

# **Zpřesnění liniového dopravního modelu sítě silničních komunikací pro účely analýzy dopravní dostupnosti**

*Tomáš Peňáz*

*Institut geoinformatiky*

*VŠB – Technická univerzita Ostrava*

*17. Listopadu 15*

*708 33 Ostrava – Poruba*

*E – mail: [tomas.penaz@vsb.cz](mailto:tomas.penaz@vsb.cz)*

## **Abstract**

*This article deals with published antecedent experience of traffic network models creating. Analyses of the transport accessibility done by the methods of spatial analyses in previous models environment have not brought satisfactory results. That lead to the effort to precise a used model and to enable more suitable background for analysing of the transport accessibility within individual transport using.*

*A better model specification is based first of all on individual types of road traffic speed diversification. These newly determined speeds were used for segments impedance evaluation – time needed for overcoming of that road segment by a required means of transport, i.e. by car. A more precise specification of road types was done after working out an up-to-date proper analysis of attributes that are assigned to the particular segments within used database - Digital Feature Data 25 (DMU25).*

## **Abstrakt**

*Příspěvek navazuje na dříve publikované zkušenosti s tvorbou modelů dopravní sítě silničních komunikací. Analýzy dopravní dostupnosti prováděné metodami síťových analýz v prostředí původních modelů přinesly ne zcela uspokojivé výsledky. To vedlo ke snaze zpřesnit používaný model a zajistit tak vhodnější prostředí pro analyzování dopravní dostupnosti za předpokladu využití individuální dopravy.*

*Zpřesnění modelu je založeno především na rozrůznění cestovních rychlostí pro jednotlivé typy silničních komunikací. Tyto nově stanovené rychlosti byly využity obvyklým způsobem k ohodnocení úseků impedancí – dobou potřebnou pro překonání tohoto úseku jízdu požadovaným typem dopravního prostředku, tedy osobním automobilem. Preciznější specifikace typů silničních komunikací byla provedena po nové, důkladné analýze atributů, které jsou jednotlivým úsekům přiřazeny v použité databázi DMÚ25.*

## Úvod

Modely, prostřednictvím nichž člověk rozkrývá a napodobuje okolní svět, zcela logicky přinášejí zjednodušený pohled na objekty, jevy, procesy a zákonitosti, které v modelu hrají roli. Zjednodušení jsou nutná z důvodu proveditelnosti modelu a pochopitelně představují zdroj nepřesností. Ať už se jedná o model, který je předmětem či prostředím vědeckého bádání nebo o model jehož význam je ryze praktický, je obvykle v zájmu tvůrců jeho postupné zpřesňování. Tato konstatování beze zbytku platí i pro modely související s oblastí geoinformatiky a geoinformačních technologií.

Hlavní motivací pro uskutečnění experimentů dokumentovaných v následujícím textu byla potřeba zpřesnění liniového modelu silniční sítě, s jehož využitím byla analyzována dostupnost jednotlivých částí obcí v okrese Bruntál [6]. Uvedený typ analýzy směřoval ke zjištění role individuální neveřejné dopravy při cestování zaměstnanců za prací k významným zaměstnavatelům v jiných částech obcí zpracovávaného územního celku.

Nutnost ověření správnosti a případná následná kalibrace modelu sítě silničních komunikací vyvstala v souvislosti s dílčími zjištěními Lukáše Růžičky, publikovanými v jeho diplomové práci [8]. Autor provedl porovnání 2718 spojení (odpovídajících vhodné dojíždě do zaměstnání) mezi dvojicemi lokalit (částí obcí), zjištěných:

- analýzou dopravní dostupnosti individuální neveřejnou dopravou [6],
- vyhledáním spojení v autobusovém jízdním řádu [8].

| VHD je oproti ID        | Počet spojení |         |         |
|-------------------------|---------------|---------|---------|
|                         | na 6:00       | na 7:00 | na 8:00 |
| rychlejší o 6 - 16 min  | 3<br>2        | 19      | 35      |
| rychlejší o 0 - 5 min   | 77            | 82      | 116     |
| pomalejší o 1 - 5 min   | 100           | 92      | 122     |
| pomalejší o 6 - 15 min  | 147           | 116     | 134     |
| pomalejší o 16 - 35 min | 63            | 41      | 48      |

Tabulka č. 1 Počet spojení (odpovídajících vhodné dojíždě) veřejnou hromadnou dopravou dle rozdílu doby cestování oproti ID (převzato podle [8]).

V práci se mimo jiné konstatuje, že individuální doprava je jednoznačně rychlejší než veřejná hromadná doprava, avšak autor současně upozorňuje (jak ukazuje tabulka č.1), že se vyskytují i opačné případy, kdy ze srovnání vychází jako rychlejší veřejná hromadná doprava. Přestože analýza dopravní dostupnosti území individuální neveřejnou dopravou předpokládala jako dopravní prostředek osobní automobil, vychází v řadě spojení dopravní časy jako delší než časy přepravy linkovým autobusem. Uvedená skutečnost je signálem naznačujícím, že v případě těchto spojení se může jednat o důsledek nedokonalostí původního modelu sítě silničních komunikací. Zároveň se tato spojení mohou stát indikátorem na základě něhož bude

možné rozpoznat případné zlepšení výsledků síťové analýzy prováděné následně v prostředí zpřesněného modelu.

