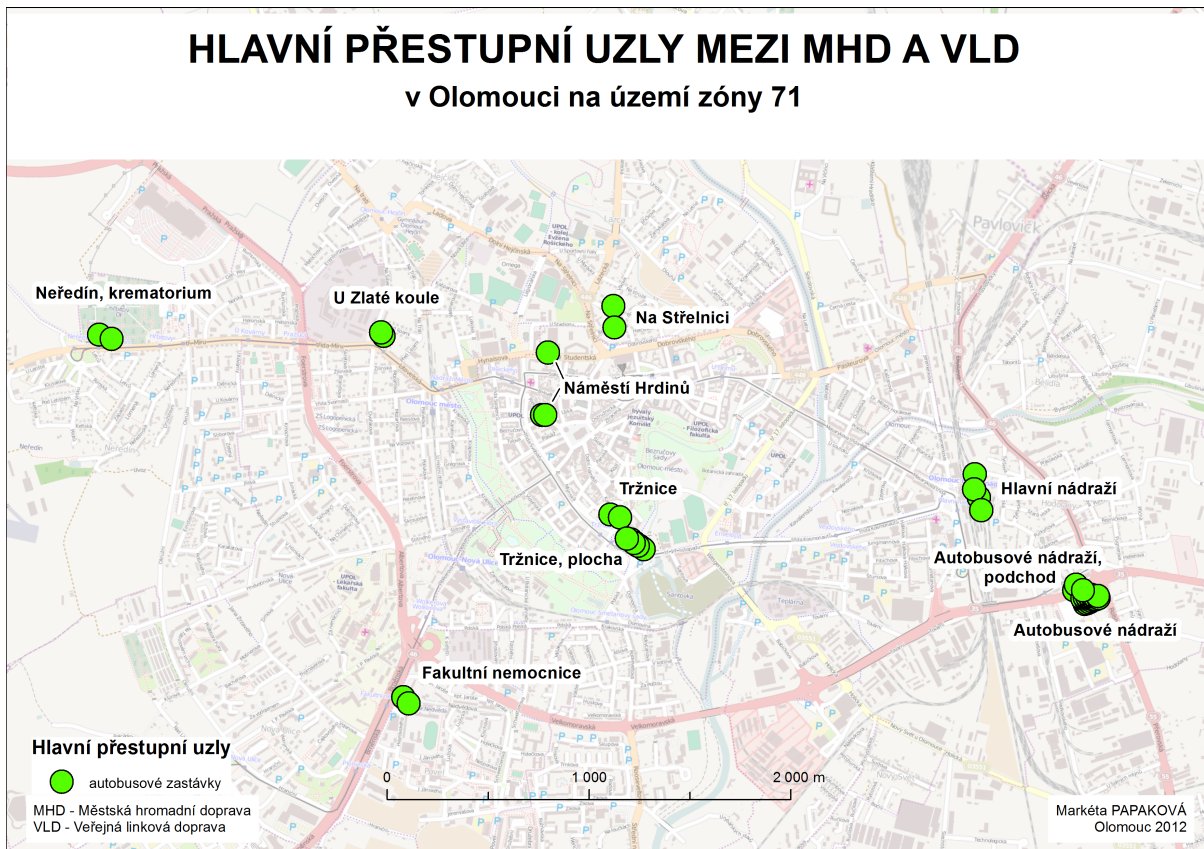
Hlavní přestupní uzly stejně jako ostatní zastávky a linky, které se sčítaly v hlavním sčítacím týdnu, byly vybrány na základě zpravodajského průzkumu. Jelikož dopravci VLD umožňovali i v zóně 71 nástup pouze předními dveřmi, bylo v jejich silách zjistit i cestovní doklad, na nějž pasažér cestoval. Každému takovému cestujícímu pak byla na zastávce vydána jízdenka, čímž byla ve stroji uložená informace o počtu a místech, kde byly tyto jízdenky vydány. Tím bylo možné zjistit nejfrekventovanější místa, ve kterých docházelo ke křížovému využívání. Pokud na zastávce nastoupil během dne malý počet cestujících s křížovým jízdním dokladem, byla tato zastávka zanedbána a v hlavním sčítacím týdnu pak nebyla důkladněji sledována. Touto metodikou bylo vybráno 10 hlavních přestupních uzlů na území města Olomouce v zóně 71. Jednalo se o zastávky, Autobusové nádraží, Autobusové nádraží podchod, Fakultní nemocnice, Hlavní nádraží, Na Střelnici, Náměstí Hrdinů, Tržnice, Tržnice plocha, Neředín krematorium a U Zlaté Koule (Obrázek 3). Byly také vybrány linky VLD na kterých dochází nejvíce k využí-

Tabulka 1: Hlavní průzkumové linky veřejné linkové dopravy (VLD)

Linky VLD sčítány v hlavním týdnu
890 700
890 701
890 704
890 712
890 713
890 728
890 763
890 764
890 770
890 775
895 725

vání křížových jízdních dokladů a ty pak byly v rámci hlavního sčítacího týdne taktéž důkladněji sledovány (Tabulka 1).

Tato metodika byla použita pro sběr dat v Olomouci na území zóny 71. Není to však jediná metodika, podle níž lze vytipovat hlavní přestupní uzly na území města. Pro srovnání lze uvést metodiku vyvíjenou v institutu geoinformatiky na Vysoké škole Báňské v Ostravě panem Ing. Igorem Ivanem, PhD. Tato metodika nepočítá s reálnými počty přestupujících cestujících, ale využívá spojení navrhovaných platnými jízdními řády. Tato metodika lokalizace přestupních uzlů počítá s ručním vyhledáváním spojení mezi definovanými počátečními a cílovými místy. Důležité při výběru těchto obcí jsou výsledky dojížděky do zaměstnání a škol pro roky 1980, 1991 a 2001 v jednotlivých obcích (ČSÚ, Sčítání domů, lidu a bytů). Vybrány byly obce, které mají velmi vysoké vyjížděkové toky do daného města. Nebylo vybráno vždy 10 obcí s nejvyššími hodnotami, protože byla snaha zajistit také rovnoměrné prostorové rozmístění kolem měst, aby byly pokryty všechny dojížděkové směry. Jako cílová místa byly určeny zastávky MHD tak, aby každá část města byla zastoupena alespoň jednou zastávkou MHD. Mezi vybranými zastávkami MHD a cílovými obcemi byly následně ručně vyhledávána spojení v jízdních řádech IDOS a to na 8, 14 a 22 hodin s využitím aktuálních jízdních řádů. Vždy pro každé jedno nejlepší spojení pro dojížděku na danou hodinu, které muselo splňovat identické podmínky, jako v případě automatizovaného vyhledávání spojení, byla zaznamenána přestupní zastávka a další doplňkové údaje. Ta představuje místo (zastávku), kde potenciální dojíždějící přeseďá z prostředků MHD na VLD. Jako přestupní uzel v analyzovaných třech městech



Obrázek 3: Poloha hlavních přestupních uzlů v Olomouci na území zóny 71.

byly vybrány všechny ty zastávky, jejichž četnost využití pro přestup dosáhl hodnoty 10 a vyšší (Ivan, 2011). V Olomouci tato kritéria splnily zastávky Náměstí Hrdinů, Fakultní nemocnice a Hlavní Nádraží.

5.3 Hlavní průzkum dopravy

Hlavní průzkum hromadné dopravy a veřejné linkové dopravy byl proveden v týdnu od 17. do 23. 10. 2011 na území zóny 71 v Olomouci. Sčítání proběhlo převážně na linkách VLD. Co se týče MHD, dá se tento průzkum považovat pouze za sondážní. Bylo využito předpokladu, že pokud se zachytí všichni cestující VLD a dotazy se zjistí zda cestovali i MHD, případně se jí cestovat chystají, budou zachyceny všechny křížově využívané doklady. Sčítání probíhalo v pondělí, úterý, pátek, sobotu a neděli. Pondělí a pátek byly vybrány na základě předpokladu, že v tyto dny dochází k přesunu velkého množství cestujících vzhledem k začátku/konci pracovního týdne. Jelikož je Olomouc univerzitní město, dojíždí v pondělí do města velké množství studentů, kteří pak město v pátek opouštějí. Vzhledem k tomu, že v *tzv.* hluché dny je rozložení a počty cestujících

podobné (Papaková, 2010), bylo tedy prakticky jedno, který den bude zvolen ke sčítání. O víkendu je skladba a počty cestujících odlišná od všedních dnů. Proto se sčítalo v oba víkendové dny.

Sčítání probíhalo na trasách a zastávkách, které byly vybrány na základě zpravodajského průzkumu dopravy. Vzhledem k velkému počtu vozů příjezdících na hlavní přepravní uzly v jednu dobu bylo zapotřebí velké množství *tzv.* sčítačů, aby byl odchyten co největší počet osob a data tak byla co nejpřesnější.

Byly využity dvě varianty sčítání osob. První variantou bylo sčítání ve spojích VLD. Druhou variantou pak bylo sčítání ve vybraných zastávkách, jak je popsáno v předchozí podkapitole. V obou těchto variantách se *tzv.* sčítači zaměřovali na počty nastupujících a vystupujících cestujících. Nástupy a výstupy cestujících jsou nejslabším článkem v řetězci hromadné dopravy, přičemž určují dostupnost a pohodlí Krygsman et al. (2004) . Dále pak každého cestujícího oslovili a zaznamenávali, jaký má jízdní doklad, zda využil, či bude ještě využívat spoje MHD, a jak často na tento jízdní doklad jezdí. Všechny tyto údaje byly zpracovány a výsledky pak sloužily k rozdělení tržeb mezi všechny dopravce, kteří poskytují své služby na území města Olomouce v zóně 71.

6 Zpracování datového souboru

Veškerá číselná data byla k dispozici ve formě tabulek v softwaru MS Excel. Data byla řazena ve dvou tabulkách. V rámci první z nich byly zaznamenávány pouze počty nastupujících a vystupujících cestujících na jednotlivých zastávkách v průběhu dne jak pro linky městské hromadné dopravy, tak pro linky veřejné linkové dopravy. Druhá tabulka byla pouze pro linky veřejné autobusové dopravy a obsahovala kromě počtu nastupujících a vystupujících cestujících na jednotlivých zastávkách také informace o typu jízdního dokladu, délce trasy pasažérů, případného přestupu a místa přestupu na městskou hromadnou dopravu a informaci a četnosti využívání daného jízdního dokladu v průběhu dne. Tyto informace pak byly využívány pro různé statistiky a analýzy.

V průběhu dne bylo dotázáno velké množství cestujících a je pochopitelné, že mnoho z nich nemělo čas ani chuť odpovídat na otázky týkající se dopravního průzkumu. Proto je zcela evidentní, že tabulka s informacemi o typu jízdenek je neúplná a obsahuje pouze vzorek cestujících. Bohužel však kromě neúplných informací obsahují data spoustu chyb. Jako jeden z případů lze uvést zastávku veřejné linkové dopravy Štěpánov, Novosadská. Na této zastávce byl nasčítán pouze jeden cestující, který měl jízdní doklad s označením PES. Bohužel není možné, že na zastávce opravdu nastoupil pouze pes. Takových to anomálií se v datech objevuje mnoho. Vzhledem k tomuto faktu, že to není ojedinělý případ, nebyly tyto chyby nijak odstraňovány ze statistik. Ať už z toho důvodu, že ne všechny chyby lze identifikovat a eliminovat, ale i z toho důvodu, že ze statistického hlediska je správnější s těmito chybovými záznamy počítat.

