

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

## **Diplomová práce**

# **Sít'ové analýzy v GIS pro složky IZS**



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Karla Jedličky vypracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu jsem uvedl v seznamu literatury.

V Plzni 20. května 2009

Jakub Sladký

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce panu Ing. Karlu Jedličkovi za jeho ochotu, svědomitost, rady a připomínky, které pro mě při tvorbě práce byly velmi užitečné a poučné. Můj dík patří také pracovníkům Zdravotnické záchranné služby Plzeňského kraje a Hasičského záchranného sboru Plzeňského kraje za jejich ochotu při poskytování informací a dat.

**Abstrakt:**

Teoretická část práce popisuje datové reprezentace a datové modely užívané v geografických informačních systémech (GIS). Jsou zde diskutovány výhody a nevýhody jednotlivých datových reprezentací, uvedeno jedno z možných dělení používaných datových modelů a popsány jejich vlastnosti. Dále je v práci uveden přehled nejpoužívanějších vektorových datových formátů jako konkrétních implementací vektorové datové reprezentace, respektive vektorových datových modelů. Praktická část práce se zabývá síťovou analýzou, konkrétně modelováním silniční sítě a pravidel pro pohyb po komunikacích na území Plzeňského kraje. Nad vytvořeným modelem silniční sítě byla provedena analýza dojezdnosti vozidel Hasičského záchranného sboru Plzeňského kraje (HZS PK) a Zdravotnické záchranné služby Plzeňského kraje (ZZS PK). Mimo to jsou v práci uvedena základní fakta o struktuře a činnosti těchto složek Integrovaného záchranného systému a stručný úvod do teorie grafů.

**Klíčová slova:**

Geografické datové reprezentace, geografické datové modely, geografické datové formáty, geografické informační systémy, síťová analýza, modelování sítě komunikací, dojezdnost, dojezdová doba.

**Abstract:**

The theoretical part of this thesis describes data representations and data models using by Geographical Information Systems (GIS). Advantages and disadvantages of particular representations are discussed here. I am mentioning one of possible dividing of recently used data models and its properties. Furthermore a list of the most common data formats is mentioned as a particular implementation of vector-based data representations and models. The practical part is dealing with network analysis especially with modeling of a road network in the Western bohemia region. Created network model is used for service area analysis. This analysis is set up for vehicles of fire-brigade and ambulance units of Western bohemia. Basic facts about structure of these branches of joint rescue service and introduction to graph theory are also mentioned here.

**Keywords:**

Geographical data representations, geographical data models, geographical data formats, geographical information systems, network analysis, road network modeling, radius of action, service area.

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Datové reprezentace a datové modely v GIS .....</b>	<b>2</b>
2.1 O datech obecně .....	2
2.2 Datové reprezentace.....	3
2.2.1 Rastrová datová reprezentace .....	4
2.2.2 Vektorová datová reprezentace .....	5
2.2.3 TIN .....	7
2.3 Výhody a nevýhody rastrové a vektorové datové reprezentace .....	8
2.4 Vektorové datové modely .....	9
2.4.1 Organizace dat .....	10
2.4.2 Uložení dat .....	11
(i) Špagetový datový model .....	11
(ii) Topologický datový model .....	11
(iii) Hierarchický datový model .....	12
2.4.3 Tvorba topologie .....	12
<b>3. Formáty vektorových dat .....</b>	<b>13</b>
3.1 Formáty vektorových dat software ESRI ArcGIS .....	13
3.1.1 Coverage .....	13
3.1.2 Shapefile .....	15
3.1.3 Geodatabase .....	17
3.2 Formáty vektorových dat software Autodesk AutoCAD Map 3D .....	19
3.3 Formáty vektorových dat software Bentley Microstation .....	20
3.4 Formáty vektorových dat software Kokeš .....	21
3.5 Formáty vektorových dat software MapInfo .....	22
3.6 Formáty vektorových dat software OCAD .....	22
3.7 Formáty vektorových dat založené na XML .....	22
3.8 Výměnný formát digitální katastrální mapy .....	23
<b>4. Základní báze geografických dat ZABAGED a její datové modely .....</b>	<b>25</b>
4.1 ZABAGED.....	25
4.2 Datové modely ZABAGED.....	25

4.3 Distribuční formáty dat ZABAGED .....	26
<b>5. Teorie grafů a sítě v GIS .....</b>	<b>28</b>
5.1 Síťové modely v software ESRI ArcGIS .....	29
5.1.1 Geometrická síť .....	29
5.1.2 Síťový dataset .....	30
<b>6. Integrovaný záchranný systém .....</b>	<b>31</b>
6.1 O integrovaném záchranném systému .....	31
6.2 Zdravotnická záchranná služba Plzeňského kraje .....	31
6.3 Hasičský záchranný sbor Plzeňského kraje .....	33
<b>7. Faktory ovlivňující dojezdovou dobu .....</b>	<b>35</b>
<b>8. Příprava dat .....</b>	<b>36</b>
8.1 Použitá data a jejich předzpracování .....	36
8.1.1 Rozdělení původní vrstvy <i>Komunikace</i> do nových vrstev podle typu objektu .....	36
8.1.2 Editace hrubých chyb v atributech a polohopisu .....	38
8.1.3 Import dat do geodatabáze a doplnění některých atributů .....	45
8.1.4 Kontrola topologie .....	48
8.1.5 Modelování silniční sítě a tvorba síťového datasetu .....	49
<b>9. Analýza dojezdnosti .....</b>	<b>50</b>
9.1 Nastavení parametrů analýzy .....	50
9.2 Kontrola a oprava dosažených výsledků analýzy pro HZS PK .....	55
9.2.1 Kontrola výsledků pro požární stanici Rokycany – den .....	56
9.2.2 Kontrola výsledků pro požární stanici Rokycany – noc .....	57
9.2.3 Kontrola výsledků pro požární stanici Klatovy – den .....	59
9.2.4 Kontrola výsledků pro požární stanici Klatovy – noc .....	61
9.2.5 Shrnutí výsledků analýzy pro HZS PK .....	63
9.3 Kontrola a oprava dosažených výsledků analýzy pro ZZS PK .....	63
<b>10. Závěr .....</b>	<b>66</b>
<b>Seznam použité literatury a zdrojů</b>	
<b>Seznam obrázků</b>	
<b>Seznam tabulek</b>	
<b>Seznam příloh</b>	
<b>Přílohy</b>	