V tabulce č. 2 je ilustrováno porovnání části těchto spojení, přičemž časové rozdíly dosahují až 18 minut ve prospěch cestovního času s pomocí autobusové dopravy. Výše zmíněné rozpory se staly předmětem dalšího zkoumání, které bude popsáno v následujícím textu.

## **Zhodnocení současného stavu modelu**

Současná podoba modelu sítě silničních komunikací, který je předmětem tohoto textu, vznikla v roce 2003 na základě obecného síťového datového modelu, navrženého firmou ESRI pro datový formát ESRI Coverage [11]. Uvedený datový model byl implementován do tematické vrstvy komunikací převzaté z databáze DMÚ25 [6]. Takto vzniklý dopravní model byl následně použit pro účely analýzy dopravní dostupnosti území okresu Bruntál [6] s využitím typové úlohy *hledání nejkratší cesty*.

Východiskem pro zpřesnění modelu je předpoklad, že obecný síťový model ani použitý algoritmus nejsou zdrojem nepřesností. Výše uvedený obecný síťový datový model je možno považovat za datovou strukturu prověřenou mnoha aplikacemi uživatelů z různých oblastí lidské činnosti. Rovněž Dijkstrův algoritmus, používaný v modulu Network programového produktu ArcGIS Workstation pro řešení síťových úloh, lze považovat za dostatečně přesný.

Druhým východiskem je naopak předpoklad, že rezervy je nutno hledat především ve způsobu implementace síťového modelu pro potřeby modelování sítě silničních komunikací a tedy i pro účely provádění analýz časové dostupnosti zkoumaného území. Možným nedostatkům ve způsobu implementace napovídá rovněž nesoulad části výsledků představujících časové nároky při jízdě osobním automobilem a časových nároků autobusové dopravy na téže trase. Jako jeden z dalších možných zdrojů nepřesností není možno opomenout nespojitost grafu, který je součástí geometrické složky popisu geodat představujících síť komunikací.

Postup při zpřesnění modelu silniční sítě se v počátku soustředil na ověření správnosti ohodnocení liniových segmentů grafu hodnotami průměrné rychlosti, které lze dosáhnout při cestování osobním automobilem na odpovídajícím úseku trasy. Kroky vedoucí k výraznému zpřesnění výsledků analýzy dopravní dostupnosti vycházely:

- z vizuální analýzy průběhu dříve stanovených tras,
- z podrobnější analýzy atributů topografických objektů.

| Odkud                    | Kam                    | Číslo spojení<br>individuální<br>dopravou | Přepravní čas<br>[min] |    | Podíl<br>dopravních<br>časů<br>VHD/ID [%] | Rozdíl<br>dopravních časů<br>VHD-ID [min] | Přepravní<br>vzdálenost<br>[km] |    | Podíl<br>dopravních<br>vzdáleností<br>VHD/ID [%] |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------|------------------------|----|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|----|--------------------------------------------------|
|                          |                        |                                           | VHD                    | ID |                                           |                                           | VHD                             | ID |                                                  |
| Krnov                    | Dětrichov nad Bystřicí | 3031                                      | 52                     | 77 | 68                                        | -25                                       | 42                              | 42 | 100                                              |
| Dětrichov nad Bystřicí   | Krnov                  | 3031                                      | 55                     | 77 | 71                                        | -22                                       | 42                              | 42 | 100                                              |
| Zátor                    | Dětrichov nad Bystřicí | 3087                                      | 42                     | 63 | 67                                        | -21                                       | 31                              | 36 | 86                                               |
| Jindřichov [BR]          | Milotice nad Opavou    | 7121                                      | 51                     | 70 | 73                                        | -19                                       | 37                              | 42 | 88                                               |
| Lomnice [BR]             | Krnov                  | 9376                                      | 50                     | 69 | 72                                        | -19                                       | 38                              | 37 | 103                                              |
| Dětrichov nad Bystřicí   | Zátor                  | 3087                                      | 45                     | 63 | 71                                        | -18                                       | 33                              | 36 | 92                                               |
| Milotice nad Opavou      | Krnov                  | 10231                                     | 15                     | 33 | 45                                        | -18                                       | 14                              | 18 | 78                                               |
| Krnov                    | Valšov                 | 11805                                     | 36                     | 54 | 67                                        | -18                                       | 31                              | 30 | 103                                              |
| Brantice                 | Dětrichov nad Bystřicí | 1450                                      | 49                     | 66 | 74                                        | -17                                       | 35                              | 35 | 100                                              |
| Krnov                    | Jindřichov [BR]        | 7143                                      | 25                     | 41 | 61                                        | -16                                       | 23                              | 26 | 88                                               |
| Krnov                    | Milotice nad Opavou    | 10231                                     | 17                     | 33 | 52                                        | -16                                       | 14                              | 18 | 78                                               |
| Krnov                    | Bruntál                | 1690                                      | 25                     | 41 | 61                                        | -16                                       | 23                              | 23 | 100                                              |
| Lomnice [BR]             | Zátor                  | 9432                                      | 40                     | 55 | 73                                        | -15                                       | 29                              | 29 | 100                                              |
| Brantice                 | Milotice nad Opavou    | 1514                                      | 9                      | 23 | 39                                        | -14                                       | 7                               | 12 | 58                                               |
| Břidličná                | Krnov                  | 1843                                      | 52                     | 66 | 79                                        | -14                                       | 36                              | 41 | 88                                               |
| Jindřichov [BR]          | Krnov                  | 7143                                      | 27                     | 41 | 66                                        | -14                                       | 23                              | 26 | 88                                               |
| Milotice nad Opavou      | Zátor                  | 10287                                     | 5                      | 19 | 26                                        | -14                                       | 5                               | 9  | 56                                               |
| Třemešná                 | Milotice nad Opavou    | 10271                                     | 42                     | 56 | 75                                        | -14                                       | 31                              | 34 | 91                                               |
| Bartultovice/Vysoká [BR] | Krásné loučky/Krnov    | 867                                       | 20                     | 34 | 59                                        | -14                                       | 21                              | 21 | 100                                              |
| Vysoká [BR]              | Krásné loučky/Krnov    | 8374                                      | 19                     | 33 | 58                                        | -14                                       | 20                              | 20 | 100                                              |
| Vysoká [BR]              | Lichnov                | 9154                                      | 49                     | 63 | 78                                        | -14                                       | 39                              | 38 | 103                                              |
| Bruntál                  | Moravský Beroun        | 1671                                      | 30                     | 44 | 68                                        | -14                                       | 28                              | 29 | 97                                               |
| Krnov                    | Tvlov/Lomnice [BR]     | 11802                                     | 49                     | 63 | 78                                        | -14                                       | 36                              | 35 | 103                                              |