Doprava byla sčítána v pondělí, úterý, pátek, sobotu a neděli v hlavních přestupních uzlech. V úterý a navíc ještě ve čtvrtek byly pořízeny data z vybraných linek VLD a MHD a to přímo ve spojích.

V pondělí 17.10.2011 došlo k nehodě na hlavní trase městské hromadné dopravy. Na část kolejí se zřítil obytný dům, což na půl dne ochromilo městskou hromadnou dopravu v Olomouci. Bylo proto potřeba otestovat, zda jsou počty cestujících závislé na dni a bude tedy nutné data z pondělí pořídit znovu. Toto testování proběhlo pomocí Kruskal-Walisova testu. Bylo testováno, zda počet nastupujících/vystupujících cestujících na hlavních přestupních zastávkách je závislý na dni v týdnu.

```
nas_po <- c(191, 997, 266, 882, 248, 158, 21, 183, 723, 77)
nas_ut <- c(363, 997, 518, 1813, na, na, 65, 29, 1581, 185)
nas_pa <- c(256, 1422, 337, 1138, 313, 258, 45, 335, 1047, 131)
nas-so <- c(72, 714, 148, 492, na, na, 32, 334, 33)
nas_ne <- c(19, 98, 33, 94, 24, 3, 4, 14, 56, 6)
```

```

kruskal.test(list(nas_po, nas_ut, nas_pa, nas_so, nas_ne))
kruskal.test(list(nas_po, nas_ut, nas_pa))

vys_po <- c(291, 985, 369, 1710, 525, 376, 166, 321, 1395, 197)
vys_ut <- c(383, 985, 591, 2151, NA, NA, 197, 8, 1652, 193)
vys_pa <- c(254, 563, 346, 1124, 343, 172, 83, 249, 695, 82)
vys_so <- c(56, 404, 130, 540, NA, NA, 33, 283, 24)
vys_ne <- c(23, 194, 39, 216, 54, 3, 21, 8, 88, 6)
kruskal.test(list(vys_po, vys_ut, vys_pa, vys_so, vys_ne))
kruskal.test(list(vys_po, vys_ut, vys_pa))

```

V případě, že se do výpočtu závislosti nástupu/výstupu cestujících v jednotlivých dnech zahrnula i sobota a neděle vyšlo p-value v případě nástupu 0,0008594 a v případě výstupu 0,001155. Vzhledem k tomu, že je hodnota p-value menší než 0,05, byla zamítnuta nulová hypotéza o nezávislosti nástupu/výstupu cestujících na dnech na hladině významnosti α . Pokud však do výpočtu nebyly zahrnuty víkendové dny, jelikož je zcela zřejmé, že o víkendu cestuje podstatně méně cestujících a jinými směry než v běžný pracovní den, bylo výsledkem testu p-value 0,4698 v případě nástupu a 0,4867 v případě výstupu cestujících. Bylo tedy možné přijmout nulovou hypotézu o nezávislosti nastupujících a vystupujících cestujících na dnech na hladině významnosti α .

Tento výsledek byl velice důležitý, jelikož bylo možné počítat i s daty z pondělního dne. Tímto testem bylo tedy potvrzeno, že částečný kolaps městské hromadné dopravy neovlivnil významným způsobem veřejnou linkovou dopravu.

6.1 Interakce mezi různými druhy dopravy na území zóny 71

Na území zóny 71 je možné najít více druhů dopravy. Patří mezi ně autobusová veřejná linková doprava, městská hromadná doprava města Olomouce, která má ve svém vozovém parku autobusy i tramvaje a donedávna zde patřila také železniční doprava.

Zónou 71 vede železniční trať spojující Olomouc s okolními vesnicemi ve směru na Senici na Hané. Tato linka obsluhuje na území zóny 71 zastávky Olomouc-Hlavní nádraží, Olomouc-Smetanovy Sady, Olomouc-Nová Ulice, Olomouc-město, Olomouc-Hejčín, Olomouc-Řepčín, Horka nad Moravou a Skrbeň. Ještě do nedávna bylo možné i mezi těmito zastávkami využívat jízdní doklad dopravního podniku města Olomouce. Nyní už zde tato jízdenka neplatí a i pokud cestující jede pouze na trase Olomouc - Hlavní nádraží a vystupuje *např.* na Nové ulici, musí si zakoupit jízdní doklad platný dle tarifu českých

drah. Drážní doprava je tedy nyní využívána převážně obyvateli ze Senice na Hané, která leží mimo zónu 71, k dojížděcí do zaměstnání či do škol na území města Olomouce.

Mezi veřejnou linkovou dopravou a městskou hromadnou dopravou lze na území zóny libovolně přestupovat a kombinovat jednotlivé linky. V rámci zóny 71 jsou totiž respektovány jízdní doklady jednoho dopravce ve vozech jiného dopravce. Znamená to tedy, že na území zóny 71 je možné využít linky veřejné linkové dopravy s jízdním dokladem městské hromadné dopravy a naopak. Tato práce je zaměřená na využívání těchto křížových dokladů a na závislosti tohoto využívání na časech jednotlivých spojů a poloze zastávek.

K největším přestupům mezi jednotlivými dopravci dochází na vytipovaných hlavních přestupních uzlech, jak již bylo řečeno v předcházející kapitole. Na těchto zastávkách dochází k největšímu přílivu osob na území města Olomouce pomocí linek VLD a zároveň zde dochází k největším přestupům na MHD. Nejvíce cestujících pak nastupuje do linek VLD na zastávkách Hlavní nádraží, Autobusové nádraží a Tržnice, plocha. Co se týče výstupu cestujících, je pořadí prvních tří zastávek velice podobné. Nejvíce cestujících vystupuje na Hlavním nádraží, dále pak na zastávce Tržnice plocha a Autobusové nádraží. Jak již bylo řečeno výše, nejsou data o skladbě jízdních dokladů kompletní. Proto se liší i data o celkovém počtu cestujících. Pokud vezmeme v úvahu data ze záznamu a nástupech a výstupech cestujících, dojdeme ke konečnému číslu 16755 nastupujících a 18528 vystupujících cestujících na hlavních deseti přestupních uzlech v průběhu týdne (Tabulka 2). Pokud si však spočítáme celkový počet cestujících z dat o skladbě jízdních dokladů, dojdeme k číslu o mnoho menšímu. U nástupu je to 9019 cestujících a u výstupu pouhých 2586 cestujících (Tabulka 3). Je tedy zřejmé, že pro některé výpočty nemá smysl používat absolutních hodnot a pro srovnání mezi jednotlivými dopravci je lepší použít poměru mezi nimi.

Tabulka 2: Obraty cestujících v hlavních přestupních uzlech v průběhu hlavního sčítání podle nástupu a výstupu

Zastávka	Pondělí		Úterý		Pátek	
	nástup	výstup	nástup	výstup	nástup	výstup
Autobusové nádraží podchod	191	291	363	383	256	254
Autobusové nádraží	997	985	997	985	1422	563
Fakultní nemocnice	266	369	518	591	337	346
Hlavní nádraží	882	1710	1813	2151	1138	1124
Na střelnici	248	525	-	-	313	343
Náměstí hrdinů	158	376	-	-	258	172
Neředín, krematorium	21	166	65	197	45	83
Tržnice	183	321	29	8	335	249
Tržnice, plocha, krematorium	723	1395	1581	1652	1047	695
U Zlaté koule	77	197	185	193	131	82
Celkem	3746	6335	5551	6160	5282	3911

Zastávka	Sobota		Neděle		Celkem	
	nástup	výstup	nástup	výstup	nástup	výstup
Autobusové nádraží podchod	72	56	19	23	901	1007
Autobusové nádraží	714	404	98	194	4228	3131
Fakultní nemocnice	148	130	33	39	1302	1475
Hlavní nádraží	492	540	94	216	4419	5741
Na Střelnici	-	-	24	54	585	922
Náměstí Hrdinů	-	-	3	3	419	551
Neředín, krematorium	32	33	4	21	167	500
Tržnice	-	-	14	8	561	586
Tržnice, plocha	334	283	56	88	3741	4113
U Zlaté koule	33	24	6	6	432	502
Celkem	1825	1470	351	652	16755	18528

* pokud není v tabulce uveden konkrétní záznam, znamená to, že se v daný den na zastávce nesčítalo

Tabulka 3: Obraty cestujících v hlavních přestupních uzlech v průběhu hlavního sčítání podle skladby jízdenek

Zastávka	Pondělí		Úterý		Pátek	
	nástup	výstup	nástup	výstup	nástup	výstup
Autobusové nádraží podchod	86	68	204	23	145	49
Autobusové nádraží	281	3	551	0	492	5
Fakultní nemocnice	207	165	442	167	268	103
Hlavní nádraží	502	167	778	33	501	98
Na střelnici	142	260	-	-	252	290
Náměstí hrdinů	64	35	10	1	162	41
Neředín, krematorium	21	20	58	33	37	7
Tržnice	120	30	16	2	153	21
Tržnice, plocha, krematorium	393	211	994	271	680	201
U Zlaté koule	46	24	109	30	86	41
Celkem	1865	983	3182	560	2776	856

Zastávka	Sobota		Neděle		Celkem	
	nástup	výstup	nástup	výstup	nástup	výstup
Autobusové nádraží podchod	52	2	27	0	514	142
Autobusové nádraží	99	2	17	3	1440	13
Fakultní nemocnice	97	30	23	11	1057	476
Hlavní nádraží	393	11	90	35	2264	344
Na Střelnici	-	-	19	20	413	570
Náměstí Hrdinů	-	-	4	3	243	80
Neředín, krematorium	33	14	4	1	153	75
Tržnice	-	-	13	3	302	56
Tržnice, plocha	239	24	51	14	2357	721
U Zlaté koule	30	12	5	2	276	109
Celkem	934	95	253	92	9019	2586