# 1. Úvod

Podle výkladového slovníku Ministerstva hospodářství je geografický informační systém (GIS) organizovaná kolekce počítačového technického vybavení, programového vybavení, geografických dat a personálu určená k účinnému sběru, pamatování, údržbě, manipulaci, analýze a zobrazování všech forem geograficky vztažené informace [29].

V závislosti na vhodných datech, pak může být oblast, kde je možné GIS využít, nesmírně široká. Vezmeme-li v úvahu například státní správu, dojdeme k tomu, že pro fungování většiny jejích odvětví je využívání GIS přímo nezbytné. Jmenujme aspoň některé jako doprava, zemědělství, armáda, zdravotnictví, ale například i památková péče. Výsledky analýz, které lze pomocí GIS zpracovat, pak mají zásadní vliv na rozhodovací procesy ve zmíněných odvětvích. Pro svoji diplomovou práci jsem si zvolil téma spadající do několika oblastí, zejména do dopravy, a sice síťové analýzy pro složky Integrovaného záchranného systému (IZS).

V teoretické části práce jsem se rozhodl zaměřit na, dle mého názoru, nejdůležitější složku GIS – geografická data. Cílem je ukázat různé formy reprezentace geografických dat, přičemž důraz je kladen na vektorovou datovou reprezentaci a vektorové datové modely. Dále pak chci vytvořit přehled nejpoužívanějších formátů vektorových geografických dat s popisem jejich vlastností.

V praktické části chci stanovit oblasti, do kterých by se vozy složek IZS měly být schopny dostat v určitém stanovém časovém intervalu. Tyto oblasti budou určeny na základě analýzy sítě komunikací v Plzeňském kraji. Součástí analýzy jakékoliv sítě je tvorba jejího modelu. Tento model vyjadřuje vztahy mezi prvky sítě, jejich vlastnosti, vlastnosti sítě jako celku a definuje její ohodnocení. Ohodnocení sítě v tomto případě vyjadřuje časovou náročnost přesunu vozu z místa A do místa B v rámci sítě komunikací v Plzeňském kraji. Ohodnocení se zde přímo odvíjí od stanovení rychlosti jízdy na jednotlivých typech komunikací. Tyto rychlosti jsou více či méně ovlivňovány nejrůznějšími faktory. Vyjmenování faktorů ovlivňujících rychlost, tedy i dojezdovou dobu vozů a jejich zohlednění v analýze je dalším z cílů mé práce.

Správnost analýzy bude posuzována na základě porovnání výsledků jednak s reálnými dojezdovými časy a také s již provedenými analýzami podobného charakteru.



## 2. Datové reprezentace a datové modely v GIS

V této kapitole jsou popsány formy reprezentace geografických dat, výhody a nevýhody při jejich použití a datové modely používané pro jejich ukládání.

### 2.1 O datech obecně

*Data* jsou definována jako soubor faktů, ve formě formalizovaného zápisu, který byl systematicky nashromážděn pro jeden či více specifických účelů. *Geografická data* pak jsou speciálním typem dat, která mají prostorové určení, vztahují se k objektům reálného světa a jsou určena v čase. Geografická data obsahují popisný a grafický element. *Popisný element* (neprostorová data) říká, jaký objekt data představují a *grafický element* (prostorová data) říká, jak tento objekt vypadá (jaký má tvar), kde je umístěn, a jak prostorově závisí na ostatních prvcích [5]. Časová složka dat je součástí popisného elementu.

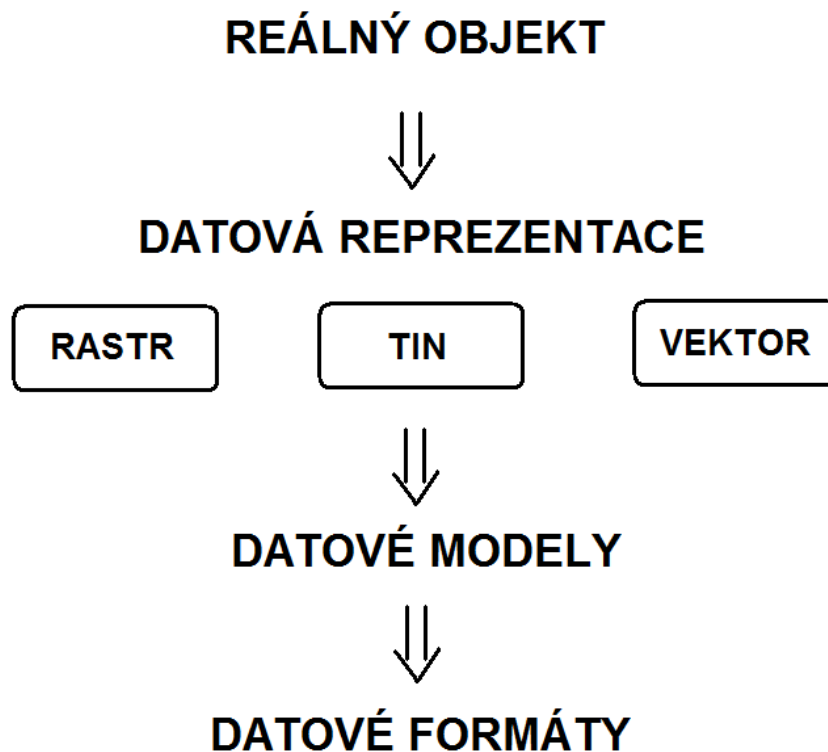
Pro data včetně těch geografických jsou využívány tzv. datové reprezentace. *Datová reprezentace* je forma, v jaké jsou data uložena [7].