Tabulka č. 2 Porovnání některých parametrů vybraných spojení individuální neveřejnou dopravou a autobusovou dopravou získaných síťovou analýzou na modelu silniční sítě (původní varianta – před zpřesněním modelu silniční sítě).

## Vizuální analýza průběhu tras

Vizuální analýza byla prováděna s využitím vhodných podkladů, jimiž byla elektronická podoba topografické mapy Bruntálska, sestavená na základě dat DMÚ 25 v prostředí programu ArcView GIS 3.3 a dále autoatlas [10]. Vizualizace jednotlivých segmentů sítě komunikací byla provedena s ohledem na způsob jejich využití.

V průběhu předchozího zpracování [6] byla stanovena časově nejkratší spojení mezi 165 dvojicemi částí obcí v okrese Bruntál. Každému tomuto spojení odpovídá v terénu trasa, vedoucí po vybraných segmentech sítě silničních komunikací. Vizuální analýza průběhu 20 vybraných tras, vykazujících podle [8] značné odchylky od dopravních časů při cestování autobusem, přinesla následující zjištění:

- část tras individuální neveřejné dopravy vede v některých svých úsecích po segmentech dopravní sítě odpovídajících zpevněným cestám,
- bodová lokalizace některých částí obcí se výrazně liší od polohy zastávek autobusů.
- některé liniové geoprvky mají chybně přiřazenu hodnotu atributového údaje vyjadřujícího typ komunikace.

Vedení některých tras individuální neveřejné dopravy po segmentech sítě označených jako „zpevněné cesty“ byla zapříčiněno skutečností, že analýza byla prováděna na kompletních datech představujících pozemní komunikace [6]. Hlavním důvodem pro použití kompletních dat, vztahujících se ke komunikacím, byla snaha vyhnout se výběrovým operacím na základě hodnot atributů popisujících negeometrické vlastnosti komunikací. Tyto atributy jsou totiž zatíženy výskytem chyb, které v případě selekce požadovaných skupin liniových geoprvků vnášejí do výsledné sítě značné množství nespojitostí. Dodatečné odstraňování těchto nespojitostí je pracné, málo přehledné a představuje vlastně opětné přidání těch geoprvků, které byly původním výběrem vyřazeny z dalšího použití.

Předpokladem pro odstranění nevhodného průběhu (analýzou) navrhovaných tras, je větší rozrůznění způsobu využití komunikací a z toho vyplývající ohodnocení segmentů komunikací průměrnou rychlostí. Tato problematika je detailně popsána v následující podkapitole.

Zjištění týkající se výrazné odchylky bodové lokalizace částí obcí a autobusových naznačuje omezenou možnost verifikace výsledků síťové analýzy na základě údajů z autobusových jízdních řádů. Polohy počátečních resp. koncových zastávek, využívaných při síťových analýzách, není možno v určitém množství případů ztotožnit s polohou skutečné autobusové zastávky, protože tato se může v případě některých (především dálkových) spojů nacházet na hlavní komunikaci procházející v blízkosti obce. Specifickým případem jsou rovněž větší obce, které mají na svém území několik autobusových zastávek a rovněž pro tzv. *silniční vsi*, tedy obce s tvarem odpovídajícím směřům průběhu relevantních silničních

komunikací. V těchto obcích bývá pro zajištění lepší dopravní obslužnosti, umístěno několik autobusových zastávek podél zkoumaného spojení resp. podél dopravní trasy.