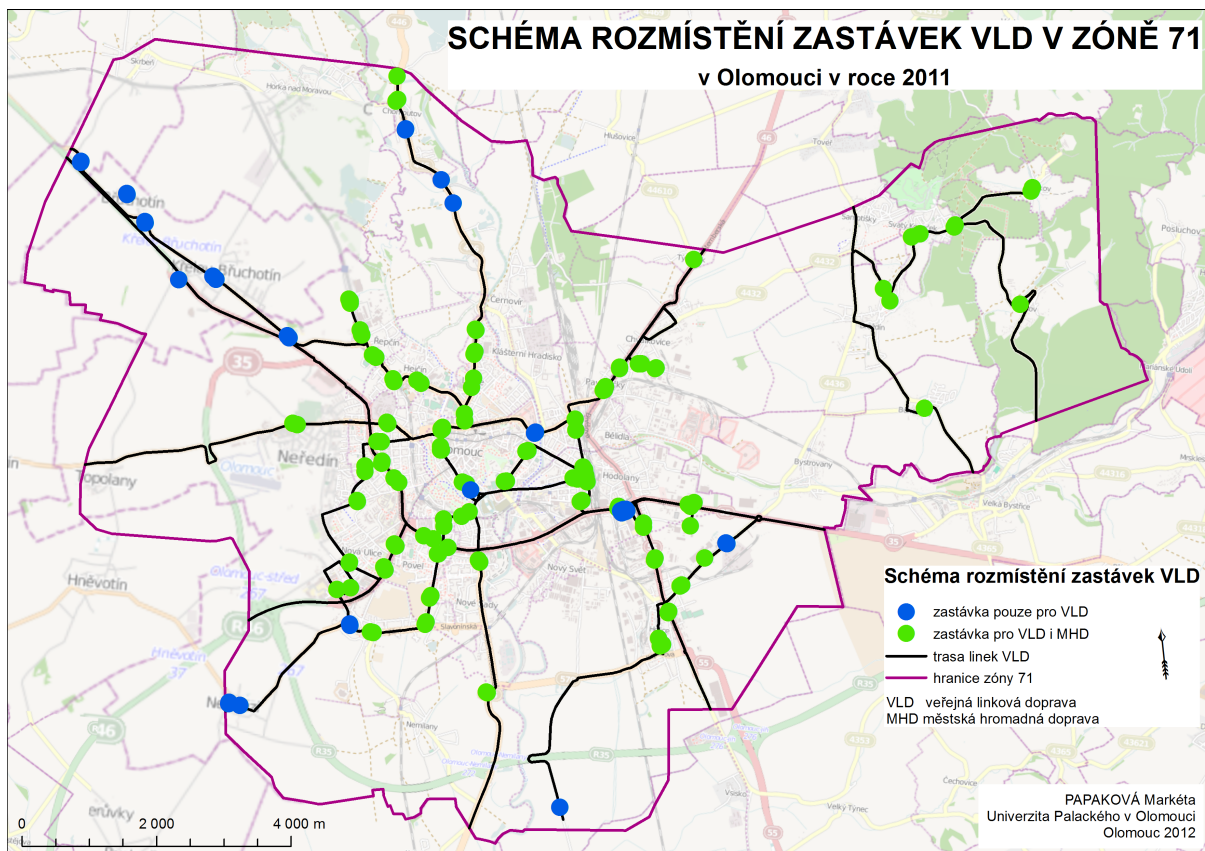
* pokud není v tabulce uveden konkrétní záznam, znamená to, že se v daný den na zastávce nesčítalo, tučně jsou vyznačeny hodnoty shodné s Tabulka 2.

Tabulka 4: Počet zastávek a označnicků v zóně

	VLD	MHD	MHD bez tramvaje
zastávky	72	174	158
označnický	165	362	307

6.2 Zastávky VLD v zóně 71

Na území zóny 71 je přibližně třikrát více zastávek, které obsluhuje městská hromadná doprava, než těch které obsluhuje veřejná linková doprava, jak je vidět z tabulky 4. Zastávkou je myšleno místo, kde může cestující nastoupit do autobusu, bez rozdílu kterým směrem cestuje. Jednodušeji lze říct, že zastávku lze identifikovat podle jejího názvu v jízdním řádu. Přibližně stejný je i rozdíl v počtu označnicků, tedy počtu nástupišť na jednotlivých zastávkách. V celé zóně je jen 15 zastávek, které obsluhují pouze vozy VLD. Ve velmi těsné blízkosti zastávek Autobusové nádraží, Tržnice plocha a Komenského se však nacházejí zastávky obsluhované MHD a to jak autobusy, tak tramvajemi. Zbývající zastávky jsou pak v blízkosti výjezdů ze zóny 71, zejména pak ve směru na Litovel, jak ukazuje Obr. 4.



Obrázek 4: Schéma rozmístění zastávek VLD v zóně 71.

6.3 Pokrytí zóny 71

Zóna 71 se rozkládá na ploše $115,64 \text{ km}^2$. Tato plocha je obsluhována jak linkami VLD tak linkami MHD, které se liší délkou svých tras i strukturou celé sítě. Stěžejní zastávkou pro autobusy VLD je Autobusové nádraží. Nezastává už však tak významnou roli jako v minulosti. V poslední době je snahou dopravců VLD obsluhovat i strategické zastávky ještě před dojezdem na autobusové nádraží, a tak v mnoha případech dojíždí autobus do cílové stanice prázdný, jak prokázalo sčítání dopravy.

Pokrytí zóny bylo posuzováno ze třech různých hledisek. Prvním z hledisek bylo proložení zóny 71 pravidelnou sítí a bylo sledováno, do kolika segmentů zasahují linky VLD a do kolika linky MHD, včetně tramvají. Druhou možností pro posouzení pokrytí zóny bylo porovnání poměru, mezi využíváním 'hlavních' a 'vedlejších' silnic. Posledním způsobem pak bylo určení fraktální dimenze obou sítí.

Tabulka 5: Seznam linek MHD a VLD, které obsluhují zastávky v zóně 71

	Linky MHD	Linky VLD		Linky MHD	Linky VLD
1	1	890 700	15	20	890 723
2	2	890 701	16	21	890 724
3	4	890 704	17	22	890 726
4	6	890 707	18	23	890 727
5	7	890 709	19	25	890 728
6	11	890 710	20	26	890 741
7	12	890 711	21	27	890 742
8	13	890 712	22	41	890 763
9	14	890 713	23		890 764
10	15	890 716	24		890 770
11	16	890 718	25		890 775
12	17	890 719	24		895 725
13	18	890 720	27		920 030
14	19	890 722			

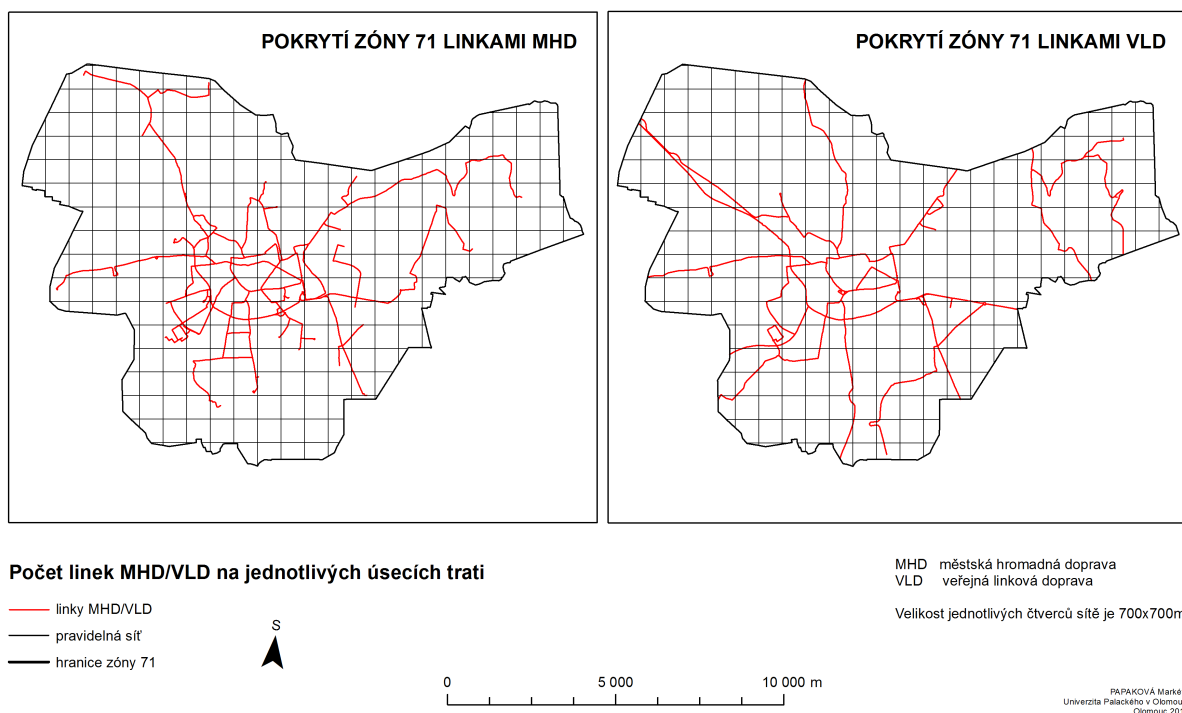
6.3.1 Proložení zóny pravidelnou sítí

Zóna 71 byla proložena pravidelnou čtvercovou sítí, která byla vytvořena v softwaru ArcMap pomocí nástroje *fishnet*. Velikost čtverců byla určována tak, aby bylo optimálně pokryto centrum města, které je hustě pokryto oběma sítěmi a zároveň nevzniklo mnoho prázdných čtverců na okrajích zóny 71. Tato kritéria splnila síť o velikosti čtverce 700×700 m, kterou dohromady tvořilo 280 těchto geometrických útvarů (Obr. 5).

Městská hromadná doprava zasahuje do 110 čtverců a délka tras dohromady tvořila necelých 98,5 km. Maximální délka tras pak byla ve čtverci, který obsahoval přednádražní prostor a nájezd na ulici Tovární, která vede k autobusovému nádraží. V tomto čtverci tvořily délky tras dohromady 3 km. Naproti tomu trasy VLD se vyskytují celkem ve 127 čtvercích a jejich délka činila dohromady něco málo přes 93 km. Maximální délka v jednom čtverci pak byla 2,5 km a šlo o prostor okolo nákupního centra Haná a v blízkosti Tabulového vrchu.

Počet zasažených čtverců i délka tras si jsou velmi podobné. Podstatný rozdíl však nastává v délkách tras v rámci jednotlivých segmentů sítě. Zatím co tras MHD se vyskytuje v rámci jedné buňky sítě až 3 km a většina buněk pak obsahuje trasy o délce dvou

POKRYTÍ ZÓNY 71 JEDNOTLIVÝMI LINKAMI MHD a VLD v Olomouci 2011



Obrázek 5: Proložení zóny 71 pravidelnou sítí. Porovnání zaplněnosti čtverců mezi MHD a VLD.

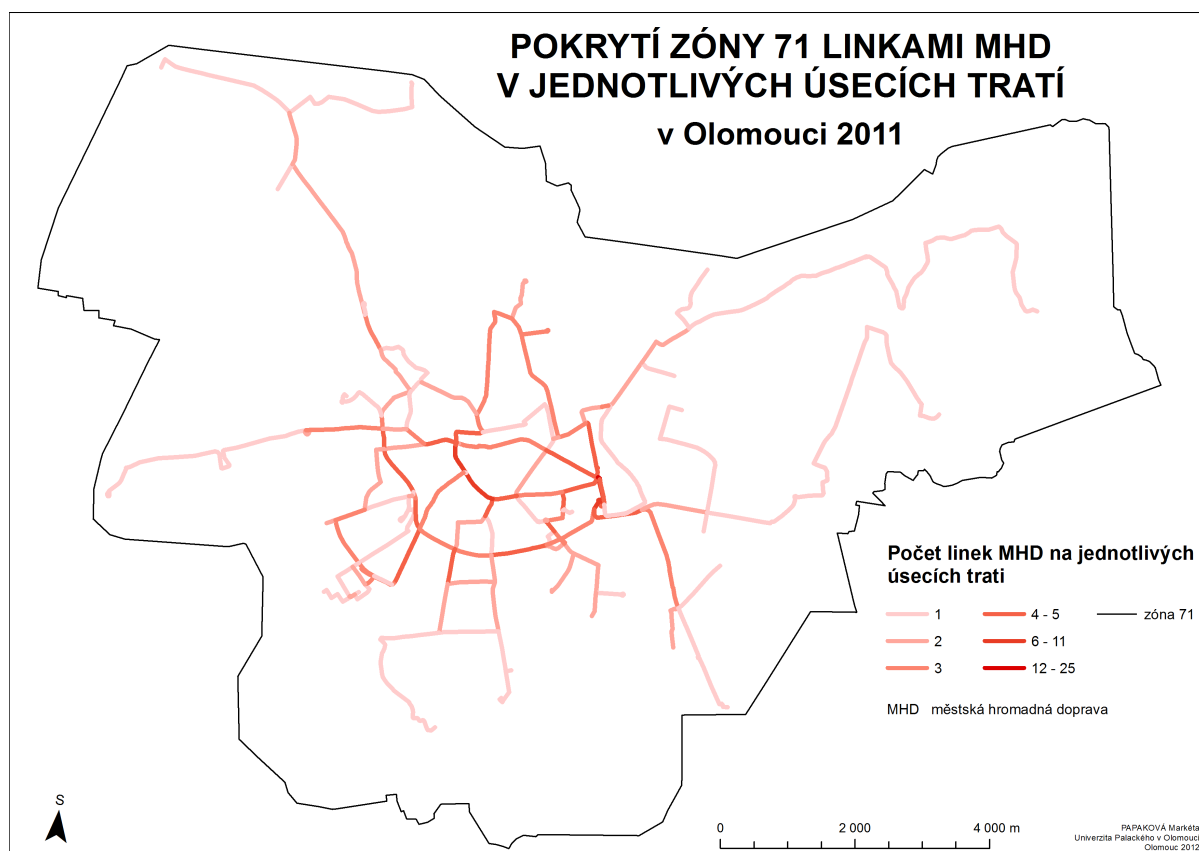
kilometrů, u VLD je tomu přesně naopak. Maximální délka trasy v jednom ze čtverců je sice 2,5 km, ale v dalších čtvercích pak tato délka rapidně klesá. Lze z toho vyvodit, že zónu 71 pokrývá lépe VLD, jelikož je rozlehlejší a zasahuje do více segmentů sítě.