Data (ve formě konkrétní datové reprezentace) jsou dále uložena podle určitého schématu tzv. datového modelu. *Datový model* je z hlediska softwarového inženýrství abstraktní model, který popisuje, jak jsou data reprezentována a jak je k nim přistupováno [6]. Datové modely formálně definují datové objekty a vztahy mezi nimi pro konkrétní oblast zájmu. V geografických informačních systémech je datový model matematický výraz pro reprezentaci geografických objektů jako dat [6].

Další definice pak hovoří o datovém modelu jako generalizovaném, uživatelem definovaném pohledu na data, která reprezentují reálný svět [4].

Datové modely vznikají procesem datového modelování. *Datové modelování* je proces definování prvků zájmu z reálného světa na základě jejich charakteristiky a vztahů s ostatními takovými prvky [5].

GIS a CAD software pak pracují s geografickými daty uloženými v nejrůznějších datových formátech. *Datový formát* je specifikace struktury, pomocí které jsou data uložena na paměťovém médiu [27].



Obrázek 2.1: Přechod od reálného objektu k datovému formátu

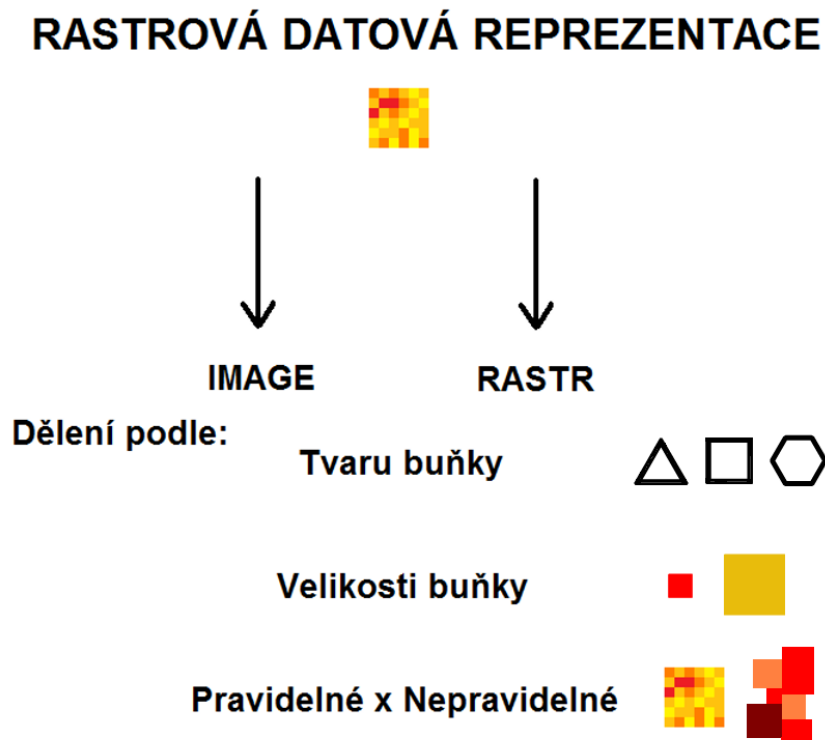
## 2.2 Datové reprezentace

V oblasti GIS jsou pro reprezentaci geografických dat užívány tři datové reprezentace: *rastrová*, *vektorová* a *TIN* (Triangulated Irregular Network). Zatímco rastrová datová reprezentace se používá pro zobrazování spojitě se měnících jevů jako rozložení teplot nebo výšek, vektorová datová reprezentace se využívá pro zobrazování objektů a prvků s diskrétní hranicí jako pozemky, budovy a podobně. Rastrová datová reprezentace je pak také využívána pro zobrazování leteckých snímků nebo skenovaných map a dokumentů. TIN je svojí strukturou na pomezí mezi vektorem a rastrem a velice často se používá pro reprezentaci povrchů, například digitálního modelu reliéfu – DMR [3].

Dále jsou popsány základní principy rastrové, vektorové a TIN datové reprezentace. Podrobnější informace je možné nalézt v [3], [19] nebo [28]. Není-li uvedeno jinak, vychází text především z [3].

## 2.2.1 Rastrová datová reprezentace

Pomocí rastrové datové reprezentace jsou zobrazovány dva typy dat: *klasické rastry* - pouze jednopásmová data, znázorňující rozložení vždy jen jednoho geografického jevu a *obrazová data* tzv. *Image* – vícepásmová data jako snímky DPZ, ortofoto apod.



Obrázek 2.2: Rastrová datová reprezentace

Elementární jednotkou rastrové reprezentace dat je *buňka*. Jednotlivé buňky jsou spojeny do bloku tzv. *mozaiky*. Každá buňka je nositelem hodnoty, která nějakým způsobem charakterizuje území reprezentované buňkou. Na základě tvaru buňky rozlišujeme rastry se *čtvercovou*, *hexagonální* a *trojúhelníkovou* buňkou (TIN).