Tuto argumentaci je možno exaktně doložit porovnáním dopravních časů spojení, stanovených síťovou analýzou, s dopravními časy odpovídajících spojení, zjištěných odečtením z jízdních řádů. Dopravní vzdálenosti (délky tras) náležející spojení, stanoveným síťovou analýzou však z výše uvedených důvodů ve většině případů nejsou shodné s dopravními vzdálenostmi odpovídajících autobusových spojení. Mezi přílohami diplomové práce [8] ing. Lukáše Růžičky je k dispozici databáze údajů extrahovaných z elektronických jízdních řádů, která posloužila při porovnání uvedeném v tabulce č. 2. Porovnání ukázalo shodnou délku trasy (zaokrouhlenou na kilometry) pro 304 spojení z 3117 spojení, která byla k dispozici. Uvedená tabulka porovnává pouze několik vybraných spojení u nichž byly podle [8] nalezeny značné rozdíly mezi přepravními časy individuální a autobusové dopravy a to ve prospěch dopravy autobusové.

Kontrolu správnosti přiřazení atributových údajů liniovým geoprvkům nebylo možno pochopitelně provést v celém rozsahu silniční sítě, neboť s ohledem na jejich celkový počet (191159 liniových geoprvků) by to bylo nesmírně pracné. Proto byla uskutečněna kontrola pouze u omezeného množství liniových geoprvků po nichž směřovala ta spojení, u nichž byly na základě porovnání nalezeny největší rozdíly přepravních časů mezi individuální a autobusovou dopravou. To se týkalo především významných dopravních komunikací (silnice 1. třídy), po nichž prochází podstatná část zkoumaných dopravních spojení individuální dopravy a rovněž veřejné hromadné dopravy. Existence tohoto druhu chyb vede při implementaci síťového modelu k nesprávnému ohodnocení hran a tím se podílí na zkreslení výsledků použité síťové analýzy - *hledání nejkratší cesty*.

### **Analýza atributů topografických objektů**

Analýzou atributů topografických objektů bylo zjištěno, že vhodnou kombinací atributů komunikací lze více diverzifikovat způsoby využití komunikace, v důsledku toho precizněji specifikovat průměrné rychlosti a tedy přesněji stanovit předpokládaný čas potřebný pro překonání úseku komunikace jízdou osobním automobilem. Tím lze částečně odlišit silnice 3. kategorie, které ve vrstvě komunikací (databáze DMÚ25) nejsou výslovně specifikovány.

Hodnocení komunikací s ohledem na způsob jejich využití, použité v předchozí analýze časové dostupnosti, nerozlišovalo komunikace označované v DMÚ 25 jako (viz tabulka č. 3):

- zpevněná cesta
- účelová komunikace

Namísto toho byly komunikace charakterizované tímto způsobem využití generalizovány do kategorie „jiné“, což znemožňovalo preciznější odlišení průměrných rychlostí dosažitelných na jednotlivých segmentech sítě.

| Kód        | Způsob využití komunikace   |
|------------|-----------------------------|
| <b>002</b> | <b>dálniční typ</b>         |
| 003        | železnice                   |
| <b>006</b> | <b>ulice</b>                |
| <b>007</b> | <b>hlavní průjezd</b>       |
| 020        | letišťe                     |
| 201        | pouliční dráha              |
| 202        | vlečka                      |
| 203        | metro                       |
| <b>204</b> | <b>úcelová komunikace</b>   |
| <b>205</b> | <b>zpevněná cesta</b>       |
| <b>206</b> | <b>silnice 1. kategorie</b> |
| <b>207</b> | <b>silnice 2. kategorie</b> |
| <b>999</b> | <b>jiné</b>                 |

Tabulka č. 3 Číselník „kom.tuc“ způsobů využití komunikací.

## Použité programové vybavení

Zpracování dat a experimenty, na základě nichž byl zpracován tento příspěvek, byly prováděny v prostředí programových produktů:

- ArcGIS 9.0 (Workstation)
- ArcView GIS 3.3

Programový balík ArcGIS 9.0 Workstation, konkrétně jeho moduly ARC, ARCPLOT, ARCEDIT a NETWORK, byly využity pro k vyhledání nejkratšího spojení mezi požadovanými částmi obcí a tedy ke zkoumání dopravní dostupnosti. Modul NETWORK využívá k řešení úlohy hledání nejkratší cesty tzv. *Dijkstrova algoritmu* [9].

Produkt ArcView 3.3 byl využíván především k operativní kontrole výsledků analýz a pro editaci popisné složky vstupních geodat.

## Použitá geodata

Klíčovou roli v procesu popisované prostorové analýzy sehrála geodata, představující lokality s umístěním zaměstnavatelů a pracovní síly. Tyto lokality byly reprezentovány bodovými daty, kde jednotlivé geoprvky vyjadřují části obcí okresu Bruntál. Souřadnice těchto bodů odpovídaly těžištům polygonů představujícím části obcí.

Rozhodující význam pro provádění síťových analýz mají data reprezentující síť silničních komunikací. Tato data byla převzata z databáze DMÚ25 a následně upravena pro další analýzy.