6.3.2 Poměr pokrytí hlavních a vedlejších komunikací

Další z možností porovnání pokrytí zóny 71 mezi městskou hromadnou dopravou a linkovou hromadnou dopravou je porovnání pokrytí hlavních a vedlejších komunikací. Hlavní komunikace byly vybrány na základě jejich využívání a důležitosti v obslužnosti města. Většinou jde o komunikace první třídy. Mezi tyto komunikace patří silnice, které tvoří 'velký okruh' okolo centra města Olomouce. Jde o ulice Tovární, Velkomoravská, Albertova, Foerstrova, Tř. Míru, Litovelská, Wellnerova, Studentská, Dobrovského, Komenského, Pasteurova, U Podjezdu a Divišova. Uvnitř tohoto velkého okruhu pak nalezneme menší okruh silnic, které se nacházejí v těsné blízkosti centra a i tyto ulice byly vyhodnoceny jako hlavní komunikační síť. Patří zde ulice Tř. Kosmonautů, Tř. Svobody,

8. května, Pekařská, Denisova, Třída 1. Máje, Žižkovo náměstí a Masarykova třída. Mezi těmito dvěma okruhy se pak nacházejí jakési spojnice, které jsou využívány jak osobní tak autobusovou dopravou ve velké míře a i ty tedy byly zahrnuty mezi hlavní silnice. Jde o ulice Tř. 17. listopadu, Jeremenkova a Wolkerova. Poslední skupinu hlavních silnic pak tvoří hlavní výjezdy z města, jako jsou ulice Třída Míru, Lazecká, Dolní Hejčinská, Ladova, Tomkova, Na Trati, Svatoplukova, Křelovská, Květinová, silnice č. 635, Chválkovická, Rolsberská, Přerovská, Dolní Novosadská a Brněnská. Ostatní silnice, které jsou využívány pro hromadnou přepravu osob ve městě Olomouci, byly vyhodnoceny jako vedlejší komunikace.

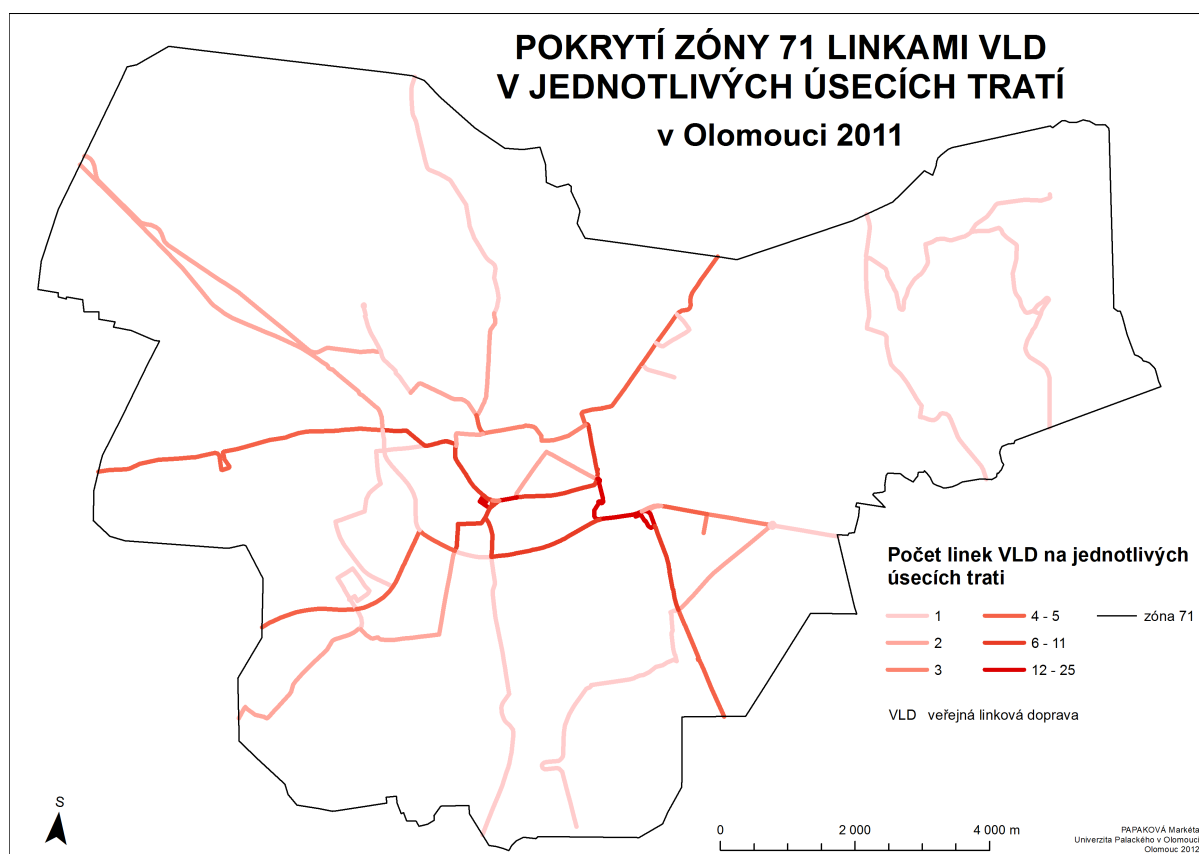
V rámci práce bylo sledováno, kolik linek a kolik kilometrů najezdí tyto linky po hlavních a kolik po vedlejších komunikacích.



Obrázek 6: Pokrytí zóny linkami MHD a jejich počet v jednotlivých úsecích tratí.

Městská hromadná doprava v Olomouci disponuje 17-ti autobusovými a 5-ti tramvajovými linkami. Navíc ještě provozuje noční linku. Ta však nebyla zahrnuta do žádných analýz a to z toho důvodu, že kopíruje tramvajovou linku a hlavní autobusové trasy, které jezdí v průběhu dne a do výpočtů jsou zahrnuty. Pod městskou hromadnou dopravu patří také linka 60. Ani tato linka však nebyla do výpočtů zahrnuta, jelikož je

bezplatná a umožňuje přesun cestujících pouze do/z nákupního centra Olympia. Na jiných zastávkách není cestujícím umožněn výstup/nástup z/do autobusu. Z celkového počtu 22 linek jezdí všechny po hlavních ulicích. Po vedlejších ulicích pak nejedí jediná linka č. 26. Po hlavních silnicích najedí vozy MHD 38,5 km. U vedlejších silnic je to pak 59,86 km. Poměr využití hlavních a vedlejších komunikací je tedy 1 : 1,5. Po kterých úsecích silnic jezdí nejvíce linek MHD můžeme vidět na Obr. 6. I z tohoto schématu značně vystupují silnice, které byly dříve označeny za hlavní. Okrajové části zóny 71 obsluhuje výrazně nižší počet linek. Například ve směru na Lošov jezdí jediná linka MHD.



Obrázek 7: Pokrytí zóny linkami VLD a jejich počet v jednotlivých úsecích tratí.

Veřejná linková doprava pak obsluhuje zónu 71 pomocí 27 linek. Všechny tyto linky využívají jak hlavní, tak vedlejší komunikace ve smyslu v jakém byly definovány v úvodu této podkapitoly. Po hlavních silnicích najedí autobusy veřejné linkové dopravy 55,5 km. Na rozdíl od městské hromadné dopravy je počet kilometrů najetých po vedlejších silnicích nižší a to sice 37,4 km. Poměr využití silnic z hlediska jejich délky je tedy 1,4 : 1. Obr. 7 zřetelně ukazuje, že nejvíce linek VLD jezdí po vnějším okruhu a po výjezdech ze zóny 71.

Z hlediska této analýzy je patrné, že zónu 71 lépe pokrývají linky VLD, jelikož mají

daleko lépe pokryty 'hlavní' komunikace. Je to ale způsobeno tím, že tyto linky mají pokryté všechny významné výjezdy ze zóny 71. Městská hromadná doprava sice pokrývá tyto hlavní komunikace na vnějším i vnitřním okruhu, avšak výjezdy už tak dobře nepokrývá. Zato v centrální části města, kde se pohybuje nejvíce osob a využívají tak dopravu zejména na kratší vzdálenosti má velkou převahu MHD, která zde pokrývá většinu vedlejších ulic spojujících velký a malý okruh. Zajímavé je, že MHD využívá stejný počet kilometrů hlavních silnic, jako VLD vedlejších silnic a stejně tak to platí i naopak. MHD využívá přibližně stejný počet kilometrů vedlejších silnic, jako VLD hlavních.