Nejpoužívanějším tvarem buňky je čtverec. V mozaice ze čtvercových buněk (mřížce) můžeme snadno každé z nich přidělit kartézské souřadnice, což je hlavní předností tohoto typu buňky. Problémem u čtvercové mřížky je metrika, tedy definice vzdálenosti dvou sousedních buněk. V GIS se používají tyto:

- *Bloková metrika* – vzdálenost středů dvou buněk je definována jako minimální počet překonaných hran (diagonální vzdálenost, tj. vzdálenost buněk sousedících rohem, je 2).
- *Šachovnicová metrika* – vzdálenost středů dvou buněk je definována jako minimální počet překonaných hran i středů (diagonální vzdálenost je 1).
- *Euklidovská metrika* – vzdálenost středů dvou buněk **A** a **B** je definována jako  $d = \sqrt{(Xa - Xb)^2 + (Ya - Yb)^2}$ , kde  $Xa, Ya$  a  $Xb, Yb$  jsou souřadnice středů buněk **A** a **B**.

Čtvercová mřížka je v počítači implementovatelná jako základní datový typ ve většině programovacích jazyků a může s ní být tedy poměrně jednoduše pracováno. Zařízení jako skenery a tiskárny taktéž využívají čtvercovou mřížku.

Mřížka z hexagonálních buněk má, oproti čtvercové, výhodu v tom, že středy jednotlivých buněk jsou od sebe stejně vzdáleny. Tento typ buněk se ovšem využívá jen zřídka.

Rastry dále můžeme dělit na *pravidelné* a *nepravidelné*. V pravidelném rastru mají všechny buňky stejnou velikost. To na jednu stranu zjednodušuje práci s rastrem, ovšem na straně druhé přináší vyšší nároky na diskovou kapacitu. Různě velké buňky nepravidelného rastru zase mohou lépe vystihnout realitu, ale jen za cenu náročného algoritmického a výpočetního zpracování.

Rastrová reprezentace dat uchovává informace o geometrických primitivech, bodech, liniích a plochách, následovně. Bod odpovídá buňce rastru, linie řetězci spojených buněk se stejnou hodnotou a plocha pak skupině sousedících buněk se stejnou hodnotou.

### 2.2.2 Vektorová datová reprezentace

Vektorová datová reprezentace vyjadřuje objekty reálného světa pomocí základních geometrických prvků. Tím nejzákladnějším geometrickým elementem vektorového datového modelu je *bod* (point). Ten je jednoznačně definován vektorem svých souřadnic (nejčastěji dvojicí). V topologickém smyslu se takovýto objekt nazývá *uzel* (node, junction) a jeho dimenze je 0. Body ve vektorové datové reprezentaci mohou:

- reprezentovat počáteční a koncové body hran nebo mezilehlé body, viz dále,
- reprezentovat bodový objekt (nebo takový objekt, který se vzhledem k míře generalizace jeví jako bodový).

Množinu bodů lze reprezentovat jako jeden prvek tzv. *multibod* (multipoint). Ten je pak vyjádřen seznamem souřadnic.

Přímá spojnice spojující dva body se nazývá *linie* (line) - v geometrickém smyslu. V topologickém smyslu se linie nazývá *hrana* (edge) nebo také *oblouk* (arc). Linie začíná a končí v uzlu a má dimenzi 1. Linie, stejně jako body, mohou mít ve vektorové datové reprezentaci dvě úlohy:

- reprezentace liniového objektu,
- jako součást hranice mezi dvěma plošnými objekty viz princip okřídlené hrany v kapitole 2.4.2.

Některý software kromě linií používá i obecné křivky například spline. Při migraci dat do jiného software se tato křivka aproximuje použitím *mezilehlých bodů* (vertex) spojených *přímými liniovými segmenty* (straight line segment).

Stejně jako u bodového elementu, existuje i pro linii speciální typ elementu pro reprezentaci množiny linií jako jednoho prvku tzv. *multilinie* (multiline).

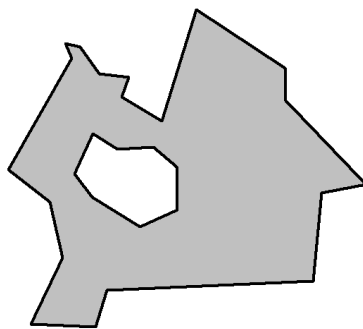
Toto jsou hlavní principy vektorové datové reprezentace a její základní prvky, jejichž kombinací vznikají další, složitější objekty.

*Řetězec linií* (linestring, polyline, chain) je prvek splňující následující podmínky [29]:

- každá linie je v řetězci linií jen jednou,
- kromě prvního a posledního uzlu v řetězci, se ostatní uzly vyskytují přesně ve dvou liniích příslušných řetězci,
- pokud se i první a poslední uzel vyskytuje ve dvou liniích, je tento řetězec uzavřený (linear ring).

Jeho dimenze je 1.