## Příprava základních dat pro model silniční sítě

Příprava výchozích geodat (geometrické a tematické složka), popisujících síť silničních komunikací, byla provedena znovu podle stručného návodu, který byl publikován již v minulosti [6]. Při zpracování geodat pro přípravu modelu silniční sítě byl kladen důraz především na kompletnost vrstvy komunikací a na průběžné udržování topologických vztahů mezi liniovými geoprvky. Topologické vztahy umožňují odhalovat případné nedostatky mezi něž patřila dočasná nespojitost linií na liniích představujících někdejší hranice mapových polí a pozdější hranice elementů horizontálního členění databáze DMÚ25. Uvedené nespojitosti se vyskytovaly v počtu řádově stovek případů a byly odstraněny automatizovaným zpracováním (příkaz CLEAN).

Přípravě tematické složky popisu dat liniového charakteru byla věnována značná pozornost, neboť spočívala v odstranění chyb nalezených při vizuální analýze průběhu tras. Jednalo se o nesprávný popis typu komunikace. Tento druh chyb byl odstraněn vložením správného údaje zjištěného v autoatlasu [10]. Nalezení a následná eliminace chyb tohoto typu přispěly ke zmenšení rozdílů cestovních časů mezi porovnávanými typy dopravy.

## Změna implementace síťového datového modelu

Zpřesnění liniového modelu silničních komunikací je založeno na úpravách implementace síťového datového modelu přičemž se počítá s tím, že komunikacím charakterizovaným jako „zpevněná cesta“ bude nově přiřazena průměrná cestovní rychlost 20 km.hod<sup>-1</sup> a komunikace označované jako „účelové komunikace“ budou nově ohodnoceny průměrnou cestovní rychlostí 40 km.hod<sup>-1</sup>. Při porovnání s jinými datovými zdroji, kterým je například autoatlas [10], je zřejmé, že určitá část silničních komunikací označovaných v DMÚ 25 jako „účelové komunikace“ jsou silnice 3. kategorie. Průměrná rychlost zvýšená pro tyto komunikace na 40 km.hod<sup>-1</sup> je vcelku přiměřená. Jak je možno z charakteru zadání předem očekávat, značná část vyhledaných nejrychlejších spojení jednotlivých částí obcí vede ze značné části po tomto typu komunikací a proto lze očekávat zkrácení cestovních časů.

Všechny ostatní komunikace budou nyní nově označeny jako „ostatní“ a bude jim přiřazena průměrná rychlost 20 km.hod<sup>-1</sup> (tabulka č.4).

Implementace síťového modelu počítá dále rovněž s možností ohodnocení linií a uzlů. Jednotlivé silniční segmenty byly postupně vybrány na základě výběrových dotazů založených na způsobu využití komunikací a následně jim byly vloženy průměrné cestovní rychlosti (viz tabulka č. 4), kterými se může v síti pohybovat dopravní prostředek. Za základě délky liniového segmentu a průměrné rychlosti při cestování v segmentu sítě byly spočteny časové nároky, které potřebuje dopravní prostředek pohybující se v síti pro překonání daného úseku.

Pro ohodnocení křižovatek – uzlů – slouží tzv. *tabulka odbočení* (angl. *turn table*), kterou je možno vygenerovat automaticky a zohlednit tak chování dopravního prostředku, jehož jízda by měla být sledována, na křižovatkách. Pomocí tabulky je možno simulovat zpoždění dopravního prostředku na křižovatce při odbočování vlevo či vpravo (světelné

semafore, zvýšený provoz), dosáhnout stavu modelu napodobujícího mimoúrovňové křížení, simulovat zákazy vjezdu atd. Tabulka odbočení byla při přípravě modelu silničních komunikací použita jako mechanismus zabraňující vyhledávacímu algoritmu nalezení průjezdu přes státní území Polské republiky, byla-li tato cesta nejkratší z hlediska časové vzdálenosti.

| Způsob využití komunikace                    | Původní postup<br>(2003)                              | Zpřesněný (aktuální)<br>postup (2004)                 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                              | Průměrná dopravní<br>rychlost [km.hod <sup>-1</sup> ] | Průměrná dopravní<br>rychlost [km.hod <sup>-1</sup> ] |
| dálniční typ                                 | 85                                                    | 85                                                    |
| silnice 1. kategorie                         | 75                                                    | 75                                                    |
| silnice 2. kategorie                         | 55                                                    | 55                                                    |
| hlavní průjezd                               | 40                                                    | 40                                                    |
| ulice                                        | 35                                                    | 35                                                    |
| účelová komunikace (vč. silnic 3. kategorie) | zahrnuto do „ostatní“                                 | 40                                                    |
| zpevněná cesta                               | zahrnuto do „ostatní“                                 | 20                                                    |
| přemostění železnic                          | zahrnuto do „ostatní“                                 | 30                                                    |
| ostatní                                      | 30                                                    | 20                                                    |

Tabulka č. 4 Číselník průměrných rychlostí používaných na jednotlivých typech segmentů sítě silničních komunikací u původního a u zpřesněného modelu sítě silničních komunikací

## Ověření přesnosti liniového dopravního modelu sítě silničních komunikací

Bezprostředně po ukončení implementace síťového datového modelu bylo provedeno ověření přesnosti upraveného dopravního modelu. Ověření bylo postaveno na analýze dopravní dostupnosti pro dojíždku do zaměstnání při individuální neveřejné dopravě.