6.3.3 Pokrytí zóny 71 z pohledu fraktální dimenze

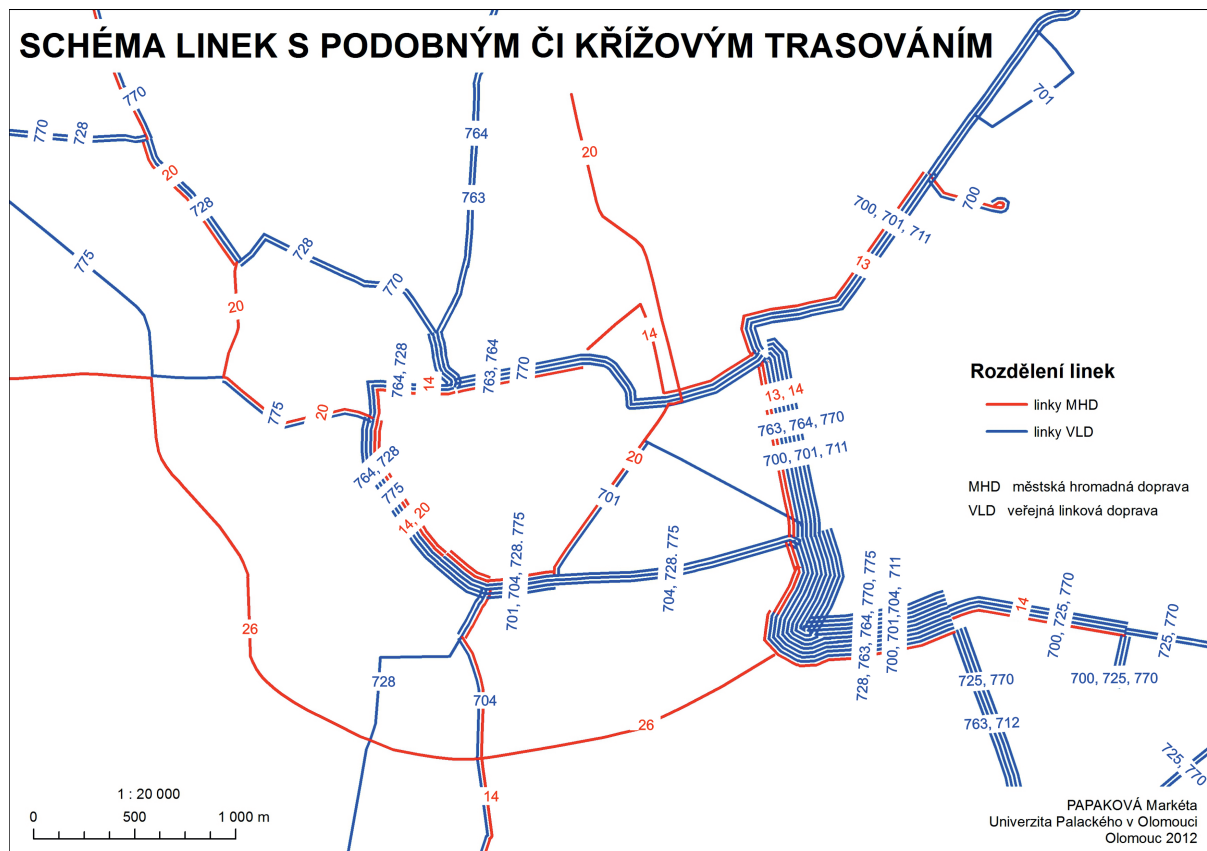
Pomocí fraktální dimenze lze zjistit složitost sítě. Tato metoda je v současnosti velmi populární a diskutovaná. Bohužel se však ve výpočtech fraktální dimenze od sebe liší. V rámci této práce byl použit software Fractalyse a fraktální dimenze byla počítána pomocí Box-counting algoritmu. Software fractalyse pracuje pouze s černobílým rastrem, při čemž počítá počet černých pixelu pomocí výše zmíněného algoritmu.

Výsledkem této analýzy je fraktální dimenze městské hromadné dopravy $D = 1,35$ a fraktální dimenze veřejné linkové dopravy $D = 1,28$. Znamená to tedy, že městská hromadná doprava má složitější síť a lépe tak pokrývá zónu 71.

6.4 Vliv časových spojů VLD a MHD na využívání křížových jízdnic dokladů v místech s podobným trasováním linek

Z dostupných dat bylo potřeba vybrat linky MHD a VLD, které mají stejnou nebo alespoň podobnou část trasy spojující minimálně pět zastávek. Těchto linek je mnoho, bohužel však k nim nebyly dostatečné údaje ze sčítání dopravy. Bylo tedy potřeba vybrat takové linky MHD a VLD, které mají jednak společnou trasu (Obr. 8) a je k nim také dostatek dat k tomu, aby bylo možné posoudit časový vliv na využívání křížových jízdnic dokladů ve vozech veřejné linkové dopravy. Nakonec byla vybrána linka MHD číslo 14 a k ní linky VLD číslo 700, 728, 763, 764 a 770. Pro porovnání k těmto trasou si podobných linek byla vybrána linka MHD číslo 26 a VLD číslo 728 které mají společný pouze jeden bod na trase a to sice zastávku Povel, Škola.

Pro posouzení vlivu času na využívání křížových jízdnic byly nejprve vybrány spoje VLD, které dojíždí na shodnou zastávku ze stejného směru těsně po odjezdu spoje MHD. Vzhledem k datům, které byly pro tuto analýzu k dispozici, byla tato doba stanovena na max. 10 minut. Na těchto zastávkách pak bylo u spojů VLD sledováno, kolik zde nastou-



Obrázek 8: 8 Schéma linek MHD a VLD s podobným trasováním, které byly sčítány v rámci sběru dat.

pilo cestujících s křížovým jízdním dokladem. Naproti tomu byly vybrány spoje, které na zastávku dojíždějí sice v podobnou denní dobu, avšak před linkou MHD případně více než deset minut po odjezdu této linky. I zde byl pak sledován počet nastupujících cestujících do linky VLD s křížovým jízdním dokladem, tedy s dokladem vydaným Dopravním podnikem města Olomouce.

Data o počtech nastupujících cestujících byla podrobena testování na normalitu dat. Bohužel byla však hypotéza H_0 , že data pocházejí z normálního rozdělení ve většině případů zamítnuta na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. To je, že data nesplňují podmínku o normalitě, může být způsobeno velmi malým počtem dat, která byla k dispozici.

Vzhledem k tomuto faktu, byla data testována na schodu rozptylů, aby pak mohly být upraveny parametry následujícího dvouvýběrového t-testu. Pro testování rozptylů byl použit F-test. Výsledky F-testu ukazuje Tab. 8. Pokud byla zamítnuta hypotéza H_0 o shodnosti rozptylů na hladině významnosti α , byl ve dvouvýběrovém t-testu parametr *var.equal* nastaven na hodnotu FALSE. V opačném případě nemusel být tento parametr

Tabulka 6: Počet cestujících s křížovou jízdenkou ve spojích VLD, které dojíždějí do dané zastávky do 10 minut po lince MHD

	MHD	VLD	Spoj VLD	Hodina	Zastávka	Nástup s MHD
1	14	890 700	309	5:23	Hlavní nádraží	11
2	14	890 700	10	6:19	Na Špici	0
3	14	890 700	359	14:13	Lipenská	0
4	14	890 700	326	16:18	Na Špici	0
5	14	890 700	344	19:49	Na Špici	0
1	14	890 763	304	5:55	Aut. nádr. pod.	0
2	14	890 763	13	7:39	Komenského	0
3	14	890 763	308	11:18	Aut. nádr. pod.	0
4	14	890 763	307	16:18	Komenského	0
1	14	890 764	6	5:49	Aut. nádr. pod.	0
2	14	890 764	5	6:12	Komenského	0
3	14	890 764	12	6:49	Aut. nádr. pod.	0
4	14	890 764	27	9:17	Na Špici	0
5	14	890 764	31	13:48	Na Špici	5
1	14	890 770	6	5:47	Aut. nádr. pod.	0
2	14	890 770	7	6:10	Hlavní nádraží	4
3	14	890 770	21	7:35	Komenského	1
4	14	890 770	320	9:56	Hlavní nádraží	3
5	14	890 770	331	10:39	Komenského	1
6	14	890 770	31	13:36	Komenského	0
7	14	890 770	351	16:40	Komenského	0
1	26	890 728	341	6:40	Povel, Škola	4
2	26	890 728	355	15:42	Povel, Škola	5
3	26	890 728	362	18:18	Povel, Škola	5
4	26	890 728	381	20:25	Povel, Škola	1

Tabulka 7: Počet cestujících s křížovou jízdenkou ve spojích VLD, které dojíždějí do dané zastávky více než 10 minut po lince MHD nebo před linkou MHD

	MHD	VLD	Spoj VLD	Hodina	Zastávka	Nástup s MHD
1	14	890 700	55	5:22	Hlavní nádraží	3
2	14	890 700	8	5:53	Na Špici	3
3	14	890 700	319	15:09	Lipenská	1
4	14	890 700	356	16:43	Na Špici	0
5	14	890 700	150	18:13	Na Špici	4
1	14	890 763	2	5:16	Aut. nádr. pod.	0
2	14	890 763	9	7:14	Komenského	1
3	14	890 763	14	14:50	Aut. nádr. pod.	1
4	14	890 763	19	17:27	Komenského	0
1	14	890 764	8	6:39	Aut. nádr. pod.	0
2	14	890 764	3	5:25	Komenského	0
3	14	890 764	6	5:49	Aut. nádr. pod.	0
4	14	890 764	25	11:01	Na Špici	0
5	14	890 764	37	15:33	Na Špici	1
1	14	890 770	8	6:08	Aut. nádr. pod.	0
2	14	890 770	5	5:45	Hlavní nádraží	1
3	14	890 770	327	8:40	Komenského	0
4	14	890 770	344	9:21	Hlavní nádraží	5
5	14	890 770	333	11:50	Komenského	0
6	14	890 770	45	14:55	Komenského	0
7	14	890 770	347	16:00	Komenského	0
1	26	890 728	339	6:50	Povel, Škola	1
2	26	890 728	360	16:28	Povel, Škola	2
3	26	890 728	79	18:40	Povel, Škola	1
4	26	890 728	366	21:11	Povel, Škola	0

Tabulka 8: Výsledky F-testu

Linka	P-value	Rozptyly
890 700	0,0564	stejně
890 763	$2,2 * 10^{-16}$	různé
890 764	0,008648	různé
890 770	0,7236	stejně
890 728	0,2007	stejně

vůbec použit, nebo byl nastaven na hodnotu TRUE.

Pomocí dvouvýběrového t-testu pak byla testována hypotéza H_0 , že u využívání křížových jízdních dokladů v linkách veřejné linkové dopravy nezáleží na čase, kdy spoj přijede do zastávky. Alternativní hypotézou H_A pak bylo, že při využívání křížových jízdének v linkách VLD záleží na čase příjezdu do zastávky ve srovnání s časem příjezdu linky MHD.

```
t.test(podobne_700,odlisne_700,var.equal=TRUE)
t.test(podobne_763,odlisne_763,var.equal=FALSE)
t.test(podobne_764,odlisne_764,var.equal=FALSE)
t.test(podobne_770,odlisne_770,var.equal=TRUE)
t.test(podobne_728,odlisne_728,var.equal=TRUE)
```

Výsledky tohoto testu dvouvýběrového t-testu znázorňuje Tab. 9. V případě linek s podobným trasováním bylo možné hypotézu H_0 o závislosti času příjezdu linky VLD na zastávku zamítnout na hladině významnosti α . Znamená to tedy, že cestující využívají v těchto spojích křížové jízdenky bez ohledu na to, jestli v podobné době jede spoj MHD. Oproti tomu u porovnávané linky č. 728, která se s linkou MHD č. 26 pouze křížuje a nemá s ní tedy společnou žádnou část trasy kromě zastávky Povel, škola nebylo možné nulovou hypotézu H_0 zamítnout na hladině významnosti α . Přijede-li tedy na zastávku Povel, Škola linka VLD do deseti minut po příjezdu linky MHD, zvýší se počet využívání jízdních dokladů oproti linkám, které přijíždějí na zastávku v odlišnou dobu.