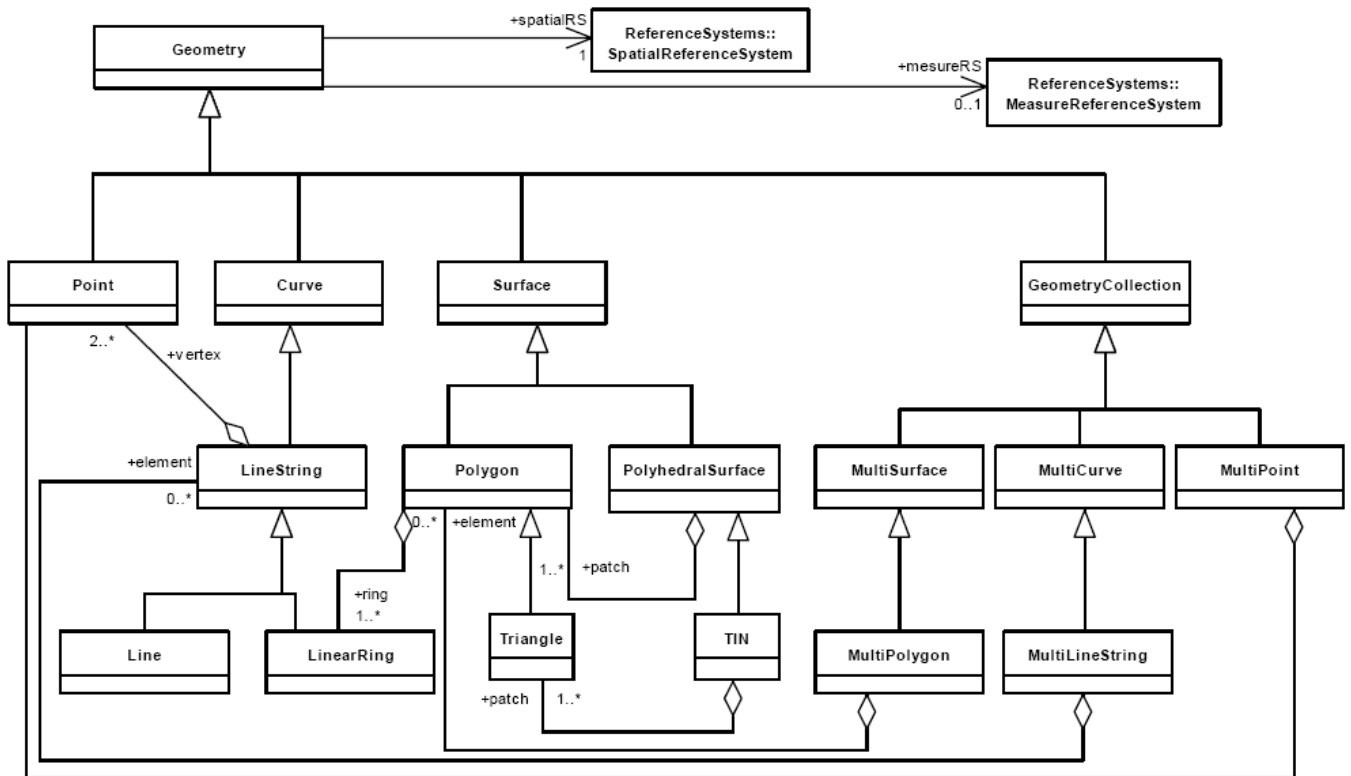
*Plocha* (area, v topologickém smyslu polygon) je definována jako uzavřená linie (linear ring) nebo řetězec linií - tzn. že první a poslední uzel je identický. Její dimenze je 2. Množinu polygonů lze také reprezentovat jedním prvkem – *multipolygonem*. Dalším speciálním typem polygonu je *polygon s dírou* tedy polygon uvnitř polygonu, viz obrázek 2.3.



Obrázek 2.3: Polygon s dírou

*Povrch* (surface) je plocha s přiřazenými hodnotami v každém jejím bodě, tedy i v bodech vnitřních (např. nadmořská výška); má dimenzi "2.5".

Přehled prvků vektorové datové reprezentace podává obrázek 2.4, který byl převzatý z dokumentu OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture verze 1.2.0, který je dostupný z [42].



Obrázek 2.4: Hierarchie prvků vektorové datové reprezentace

Většina GIS a CAD software využívá ještě další geometrické objekty, které jsou ovšem specifické vždy pro konkrétní prostředí, respektive pro oblast použití tohoto software.

### 2.2.3 TIN

Tato reprezentace byla vyvinuta počátkem roku 1970, za účelem snadné tvorby modelu povrchu z množiny bodů nepravidelně umístěných v prostoru. Komerčně se TIN začala využívat zhruba o deset let později [30].

TIN reprezentuje povrch jako soubor trojúhelníků, které jsou definovány třemi body umístěnými kdekoliv v prostoru a pro tyto trojúhelníky uchovává topologické vztahy (topologie viz kapitola 2.4.2). Jednotlivé trojúhelníky implicitně obsahují údaje o svém sklonu a směru tohoto sklonu, čehož se využívá pro reprezentaci digitálního modelu reliéfu.

V počítači může být TIN uložena například ve třech seznamech: v seznamu trojúhelníků, v seznamu hran těchto trojúhelníků a v seznamu souřadnic vrcholů těchto trojúhelníků [29].

## 2.3 Výhody a nevýhody rastrové a vektorové datové reprezentace

Nemůžeme jednoznačně rozhodnout, která z těchto reprezentací je obecně lepší. Obě mají své výhody i nevýhody. Na základě znalosti těchto výhod a nevýhod můžeme ovšem rozhodnout, která z nich bude vhodnější pro reprezentaci dat, nad kterými chceme provést nějakou konkrétní analýzu.

Následující srovnání je zpracováno především podle [8].

Výhody rastrové datové reprezentace:

- snadná analýza a zpracování překrytí (mapová algebra),
- geografická pozice každé buňky je dána pozicí v rastru, není tedy třeba uchovávat souřadnice bodů kromě počátečního,
- analýza dat je obvykle snadno naprogramovatelná a proveditelná,
- vhodnější pro modelování jevů a statistických charakteristik,
- kompatibilní se vstupními a výstupními zařízeními.

Nevýhody rastrové datové reprezentace:

- data vyjadřují pouze jednu vlastnost (atribut),
- detail – celý obraz je reprezentován stejným způsobem, tudíž uložení velké oblasti, skládající se z pixelů stejného typu, není nijak optimalizováno,
- velikost buňky určuje rozlišení,
- v závislosti na velikosti buňky může být složité reprezentovat liniové prvky,
- velké paměťové nároky.

Výhody vektorové datové reprezentace:

- přirozená reprezentace mnoha objektů reálného světa,
- objekty mohou být reprezentovány v původním rozlišení bez nutnosti generalizace,
- poskytují kvalitnější grafický výstup,
- efektivnější pro analýzy a operace vyžadující topologii (topologie viz kapitola 2.4.2.2).