Výsledky síťové analýzy hledání nejkratší cesty (13530 vyhledaných spojení), byly programem Network uloženy do tabulky zastávek ve formátu, který je popsán v dokumentaci k ArcGIS 9.0 [11]. Bližší podrobnosti související s touto analýzou byly publikovány [6]. Výsledkem hledání nejkratší cesty pro každé požadované spojení mezi dvojicí bodů je tzv. *kumulativní impedance*, tedy souhrnný údaj vypovídající o náročnosti (v tomto případě časové) při překonávání odpovídající trasy v síti silničních komunikací. V tomto případě se předpokládá využití fiktivního dopravního prostředku, pohybujícího se v modelu sítě za zcela teoretických podmínek a omezení.

Dopravní dostupnost může být tedy hodnocena například jako tzv. *časová dostupnost* zkoumaného místa. Ovšem toto hodnocení skrývá celou řadu podmínek a zjednodušení vztahujících se k režimu dopravy, pro něj byla časová dostupnost stanovena. Pro ilustraci lze uvedené podmínky a zjednodušení jako příklad shrnout následovně:

„Dopravním prostředkem byl fiktivní osobní automobil, který jezdil za následujících teoretických podmínek:

- měl konstantní rychlost na daném úseku silniční komunikace,
- nečekal na křižovatkách při odbočování,
- měl stejnou rychlost v obou směrech na daném úseku silniční komunikace,
- projížděl mimoúrovňové křižovatky, jako kdyby byly úrovňové
- atd. ...

K uvedenému je třeba ještě dodat, že nebyl zohledněn stav vozovky daný údržbou a meteorologickými podmínkami, nebyla zohledněna hustota dopravy v danou denní dobu, nebyly zohledněny světelné podmínky dané částí dne, meteorologickými podmínkami, existencí či neexistencí umělého osvětlení, atd.“

## **Zhodnocení výsledků síťové analýzy**

Podstatné zlepšení výsledků, oproti stejnému typu analýzy provedené v roce 2003 na původním modelu silniční sítě, je zřejmé z tabulky č. 5, která srovnává některá spojení vyhledaná v rámci síťové analýzy s odpovídajícími spojeními nalezenými v autobusových jízdních řádech. Toto srovnání je provedeno prostřednictvím vhodných parametrů spojení (dopravního času a vzdálenosti). Uvedená tabulka ilustrativně porovnává pouze několik vybraných spojení, u nichž byly porovnáním přepravních rychlostí nalezeny největší rozdíly.

Přestože obecný síťový model byl implementován velice zjednodušeným způsobem, získané výsledky, přepravní časy vztahující se k jednotlivým spojení, přijatelně reprezentují reálné přepravní časy dosažitelné za výše specifikovaných podmínek ve skutečném provozu.

Jednoduché vyhodnocení posouzení, zda zpřesněný model sítě silničních komunikací lépe odpovídá skutečnosti než model původní, je možné provést na základě srovnání některých souhrnných statistik. Jde o ukazatele spojené s analýzami dopravní dostupnosti provedenými na původním a zpřesněném modelu. Porovnáváno bylo celkem 3117 dopravních spojení, u nichž bylo možno k individuální dopravě nalézt alternativní spojení veřejnou hromadnou dopravou. Z uvedeného počtu odpovídajících si spojení bylo možno nalézt jen asi 10% takových spojení, pro něž existuje totožná délka zjištěná síťovou analýzou a délka uvedená v jízdním řádu. Pro tuto podmnožinu spojení, u níž lze předpokládat, že Dijkstrův algoritmus našel stejnou trasu, po níž mezi dvěma místy probíhá i doprava autobusová, pak bylo možno dále porovnávat dopravní časy spojení (tabulka č. 6). V rámci tohoto porovnání lze konstatovat, že při použití zpřesněného modelu:

| Odkud                    | Kam                    | Číslo spojení<br>individuální<br>dopravou | Přepravní čas<br>[min] |    | Podíl<br>dopravních časů<br>VHD/ID [%] | Rozdíl<br>dopravních<br>časů<br>VHD-ID [min] | Přepravní<br>vzdálenost<br>[km] |    | Podíl<br>dopravních<br>vzdáleností<br>VHD/ID [%] |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------|------------------------|----|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|----|--------------------------------------------------|
|                          |                        |                                           | VHD                    | ID |                                        |                                              | VHD                             | ID |                                                  |
| Krnov                    | Dětřichov nad Bystřicí | 3031                                      | 52                     | 43 | 121                                    | 9                                            | 42                              | 41 | 102                                              |
| Dětřichov nad Bystřicí   | Krnov                  | 3031                                      | 55                     | 43 | 128                                    | 12                                           | 42                              | 41 | 102                                              |
| Zátor                    | Dětřichov nad Bystřicí | 3087                                      | 42                     | 35 | 120                                    | 7                                            | 31                              | 33 | 94                                               |
| Jindřichov [BR]          | Milotice nad Opavou    | 7121                                      | 51                     | 44 | 116                                    | 7                                            | 37                              | 41 | 90                                               |
| Lomnice [BR]             | Krnov                  | 9376                                      | 50                     | 38 | 132                                    | 12                                           | 38                              | 37 | 103                                              |
| Dětřichov nad Bystřicí   | Zátor                  | 3087                                      | 45                     | 35 | 129                                    | 10                                           | 33                              | 33 | 100                                              |
| Milotice nad Opavou      | Krnov                  | 10231                                     | 15                     | 20 | 75                                     | -5                                           | 14                              | 18 | 78                                               |
| Krnov                    | Valšov                 | 11805                                     | 36                     | 30 | 120                                    | 6                                            | 31                              | 29 | 107                                              |
| Brantice                 | Dětřichov nad Bystřicí | 1450                                      | 49                     | 36 | 136                                    | 13                                           | 35                              | 35 | 100                                              |
| Krnov                    | Jindřichov [BR]        | 7143                                      | 25                     | 28 | 89                                     | -3                                           | 23                              | 26 | 88                                               |
| Krnov                    | Milotice nad Opavou    | 10231                                     | 17                     | 20 | 85                                     | -3                                           | 14                              | 18 | 78                                               |
| Krnov                    | Bruntál                | 1690                                      | 25                     | 24 | 104                                    | 1                                            | 23                              | 22 | 105                                              |
| Lomnice [BR]             | Zátor                  | 9432                                      | 40                     | 31 | 129                                    | 9                                            | 29                              | 29 | 100                                              |
| Brantice                 | Milotice nad Opavou    | 1514                                      | 9                      | 14 | 64                                     | -5                                           | 7                               | 12 | 58                                               |
| Břidličná                | Krnov                  | 1843                                      | 52                     | 38 | 137                                    | 14                                           | 36                              | 36 | 100                                              |
| Jindřichov [BR]          | Krnov                  | 7143                                      | 27                     | 28 | 96                                     | -1                                           | 23                              | 26 | 88                                               |
| Milotice nad Opavou      | Zátor                  | 10287                                     | 5                      | 13 | 39                                     | -8                                           | 5                               | 9  | 56                                               |
| Třemešná                 | Milotice nad Opavou    | 10271                                     | 42                     | 35 | 120                                    | 7                                            | 31                              | 34 | 91                                               |
| Bartultovice/Vysoká [BR] | Krásné loučky/Krnov    | 867                                       | 20                     | 18 | 111                                    | 2                                            | 21                              | 21 | 100                                              |
| Vysoká [BR]              | Krásné loučky/Krnov    | 8374                                      | 19                     | 18 | 106                                    | 1                                            | 20                              | 20 | 100                                              |
| Vysoká [BR]              | Lichnov                | 9154                                      | 49                     | 39 | 126                                    | 10                                           | 39                              | 37 | 105                                              |
| Bruntál                  | Moravský Beroun        | 1671                                      | 30                     | 26 | 115                                    | 4                                            | 28                              | 25 | 112                                              |
| Krnov                    | Tvlov/Lomnice [BR]     | 11802                                     | 49                     | 34 | 144                                    | 15                                           | 36                              | 34 | 106                                              |

Tabulka č. 5 Porovnání některých parametrů vybraných spojení individuální neveřejnou dopravou a autobusovou dopravou získaných síťovou analýzou na modelu silniční sítě (původní varianta – po zpřesnění modelu silniční sítě).

- vzrostl počet spojení mezi dvěma místy se totožnou délkou spojení individuální a autobusovou dopravou (cca o 10%),
- poklesl počet spojení mezi dvěma místy, kdy časová vzdálenost individuální dopravou je kratší než časová vzdálenost autobusovou dopravou (téměř o 90%),
- u spojení mezi dvěma místy, kdy časová vzdálenost individuální dopravou je kratší než časová vzdálenost autobusovou dopravou výrazně poklesl průměrný časový rozdíl těchto spojení.

| <b>Popis charakteristiky</b>                                                                        | <b>Původní model sítě silničních komunikací</b> | <b>Zpřesněný model sítě silničních komunikací</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Počet spojení totožné délky pro ID a VHD                                                            | 324                                             | 356                                               |
| Podíl počtu spojení totožné délky pro ID a VHD na celkovém počtu porovnávaných spojení [%]          | 10,4                                            | 11,4                                              |
| Nárůst počtu spojení totožné délky pro ID a VHD při porovnání původního a zpřesněného modelu [%]    | 100,0                                           | 109,9                                             |
| Počet spojení s kratším cestovním časem VHD                                                         | 87                                              | 10                                                |
| Podíl počtu spojení s kratším cestovním časem VHD na celkovém počtu porovnávaných spojení [%]       | 2,8                                             | 0,3                                               |
| Pokles počtu spojení s kratším cestovním časem VHD při porovnání původního a zpřesněného modelu [%] | 100,0                                           | 11,5                                              |
| Průměrný časový rozdíl mezi odpovídajícími si spojeními ID a VHD s kratším cestovním časem [min]    | -4                                              | -1                                                |

Tabulka č. 6 Porovnání souhrnných charakteristik 3117 vybraných spojení nalezených analýzou individuální neveřejné dopravy v prostředí původního a zpřesněného modelu sítě silničních komunikací.