Tento výsledek potvrzují i mapy v příloze 2 a v příloze 3. V těchto mapách je zobrazen podíl využívání jízdének MHD a VLD v linkách veřejné linkové dopravy. Je zde na první pohled patrné, že v linkách VLD, které mají podobné trasování jako linky MHD je větší poměr využívání jízdének VLD než na trasách, které si nejsou podobné. Tento poměr je způsoben zejména tím, že mezi dvěma místy, které spojuje linka VLD neexistuje přímé

Tabulka 9: Výsledky testování pomocí dvouvýběrového t-testu

Linka	P-value	Záležít/nezáležít na přestupu
890 700	1	nezáležít
890 763	0,1817	nezáležít
890 764	0,4736	nezáležít
890 770	0,653	nezáležít
890 728	0,03713	záležít

spojení pomocí MHD. Vzhledem k tomu, že lístek MHD v těchto spojích platí, cestující ho využívají. *Např.* ve směru na Břuchotín jezdí pouze linky VLD i přesto, že jsou tyto obce stále v zóně 71. V těchto místech tedy linky VLD zcela nahrazují městskou hromadnou dopravu. Podobným příkladem je i linka 770. Tato linka jede celá v zóně 71 a nikdy z ní nevyjíždí. I tato linka tak supluje městskou hromadnou dopravu a podíl využívání jízdenek MHD ku VLD je tak nižší, než v případě, že mají linky stejné trasování, kdy je podíl jízdenek MHD ku VLD v linkách veřejné linkové dopravy daleko vyšší.

6.5 Časová dostupnost MHD z hlavních přestupních míst ve městě Olomouci

Pro sledování časové dostupnosti je ideální si zobrazit data do mapy. Tato mapa je ve *volné příloze č.4*. Byly sledovány vzdálenosti na silniční síti od hlavních přestupních míst určených dopravním průzkumem k zastávkám městské hromadné dopravy (autobusovým i tramvajovým) a k železničním zastávkám, které se nacházejí v zóně 71. Tato časová dostupnost byla zjišťována pomocí nástroje Network Analyst v softwaru ArcMap. Při této analýze byly sledovány doby dostupnosti 1, 3, 5 a 10 minut. Deset minut je hraniční doba, kterou je člověk ochotný ujít pro přestup na jiný druh dopravy, proto je to poslední sledovaná doba. Při výpočtu vzdálenosti pak byla brána průměrná rychlost chůze 4km/h .

Do jedné minuty je možný přestup na městskou hromadnou dopravu pouze na zastávkách Hlavní nádraží, Autobusové nádraží podchod, Fakultní nemocnice, Tržnice a Náměstí Hrdinů. V dostupnosti do deseti minut od hlavních přestupních uzlů se nacházejí jen tři železniční zastávky. Je to zastávka Hlavní nádraží, která je v dostupnosti do tří minut od autobusové zastávky Hlavní nádraží. Následuje zastávka Smetanovy sady, která je do deseti minut od zastávky Tržnice a poslední železniční zastávka dostupná do deseti minut od zastávky U Zlaté koule je Olomouc - Město. Ostatní železniční zastávky

se nacházejí ve větší vzdálenosti od hlavních přestupních uzlů.

7 Výsledky

V průběhu práce vznikala spousta výsledků. Mezi dílčí výsledky patří popis teorie testů normalit, testů rozptylů, dvouvýběrového t-testu a fraktálů. Dále pak krátká rešerše studií, které se zabývaly podobnými tématy. Hlavními výsledky pak byly výpočty a grafické výstupy, které vznikaly ze získaného datového souboru.

Stěžejní kapitolou a zároveň nejdůležitější výsledek byl zjištěn u sledování vlivu časových spojů u linek se stejným nebo podobným trasováním na využívání křížových jízdenek. Při podobné trase městské hromadné dopravy s veřejnou linkovou dopravou totiž nezáleží na tom, zda autobus veřejné linkové dopravy přijede o něco později než MHD. Křížové využívání jízdenek ve spojích VLD je stejné jako v případě, kdy spoj dojede do zastávky v naprosto odlišný čas než městská hromadná doprava. Naopak linka VLD, která se s městskou hromadnou dopravou pouze křížuje a to v zastávce Povel, Škola měla odlišný výsledek. U této linky záleží ve využívání křížových jízdenních dokladů na tom, zda autobus VLD dojede na zastávku o něco později než linka městské hromadné dopravy, či nikoliv. Tento fakt je velmi zajímavý a potvrzuje jej i poměry ve využívání jízdenních dokladu MHD a VLD v linkách veřejné linkové dopravy. Pokud šlo o linku, která měla podobnou trasu jako linka MHD, byl zde poměr ve využívání jízdenních dokladů MHD ku jízdenním VLD výrazně nižší, než pokud šlo o linky, které mají odlišnou trasu. To je způsobeno zejména tím, že v některých místech supluje veřejná linková doprava zcela nebo alespoň z části veřejnou linkovou dopravu. Jelikož mezi dvěma danými místy neexistuje jiné spojení než spoj VLD, využívají ho cestující i s lístkem MHD, jelikož v zóně 71 tento jízdenní doklad platí.

Pokrytí zóny 71 bylo zkoumáno třemi různými metodami. Při první analýze byla zóna 71 proložena pravidelnou čtvercovou sítí. Rozměr čtverce byl volen tak, aby nevznikalo na okrajích zóny mnoho prázdných čtverců, ale zároveň, aby v centrální části města, kde jezdí nejvíce linek, nebyly čtverce příliš přeplněné. Optimálně se jevila síť o velikosti čtverce 700×700 metrů a ta byla také použita pro danou analýzu. Podle této analýzy pokrývá síť VLD 127 z celkových 280 čtverců, oproti 110 čtvercům, které pokrývá síť MHD. Znamená to tedy, že síť VLD lépe pokrývá zónu 71. Pomocí druhé analýzy, kterou byla fraktální dimenze, byl však tento výsledek z části vyvrácen. Fraktální dimenze sítě veřejné linkové dopravy je totiž rovna $D = 1,28$, zatím co síť městské hromadné dopravy, má fraktální dimenzi $D = 1,35$. To znamená, že síť městské hromadné dopravy je složitější než síť VLD a tedy by měla zónu pokrývat lépe. Poslední analýzou pak bylo porovnání počtu linek, které využívají hlavní a které vedlejší komunikace. Hlavní komunikace byly definovány podle jejich strategického umístění v obslužnosti města a jejich využíváním nejen hromadnou dopravou. Jednou z hlavních silnic byla vybrána také ulice

8.května a Denisova. Tyto ulice vedou do centra města a využívá je mnoho cestujících a chodců. Ani jedna z těchto ulic však není přístupná pro běžnou dopravu a autobusy tedy touto ulicí jezdit nesmějí. Přesto byla tato ulice zařazena do hlavních silnic, jelikož splňuje obě podmínky, na jejichž základě byly tyto ulice určovány. I přes tuto výhodu však hlavní silnice pokrývají lépe linky VLD. Otázkou je, zda to znamená, že pokrývají zónu lépe či nikoliv. Městská hromadná doprava totiž pokrývá daleko více vedlejších uliček v blízkosti centra. Pro grafické vyjádření výsledků byla použita liniová metoda. Pro vyjádření počtu linek byla využita geometrická stupnice, která nejlépe reflektovala zjištěné výsledky.

8 Diskuze

Největším problémem v celé diplomové práci byla data, která byla k dispozici. V datech se vyskytovala spousta chyb. Navíc byla data většinou nekompletní. K zamyšlení je výběr nasčítaných linek. U veřejné linkové dopravy byly alespoň postihnuty hlavní směry. Výběr nasčítaných linek MHD je však velmi zvláštní. U některých linek pak byly sice nasčítány všechny spoje a posbírány u nich data o nástupu a výstupu cestujících, v podrobnější tabulce, která obsahuje i údaje o těchto cestujících však tyto spoje zaznamenány nejsou. Počítat s těmito spoji pak v dalších analýzách nebylo možné.

Zajímavou možností by bylo sledovat rozhodnutí cestujících ve výběru jednotlivých dopravců, podle skutečného času příjezdu autobusu na zastávku. Asi každý zná situaci, kdy má autobus zpoždění a tak využije toho, že na zastávku přijede autobus sice jiného dopravce, ale se stejnou trasou. Bohužel tuto analýzu nebylo možné provést, jelikož v datech jsou časy příjezdů autobusů na zastávku pouze podle jízdního řádu, nikoliv podle reálné situace.

V průběhu práce bylo zjištěno, že existuje linka veřejné linkové dopravy, která ze zóny 71 vůbec nevyjíždí. Konkrétně jde o linku č. 895725. Z dopravního průzkumu pak bylo zjištěno, že na této lince cestující využívají prakticky pouze jízdní doklady vydané městskou hromadnou dopravou. Otázkou je, nakolik se tyto spoje společnosti Veolia Transport, a.s. vyplatí. Stejně tak je zajímavé, že ve směru na Litovel jsou v zóně 71 ještě obce Břuchotín-Křelov a Křelov-Břuchotín, které jsou obsluhovány pouze linkami veřejné linkové dopravy. Ani jedna linka městské hromadné dopravy do těchto obcí nezajíždí.

Při určování pokrytí zóny 71 bylo použito více metod. U dvou z těchto metod byly voleny parametry, které mohou výsledek ovlivnit. Například je možné, že pokud by se u proložené sítě změnil rozměr sítě, byl by výsledek jiný. Stejně tak hlavní silnice byly vybrány subjektivně, nikoliv na základě dalších dodatečných měření intenzity dopravy v těchto místech. Kdyby byly tyto silnice zvoleny jinak je možné, že i tento výsledek by se změnil. Do výpočtů o pokrytí zóny byly zahrnuty všechny tramvajové linky. Znevýhodňuje to sice veřejnou linkovou dopravu, jelikož ta nedisponuje tramvajovými vozy a nemůže tak pokrývat např. ulici 8. května a Denisovu, na druhé straně je to součástí městské hromadné dopravy a nelze je tedy z výpočtů vyloučit. Do analýz však nebyla zařazena noční linka městské hromadné dopravy. Hlavním důvodem pro vynechání této linky bylo její kopírování trasy tramvajové trati a tratí linek MHD, které obsluhují zónu 71 v průběhu dne. Na struktuře ani délce trati by se tedy i při zahrnutí této linky nic nezměnilo.

V rámci práce měly být sledovány také časové variace mezi různými druhy dopravy.

Tyto časové variace jsou však stěžejní náplní diplomové práce Bc. Lenky Zajíčkové vytvořené na Univerzitě Palackého v Olomouci z roku 2012 s názvem *Časové variace dojíždky do města Olomouc prostředky hromadné dopravy osob*.

9 Závěr

Stěžejní náplní práce bylo popsání přestupních vazeb uvnitř zóny 71. Aby mohly být tyto vazby popsány a analyzovány, bylo potřeba nejprve sepsat teoretický podklad testů závislosti a výběrových testů a prostudování studií, které se již touto problematikou zabývaly.

V rámci teoretického podkladu byly vysvětleny pojmy, které souvisí s přepravou osob. Byly rozlišeny pojmy železniční a autobusová hromadná doprava a popsána dálková, regionální a městská autobusová přeprava osob. Tyto pojmy pak byly dále rozděleny podle dopravního prostředku, který je k přepravě využíván a podle způsobu, jakým je cestující přepravován. Dále pak byly rozlišeny pojmy, jako je izochrona a izostanta a vysvětleny základní rozdíly mezi pojmy linka – spoj a zastávka – označnick. Ze statistické a matematické teorie pak byly popsány základní testy normality ať už grafické nebo početní. Dále byl popsán Kruskal-Wallisův test nezávislosti, F-test pro posouzení rozptylů a dvouvýběrový T-test, který byl použit ve stěžejní kapitole. Dále byly vysvětleny základy fraktálních dimenzí a box-counting algoritmus, jehož pomocí počítá fraktální dimenze většina softwarů.