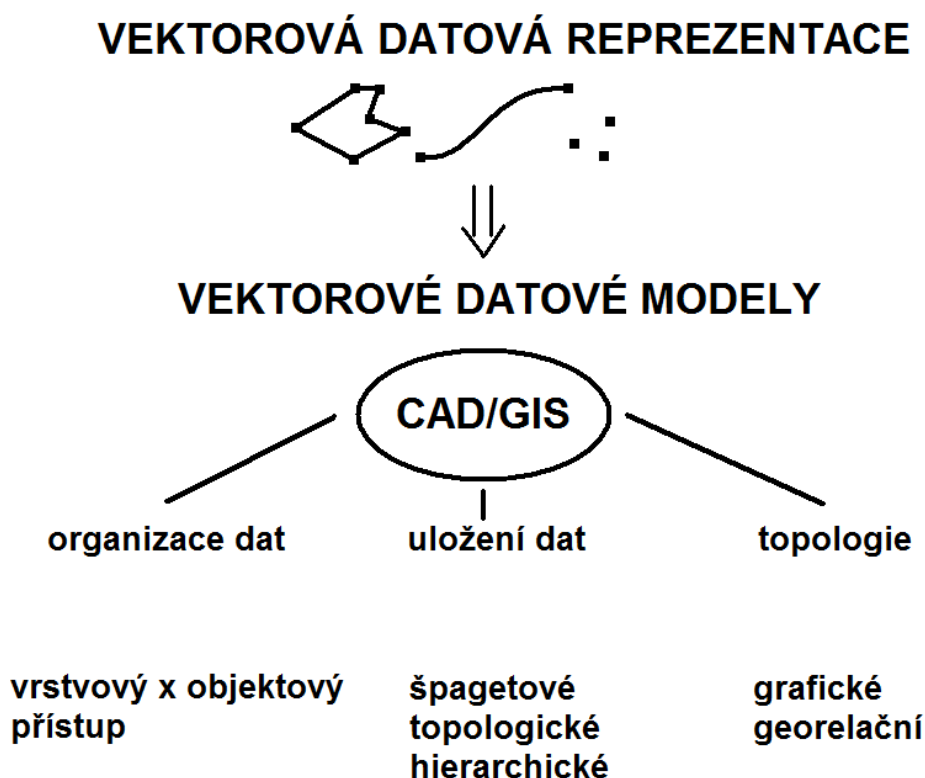
Nevýhody vektorové datové reprezentace:

- pozice každého bodu musí být explicitně uložena,
- nutnost vytváření topologie a s tím související čištění dat,
- algoritmy některých analytických funkcí jsou velmi komplexní a jejich průběh je zdlouhavý, což limituje funkcionalitu pro velké objemy dat,
- pro zobrazení spojitých dat je třeba jistá míra generalizace,
- atributové hodnoty se vztahují k celé ploše polygonu, což je nevýhodné pro některé analýzy.

## 2.4 Vektorové datové modely

V této podkapitole popisují dělení vektorových datových modelů z několika hledisek, viz obrázek 2.5 a jejich vlastnosti. Dále jsou zde stručně popsány základní topologické principy užívané v GIS.

Rozdělení vektorových datových modelů do kategorií není jednoznačnou záležitostí. Mohou být děleny podle různých kritérií, viz například [3] vs. [37] podobné dělení uvádí také [19]. V druhém případě autoři například vůbec nerozlišují pojmy datová reprezentace a datový model. Ať už vektorové datové modely rozdělíme jakkoliv, vždy, zejména pak v konkrétní softwarové implementaci, se budou jednotlivé kategorie prolínat.



Obrázek 2.5: Dělení vektorových datových modelů

V první řadě se vektorové datové modely dělí, dle oblasti užití dat v nich uložených, na GIS a CAD datové modely.

GIS pracuje především s geografickými daty, zatímco CAD systémy jsou primárně určeny pro modelování objektů ve strojírenství nebo stavebnictví. CAD datové modely umožňují práci se složitějšími geometrickými prvky jako například elipsou nebo spline. GIS datové modely si oproti tomu vystačí se základními geometrickými prvky vektorové datové reprezentace.

Hlavním rozdílem je způsob, jakým tyto dva modely užívají vrstvy pro ukládání jednotlivých prvků a jak ukládají atributy k těmto prvkům. V GIS datových modelech jsou



atributy i geometrie prvku uloženy společně. CAD datové modely ukládají atributy odděleně v databázovém souboru. Z tohoto důvodu GIS rozděluje prvky do vrstev na základě tematiky, zatímco v CAD slouží vrstvy k vyjádření některých atributů (např. ve vrstvě číslo 1 jsou plnou modrou čarou vykresleny vodní toky).

GIS datové modely (systémy samotné) jsou také obecně starší. Pojem GIS, jak ho chápeme dnes, zavedl roku 1963 Tomlinson. První GIS (CGIS) byl uveden do provozu v roce 1971, zatímco CAD systémy se začaly rozvíjet až v průběhu 80. let [38].

V dalším kroku lze vektorové datové modely dělit z hlediska:

- organizace dat,
- uložení dat,
- tvorby topologie.

### 2.4.1 Organizace dat

Data mohou být ve vektorovém datovém modelu organizována buď ve vrstvách – *vrstvomý přístup* nebo pomocí principů objektově orientovaného programování – *objektový přístup* [3].

Ve vrstvomém přístupu jsou data rozdělena do jednotlivých skupin (vrstev) na základě tematiky, tedy toho jaký prvek reprezentují ve skutečném světě. Mezi hlavní výhody tohoto přístupu pak patří zejména možnost vytváření tematických hierarchií a jednoduché vyhledávání pomocí atributu [3].