Problém, kterým je popsán model silniční sítě silně zatížen, je značná variabilita dopravních časů, dosažitelných na stejné trase v důsledku mnoha různých parametrů, které je ve vší jejich pestrosti možno jen velice obtížně promítnout do modelu. Z těch lze snadněji zohlednit vlivy dané počasím, denní dobou, ročním obdobím, technickými možnostmi dopravního prostředku apod. Výrazně složitější je potom možnost brát zřetel na atributy spojené lidskou individualitou.

Uvedené parametry by bylo možno za značně zjednodušených podmínek zahrnout do modelu s využitím některých typů dat získaných statistickými šetřeními, která jsou prováděna např. v rámci dopravních studií apod. Výsledkem by potom pro každé dopravní spojení mohl

být časový interval vymezený dosažitelnými přepravními časy, které byly uskutečněné za různých podmínek.

Pro účely dalšího zpřesnění modelu stojí za úvahu možnost zvolit pro analyzování dostupnosti vhodnějších východisek např. přesnost popisu jednotlivých komponent síťového modelu a rovněž přiměřeného matematického aparátu pro vyjadřování variability dosažitelných přepravních časů.

## **Závěr**

Bezprostředním podnětem pro zpřesnění liniového dopravního modelu sítě silničních komunikací byla zjištění publikovaná v diplomové práci ing. Růžičky [8]. Informace vyplývající z analýzy dopravní obslužnosti a s tím spojené výsledky analýzy dostupnosti částí obcí veřejnou hromadnou dopravou není možno použít jako metodu ověření analýzy dopravní dostupnosti částí obcí, provedené síťovou analýzou hledání nejkratší cesty v prostředí modelu sítě silničních komunikací.

Korektní porovnání přepravních rychlostí individuální a autobusové dopravy by v případě těchto obcí vyžadovalo ztotožnění polohy počátečních resp. koncových zastávek pro každé zkoumané dopravní spojení. To by znamenalo opravu lokalizace vztažných bodů reprezentujících část obce a jejich ztotožnění s polohou nejbližší autobusové zastávky. Ztotožnění však není v řadě případů možné například proto, že autobusové zastávky se v případě některých dálkových autobusových tras mohou nacházet na komunikaci vedoucí v blízkosti obce a obcí tedy bezprostředně neprocházejí.

V případě některých spojení zjištěných síťovou analýzou, u nichž se přepravní časy výrazně liší od přepravních časů odpovídajících autobusových spojení ve prospěch autobusové dopravy, je možné tuto odchylku považovat pouze za signální.

## **Poděkování**

Příspěvek vznikl na základě finanční podpory Grantové agentury České republiky v rámci projektu GA 402/02/0855 „Modelování trhu práce s využitím geoinformačních technologií“. Děkujeme pracovníkům Úřadu práce Bruntál za spolupráci a poskytnutá data.

## **Literatura**

- [1] Horák, J. (2002): *Prostorová analýza dat*. [on-line] Ostrava, 2002, 180 s. Dostupné na WWW: <<http://gis.vsb.cz/pad/>>
- [2] Hůrský, J.: *Metody grafického znázornění dojížděky do práce*. Praha, Rozpravy československé akademie věd, řada matematických a přírodních věd, ročník 79, 1969, sešit 3, Academia, 85 s.
- [3] Kusendová, D.: *Analýza dostupnosti obcí Slovenska*. In Sborník referátů konference „Aktivity v kartografii '96“, Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav SAV, Bratislava, s. 29-49.

- [4] Peňáz, T., Horák, J: *Využití DMÚ 25 pro prostorovou analýzu nezaměstnanosti na území okresu Nový Jičín*. In: Sborník referátů z konference „GIS Ostrava 2000“. VŠB-TU Ostrava, 23.- 26. 1. 2000, ISSN 1211-4855, s. 48-52.
- [5] Peňáz, T., Horák, J., Horáková, B.: *Analýza územní dostupnosti významných firem na území okresu Nový Jičín*. In GIS ve státní správě 2000, Seč u Chrudimi, Univerzita Pardubice, 2000, s. 280-288.
- [6] Peňáz, T., Horák, J.: *Určování dopravní dostupnosti pro dojíždku do zaměstnání při individuální neveřejné dopravě*. In Sborník referátů z konference „GIS Ostrava 2004“, Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 25.- 28. 1. 2004, ISSN 1213-2454, 15 s.
- [7] Peňáz, T.: *Hodnocení individuální neveřejné dopravy ve vztahu k vybraným ukazatelům trhu práce*. In Sborník referátů z konference „GIS Ostrava 2005“, Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 23.- 26. 1. 2005, ISSN 1213-2454, 8 s.
- [8] Růžička, L.: *Dostupnost zaměstnavatelů v okrese Bruntál*. Diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, 2004.
- [9] Růžička, L., Horák, J., Peňáz, T.: *Dostupnost zaměstnavatelů v okrese Bruntál*. [CD-ROM] In Sborník referátů z konference „GIS Seč 2003“, 11.-13.6.2003, Seč u Chrudimi, 2003, 11 s.
- [10] -----: *Česká republika. Autoatlas 1:100000*. Kartografie Praha, 2003.
- [11] -----: *Network analysis*. [CD-ROM] Elektronická dokumentace k produktu ArcGIS 9.0 Workstation, ESRI, Redland, 2004.