Sběr dat proběhl ve dvou fázích. Nejprve proběhl zpravodajský týden za pomoci řidičů veškeré autobusové dopravy na území zóny 71. Na základě tohoto průzkumu pak byly vybrány stěžejní přestupní místa mezi veřejnou linkovou dopravou a městskou hromadnou dopravou na území zóny 71. Bylo vybráno deset zastávek, na kterých dochází k těmto přestupům nejvíce. Druhou fází byl hlavní sčítací týden, kdy se na těchto vybraných zastávkách sčítalo v pondělí, úterý, pátek, sobotu a v neděli. V úterý a ve čtvrtek se pak sčítalo ve vybraných spojích VLD i MHD. Byl sledován počet nastupujících a vystupujících cestujících na jednotlivých zastávkách, délka jejich trasy, přestup na jiný druh dopravy a hlavně typ cestovního dokladu.

Z těchto získaných dat byla provedena stěžejní analýza celé práce, a to sice posouzení vlivu poloh a časových spojů VLD a MHD v úsecích se stejným nebo podobným trasováním na jejich využívání cestujícími s důrazem na využívání křížových jízdnic dokladů. Data byla nejprve testována na normalitu rozdělení a schodu rozptylů. Na základě výsledků těchto testů byl pak sestaven dvouvýběrový t-test. Pomocí tohoto testu bylo potvrzeno, že časové spoje nemají vliv na křížové využívání jízdnic dokladů v místech se stejným nebo podobným trasováním. Naopak v místech, kde dochází pouze ke křížení linek VLD a MHD má na toto křížové využívání jízdnic časový spoj velký vliv. K této kapitole pak vznikl soubor map, který ukazuje podíl využívání jízdnic MHD a VLD ve spojích veřejné linkové dopravy (V přílohách se nachází ukázka těchto map. Zbytek sou-

boru se pak nachází na přiloženém CD). Tento podíl byl znázorněn pomocí jednoduchého kartodiagramu.

Všechny linky MHD i VLD byly v zóně 71 nadigitalizovány a pomocí různých analýz pak bylo porovnáváno pokrytí této zóny. Pomocí fraktální dimenze bylo vypočítáno, že MHD má složitější síť než veřejná linková doprava. Další analýzou bylo proložení zóny 71 pravidelnou čtvercovou sítí. Síť obsahovala 280 čtverců. Žádná z dopravních sítí pak nezasahovala ani do poloviny všech čtverců. Dopravní síť veřejné linkové dopravy pak zasahovala do 127 čtverců, oproti 110 čtvercům, které pokrývaly dopravní síť městské hromadné dopravy. Poslední analýzou v této části bylo sledování poměru mezi pokrytím hlavním a vedlejších ulic. Výsledek této analýzy je však neurčitý, jelikož síť MHD pokrývá přibližně tolik kilometrů hlavních silnic co VLD vedlejších. A naopak VLD pokrývá tolik kilometrů hlavních silnic co MHD vedlejších. Mapy těchto dopravních sítí byly vytvořeny liniovou metodou. Pro rozlišení počtu linek, které určité části dopravní sítě využívají byla použita geometrická stupnice, která nejlépe indikuje rozdíly mezi velmi málo a hodně využívanými úseky.

V rámci práce byly také zjišťovány počty a rozmístění zastávek veřejné linkové dopravy na území zóny 71 ve městě Olomouci a to s podrobností na označníky. Bylo zjištěno, že MHD má cca 3x větší počet zastávek i označků ve sledované oblasti. Veřejná linková doprava pak disponuje pouze 15-ti zastávkami, které nejsou obsluhovány městskou hromadnou dopravou. Tyto zastávky se nacházejí zejména v okrajových oblastech zóny 71. V centru města jsou tyto zastávky pouze tři (Autobusové nádraží, Tržnice, plocha a Komenského), avšak v těsné blízkosti těchto zastávek je možné přestoupit na městskou hromadnou dopravu. Nejvíce zastávek, které jsou obsluhovány pouze VLD se nachází ve směru na Litovel, konkrétně v obcích Břuchotín-Křelov a Křelov-Břuchotín. Vzhledem k tomu faktu, že většina zastávek MHD i VLD mají stejnou polohu, lze říci, že poloha zastávky nemá na využívání jednotlivých dopravců vliv s výjimkou výše zmíněných obcí.

Hlavním grafickým výstupem je zobrazení hlavních přestupních míst a počet a druh zastávek, které jsou z těchto míst dostupné v čase jedné, tří, pěti a deseti minut. Mapa byla vytvořena pomocí nástroje Netxork Analyst. Při výpočtech pak byla brána průměrná chůze člověka $4\text{km}/\text{h}$ a nebyla zahrnuta čekací doba na přechodech pro chodce. Z mapy je na první pohled patrné, kolik vlakových, autobusových a tramvajových zastávek je dosažitelných chůzí z těchto hlavních přestupních míst.

Diplomová práce potvrdila, že mezi veřejnou linkovou dopravou a městskou hromadnou dopravou existuje za určitých podmínek vliv časových spojů. Vliv polohy zastávek pak nebyl potvrzen ani vyvracen.

Literatura

- ANDĚL, J. *Matematická statistika*. 1. vyd. Bratislava : SNTL, 1978. Typové číslo L 11-C3-V-41/17 824.
- IVAN, I. Studijní materiály - gc – cv. 3 (3. blok), 2011. Dostupné z: http://gislinb.vsb.cz/~iva026/?page_id=805.
- KIM, K. S., BENGUIGUI, L., MARINOV, M. The fractal structure of seoul's public transportation system. *Cities*, 20, s. s. 31–39, 2003.
- KRYGSMAN, S., DIJST, M., ARENTZE, T. Multimodal public transport: an analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio. *Transport Policy*, 11, s. s. 265–275, 2004.
- LAMAČ, P. Předpoklady rozvoje komerčních služeb ve vybrané oblasti – mikroregionu veselsko. Master's thesis, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2009.
- LIU, Z., SHEN, J., WANG, H., YANG, W. Regional bus timetabling model with synchronization. *JOURNAL OF TRANSPORTATION*, 7, 2, s. s. 109–113, April 2007.
- MAVOA, S., WITTEN, K., MCCREANOR, T., O'SULLIVAN, D. Gis based destination accessibility via public transit and walking in auckland, new zealand. *Journal of Transport Geography*, 2011.
- MELOUN, M. *Statistická analýza experimentálních dat*. 2. vyd. Praha : Avademia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
- MYKL, T. Dopravní web - obecný přehled o veřejné dopravě, 2006. Dostupné z: <http://www.archiv.dopravni.net/view.php?navezclanku=&cislolclanku=2006020704>.
- OÑA, J., GÓMEZ, P., MÉRIDA-CASERMEIRO, E. Bilevel fuzzy optimization to pre-process traffic data to satisfy the law of flow conservation. *Transportation Research*, 19, s. s. 29–39, 2011.
- PAPAKOVÁ, M. Využití chí kvadrát testů na příkladech experimentálních dat s využitím geostatistical analyst v softwaru arcmap. Master's thesis, Univerzita Palackého Olomouci, 2010.
- PEITGEN, H.-O., JÜRGENS, H., SAUPE, D. *Fractals for the classroom*. New York : Springer Verlag, 1992. ISBN 0-387-97041-X.

- PÁNEK, J. Gis portál - izochrony, aneb kam se dostanete za určitý čas?, 2011. Dostupné z: <http://www.gisportal.cz/2011/10/izochrony-aneb-kam-se-dostanete-za-urcity-cas/>. ISSN: 1804-8498.
- SHAPIRO, S., WILK, M. *An analysis of variance test for normality (complete samples)*. Bimetrika, 1965.
- SVÍTEK, M. Základní definice dopravní telematiky, 2001. Dostupné z: http://www.ltfd.cvut.cz/its/rok_2001/definice.htm.
- TOŠENOVSKÝ, J., DUDEK, M. *Základy statistického zpracování dat*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001. ISBN 80-248-0006-3.
- YU, B., LAM, W. H., TAM, M. L. Bus arrival time prediction at bus stop with multiple routes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19, s. s. 1157–1170, 2011.
- ZELINKA, I. *Fraktální geometrie: principy a aplikace*. 1. vyd. Praha : BEN, 2006. ISBN 80-7300-191-8.

Summary

The main work of the thesis was the description of transfer links inside the zone 71. To make the links described and analyzed, it was necessary first to write a theoretical basis some statistic tests and some studies, which work with a similar issues.

Within the theoretical background was the explanation of the terms related to the carriage of passengers. They were distinguished by the terms of rail and bus transportation and described long-distance, regional and urban bus passenger transport. These concepts were then divided by means of transport which is used to transport and the vehicle in which the passenger is transported. Then were explained the terms like isochron and izostanta and explained the basic differences between the concepts of line - connection and stop - marker. From statistical and mathematical theory are then described the basic tests of normality, whether graphical or numerical. There was also described Kruskal-Wallis test for independence, the F-test to assess variance and Two-Sample T-test, which was used in the main chapter. Furthermore, explained the basics of fractal dimension, and box-counting algorithm, which used the most software to calculates fractal dimension.

Data were collected by two parts. First week were data collected by all bus drivers in the zone 71. Based on this survey were then selected key interchange points between public service buses and public transportation in the zone 71. Ten stations were selected in which these transfers occur most. The second phase was the main census week, when on the most stops were counting on Monday, Tuesday, Friday, Saturday and Sunday. On Tuesday and Thursday, then added in selected public transport lines and public transport lines. We observed the number of passengers embarking and disembarking in each stop, the length of their routes, change to another mode of transport and especially the type of travel document.

From these data obtained by core analysis of the whole work, namely the assessment of the impact position and time in city transport and public transport on the same or similar tracing on their use by passengers with emphasis on the use of cross-tickets. Data were first tested for normality of distribution and step variances. Based on the results of these tests were then assembled Two-sample T-test. Based on this test, it was confirmed that the temporal connections do not affect the cross-use of tickets at locations with the same or similar tracing. By contrast, in areas where the only crossing lines city transport and public transport has on the use of cross-connection time ticket big impact. This chapter then created a set of maps that shows the percentage use of public transport tickets and public transport tickets in a regular public transport connections. This share has been illustrated using a simple cartodiagrams.

All city transport lines and public transport lines were digitalized in zone 71 and by using various analyzes we compared the coverage zone. Using the fractal dimension was calculated that the city transport network is more complex than a regular public transport. Further analysis of the fitting zone 71 by regular square networks. The network contained 280 squares. None of the transport network does not interfere with either the middle of the squares of all. Transportation network of public transport intervened to 127 squares, compared with 110 squares, covering the transport network of city transport. Recent analysis in this section has been monitoring the coverage ratio between main and side streets. The result of this analysis is indeterminate, since city transport network covers about as many miles of highways as public transport side. Conversely city transport covers many miles of highways as public transport side. Maps of these transport networks were created by a regular method. To distinguish the number of lines that certain parts of the transport network has been applied using a geometric scale that best indicates the differences between very little and used by a lot of time. Like a highways were selected the streets, which are use very often and which are important at the accessibility of the city.