Tak, jak v poslední době roste popularita objektově orientovaného programování, roste i obliba objektově orientovaného přístupu ke geografickým datům. Hlavními znaky tohoto přístupu dle [3] jsou:

- každý objekt obsahuje geometrii, topologii, tematiku (atributy) a dále i chování (metody),
- objekty je možné sdružovat do tříd objektů, objekt je pak instancí (prvkem) takovéto třídy,
- je možné vytvářet hierarchické vztahy mezi objekty (rodič - potomek),
- atributy a metody je možné dědit.

Výhod tohoto přístupu je pak celá řada. Za všechny uveďme aspoň snadné vyhledávání jednotlivých objektů nebo dědičnost, díky níž je velmi pružné definování tříd.

## 2.4.2 Uložení dat

Podle toho, jakým způsobem datový model data fyzicky ukládá, se vektorové datové modely dělí na:

- *špagetový*,
- *topologický*,
- *hierarchický*.

Následující text byl zpracován podle [3] a [29].

### (i) Špagetový datový model

Tento nejjednodušší vektorový datový model pro geografická data je vlastně přímý přepis mapy čára po čáře do digitální podoby. Každý objekt mapy se stane logickým záznamem, jenž je definován jako řetězec souřadnic. Mapa zůstává konceptuálním modelem a soubor souřadnic její datovou strukturou. Nevýhodou tohoto modelu je, že neposkytuje informaci o prostorových vztazích mezi objekty, ačkoliv jsou všechny v prostoru definovány. Řetězce souřadnic postrádají vnitřní logickou strukturu. Další zřejmou nevýhodou je, že hranice sousedních polygonů je ukládána dvakrát, dochází tedy k redundanci dat. Špagetový model je velmi neefektivní pro většinu prostorových analýz, protože veškeré potřebné prostorové vztahy musejí být nejprve odvozeny přes výpočet. Je však využíván v počítačové kartografii, kde ho absence prostorových vztahů nelimituje, naopak je velice efektivní díky své jednoduchosti.

### (ii) Topologický datový model

*Topologie* je matematický způsob, jak explicitně vyjádřit prostorové vztahy mezi jednotlivými geometrickými prvky. Použití topologie umožňuje modelovat prostorové vztahy mezi prvky jako sousednost, průnik nebo překrytí. Pokud by byly všechny prostorové vztahy mezi prvky uloženy explicitně, velmi by to usnadnilo provádění prostorových analýz ovšem za cenu velkého diskového prostoru potřebného k uložení těchto vztahů. Z tohoto důvodu se prostorové vztahy vypočítávají.

Pozn.: U rastrové datové reprezentace je topologie dána implicitně na základě polohy buňky v rastru. Uvažujeme-li pravidelnou čtvercovou mřížku, je tato poloha dána počátečním bodem, velikostí buňky a počtem buněk ve směru osy X a Y.

V případě vektorové datové reprezentace se topologie vyjadřuje explicitně. Tři základní topologické principy vektorové datové reprezentace jsou:

- *Konektivita* – dvě linie se na sebe napojují v uzlech.
- *Definice plochy* – linie, které uzavírají nějakou plochu, definují polygon.
- *Sousednost (princip okřídlené hrany)* – linie mají směr a nesou informaci o objektech (polygonech) napravo a nalevo od nich.

Nejpoužívanější datový model, který uchovává prostorové vztahy mezi jednotlivými prvky, je topologický datový model. V tomto modelu každá hrana začíná a končí v uzlu – průsečíku s jinou hranou. Dále má zaznamenané označení a souřadnice dvou svých uzlových bodů, identifikátor polygonů ležících napravo a nalevo od hrany. Tímto způsobem jsou zachovány základní prostorové vztahy použitelné pro prostorové analýzy a zároveň odstraněn

problém s redundantním uložením dat. Jak špagetový, tak topologický model mají velikou nevýhodu v neuspořádanosti jednotlivých záznamů. K vyhledání určité linie je třeba sekvenčně projít celý soubor. K vyhledání všech linií ohraničujících polygon je třeba tento soubor projít tolikrát, kolika hranami je polygon tvořen.

### **(iii) Hierarchický datový model**

V tomto modelu jsou odstraněny nevýhody jednodušších modelů při vyhledávání jednotlivých entit tím, že jsou zvlášť ukládány údaje o bodech, liniích a polygonech v logické hierarchické struktuře. Protože i polygony se skládají z linií a linie z bodů, jsou v modelu uchovávány tyto odkazy mezi jednotlivými prvky a dále je jich využito pro efektivnější vyhledávání. Tím, že jsou prvky (body, linie a polygony) rozděleny do tříd, je možné prohledávat pouze konkrétní třídu prvků, čímž se zvyšuje efektivita vyhledávacího mechanismu. Daní za tuto vlastnost jsou vyšší paměťové nároky pro uložení tohoto datového modelu.

Podle [3] lze do těchto kategorií zařadit všechny ostatní vektorové datové modely.

### **2.4.3 Tvorba topologie**

Posledním kritériem, podle kterého lze dělit vektorové datové modely je to, zda umožňují vytvářet a udržovat topologii, tedy prostorové vztahy mezi jednotlivými prvky.

Z tohoto hlediska můžeme vektorové datové modely dělit na:

- grafické (netopologické) – neumožňují vytvářet topologii, uplatňují se v počítačové kartografii,
- georelační (topologické) – podporují tvorbu a ukládání topologie. Ta je budována buď pro každý prvek ve chvíli, kdy ho vytváříme nebo pro všechny prvky najednou v momentu, kdy je znalost topologie nutná k provedení nějaké analýzy.