The work was also ascertained the number and location of stops of public transport in the zone 71 in Olomouc and the details of the markers. It was found that public transport is about three times more of stops and markers in the monitored area. Public shuttle service then has only a 15 bus stops that are not serviced by city transport. These stops are located mainly in peripheral areas of the zone 71. In the city center are only three stops (Autobusové nádraží, Tržnice, plocha and Komenského), but in close proximity to these stations it is possible to change to city transport. Most stations that are serviced only by public transport is located in the direction of Litovel, specifically in the municipalities Břuchotín-Křelov and municipalities Křelov-Břuchotín. Given the fact that most bus stops of city transport and public transport have the same position, we can say that the position of the stop does not affect the use of different carriers with the exception of the aforementioned villages.

The main output is a graphic portrayal of the main transfer points and the number and kind of stops, which are available from these sites at a time one, three, five and ten minutes. Ten minutes is a time, that the person is willing to wait on the next bus. The map was created using Netxork Analyst. The calculations were then taken the average person walking 4 kilometers per hour, not included waiting time at pedestrian crossings. At first glance we can see on the map, many train, bus and tram stops is reachable walking from the main transfer stops.

This thesis showed that the city transport buses and public transport exists under

certain conditions, the effect of time connections. The influence of the position of stops has not been confirmed nor refuted.

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Vázané přílohy

- Příloha 1 Programový kód i s výsledky ze software 2.14.0
- Příloha 2 Využívání jízdních dokladů MHD na lince VLD č. 890 728, které má odlišné trasování od MHD
- Příloha 3 Využívání jízdních dokladů MHD na lince VLD č. 895 725, které má podobné trasování jako MHD

Volné přílohy

- Příloha 4 Časová dostupnost zastávek MHD z hlavních přestupních uzlů v Olomouci
- Příloha 5 CD

```
# počty cestujících s křížovou jízdenkou
```

```
> podobne_700 <- c(11,0,0,0,0)
> odlisne_700 <- c(3,3,1,0,4)
> podobne_763 <-c(0,0,0,0)
> odlisne_763 <-c(0,1,1,0)
> podobne_764 <- c(0,0,0,0,5)
> odlisne_764 <- c(0,0,0,0,1)
> podobne_770 <- c(0,4,1,3,1,0,0)
> odlisne_770 <- c(0,1,0,5,0,0,0)
> podobne_728 <- c(4,5,5,1)
> odlisne_728 <- c(1,2,1,0)
```

```
#SHAPIRO-WILK
```

```
> shapiro.test(podobne_700)
> shapiro.test(podobne_763)
> shapiro.test(podobne_764)
> shapiro.test(podobne_770)
> shapiro.test(podobne_728)
> shapiro.test(odlisne_700)
> shapiro.test(odlisne_763)
> shapiro.test(odlisne_764)
> shapiro.test(odlisne_770)
> shapiro.test(odlisne_728)
```

```
#F-TESTY
```

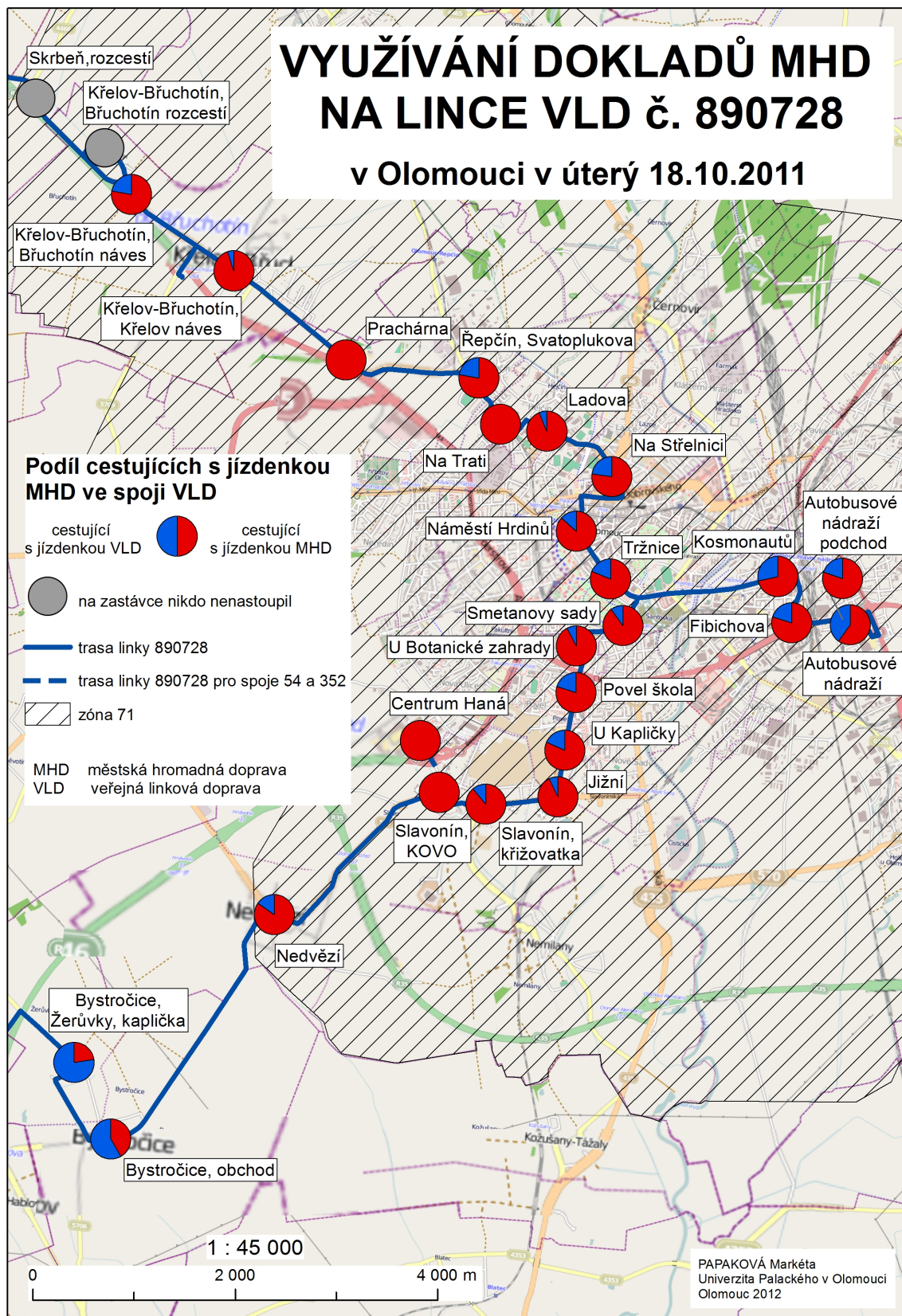
```
> var.test(podobne_700, odlisne_700)
> var.test(podobne_763, odlisne_763)
> var.test(podobne_764, odlisne_764)
> var.test(podobne_770, odlisne_770)
> var.test(podobne_728, odlisne_728)
```

```
#T-TESTY
```



```
> t.test(podobne_700,odlisne_700,var.equal=TRUE)
> t.test(podobne_763,odlisne_763,var.equal=FALSE)
> t.test(podobne_764,odlisne_764,var.equal=FALSE)
> t.test(podobne_770,odlisne_770,var.equal=TRUE)
> t.test(podobne_728,odlisne_728,var.equal=TRUE)
```

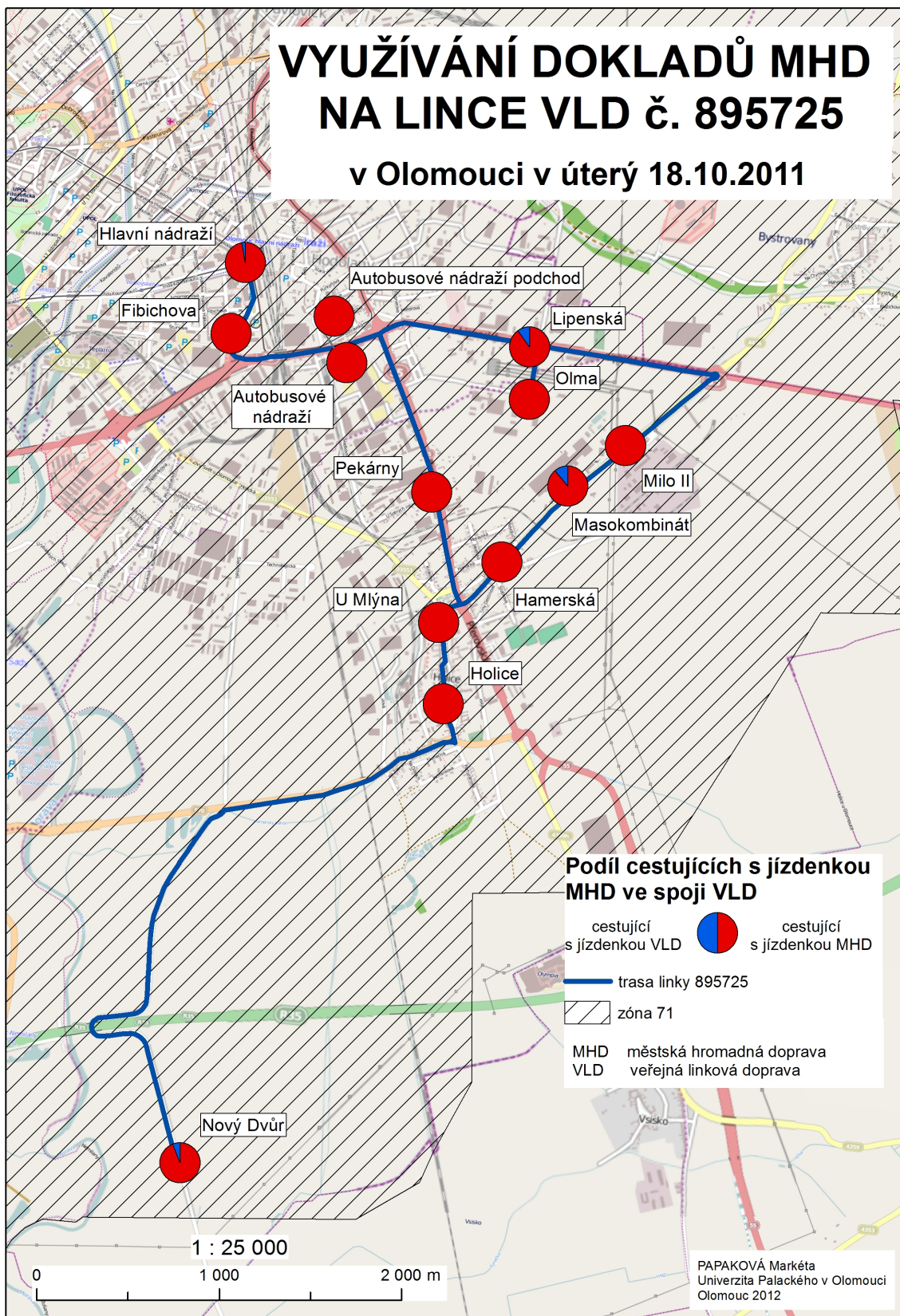
Příloha 1: Programový kód i s výsledky ze software 2.14.0



Příloha 2: Využívání jízdních dokladů MHD na lince VLD č. 890 728, které má odlišné trasování od MHD

VYUŽÍVÁNÍ DOKLADŮ MHD NA LINCE VLD Č. 895725

v Olomouci v úterý 18.10.2011



Příloha 3: Využívání jízdních dokladů MHD na lince VLD č. 895 725, které má podobné trasování jako MHD