Nyní je možné posoudit provázanost jednotlivých kategorií. Grafický vektorový datový model je ten samý datový model, který se z hlediska uložení dat označuje jako špagetový. Stejně tak tomu je i v případě georelačního a topologického vektorového datového modelu. Dále můžeme vidět jistou podobnost mezi hierarchickým datovým modelem a objektovým přístupem k uložení dat, co do vytváření tříd a hierarchie mezi nimi.

## 3 Formáty vektorových dat

Tato kapitola popisuje formáty vektorových dat používané vybraným GIS a CAD software. Jsou zde popisovány pouze formáty vlastní danému software. Tím, zda dokáže pracovat i s jinými formáty, se zde nezabývám.

### 3.1 Formáty vektorových dat software ESRI ArcGIS

Software ArcGIS používá tři formáty pro vektorová data: *Coverage*, *shapefile* a *geodatabase* [31]. Nejstarším formátem je Coverage. Protože se však ukázal být nevhodným pro účely počítačové kartografie (pomalé vykreslování díky poměrně složité reprezentaci), byl firmou ESRI vyvinut formát shapefile. Geodatabase je pak nejmladší z formátů. Struktura geodatabase vychází z shapefile. Některé vlastnosti geodatabase jsou převzaty z obou předchozích formátů.

Než budou jednotlivé formáty detailně popsány, je třeba vysvětlit, jak jsou jednotlivé geometrické prvky v ArcGIS sdružovány.

Jak již bylo řečeno, základní elementy vektorové reprezentace dat jsou bod, linie a polygon (features). Stejně je tomu i v ArcGIS. Prvky stejného typu tvoří *prvkové třídy* (feature classes). Prvkové třídy ve stejném souřadnicovém systému tvoří *prvkový dataset* (feature dataset). Soubor prvkových datasetů je pak uložen v geodatabázi (geodatabase), která v této hierarchii stojí nejvýš.

#### 3.1.1 Coverage

Tento formát byl poprvé užit v software ArcINFO. Coverage je v počítači uložen jako adresář, obsahující několik souborů pro každou jeho prvkovou třídu. Podrobnější popis souborů a jejich vzájemných vztahů je uveden v [31].

Jednotlivé geometrické prvky jsou ve formátu Coverage uloženy v prvkových třídách, které mohou obsahovat body, linie, polygony nebo tzv. anotaci, tedy popisnou informaci (text obecně).

Coverage je tvořen přinejmenším jednou prvkovou třídou, obsahující tzv. *tic points*. Tic points obsahuje každý Coverage. Jedná se o body reálného světa se známými souřadnicemi v příslušném souřadnicovém systému. Nemusí však nutně reprezentovat body bodového pole.

Přesto že jsou prvkové třídy Coverage většinou jen bodové liniové a polygonové, je jejich členění trochu pestřejší v závislosti na tom jaké objekty reálného světa reprezentují. Následující tabulka podává přehled o typech prvkových tříd, které může Coverage obsahovat. Tabulka byla převzata z [31].

Prvková třída	Použití	Příklad	Popis	Jméno atributové tabulky
Point	Pozice bodu	Vrcholky hor	Souřadnice x, y definující bodový prvek.	pat.adf
Arc	Liniové prvky	Ulice, potrubí	Uspořádaná množina souřadnic x, y reprezentující liniový prvek nebo hranice polygonu.	aat.adf
Node	Uzlové a koncové body liniových prvků	Transformátory, kohouty, křižovatky	Koncový bod třídy Arc, nebo místo kde se dva prvky této třídy protínají.	nat.adf
Route	Liniové prvky	Inženýrské a uliční sítě	Lineární prvky složené z jednoho nebo více prvků třídy Arc.	<route>.rat
Section	Definice prvků třídy route	Nadzemní a podzemní vedení	Liniový prvek nebo jeho část definující jednotlivé stavební bloky pro prvky třídy Route.	<route>.sec
Polygon	Plošné prvky	Parcely, obrysy budov	Liniové prvky tvořící hranice polygonu.	pat.adf
Region	Plošné prvky a multipolygony	Pro účely statistické kartografie	Jeden či více přilehlých nebo nepřilehlých polygonů tvořící geografický prvek.	<region>.pat
Annotation	Popisky	Jména ulic		<anno>.tat
Tic	Geografická kontrola	Prostorová lokalizace po digitalizaci	Kontrolní bod užívaný pro transformaci souřadnicového systému v Coverage.	tic.adf

Tabulka 3.1: Prvkové třídy Coverage

Pozn.: .aat = Arc Attribute Table, .pat = Point (Polygon) Attribute Table, .rat = Route Attribute Table, .nat = Node Attribute Table.

Coverage explicitně ukládá topologii. Topologická struktura Coverage využívá všechny tři topologické principy popsané v předchozích odstavcích. Tedy konektivitu, definici plochy a princip okřídlené hrany. ESRI názvosloví o těchto principech hovoří jako o:

- Arc – node topology – seznam linií (arcs, lines) obsahuje sloupce From Node a To Node, kde jsou uloženy vrcholy tvořící hranu.
- Polygon – edge topology – ke každému polygonu je udržován seznam linií, ze kterých se skládá.
- Contiguity – pro každou linii je udržována informace o polygonu nalevo a napravo od ní.

Tyto informace jsou uloženy ve výše zmíněných atributových tabulkách.

### 3.1.2 Shapefile

Formát shapefile byl poprvé představen začátkem 90. let s nástupem ArcView.

U formátu shapefile je geometrie prostorového prvku uložena v datasetu a jeho atributy v přidružené databázové tabulce. Dataset shapefile je uložen v tzv. *shapefile folder*. Tento dataset obsahuje vždy jen jednu prvkovou třídu - *shapefile feature class*. Prvková třída shapefile může obsahovat vždy jen jeden typ prvků a to buď body, řetězce linií, polygony, multibody nebo tzv. *multipart*, což je 3D geometrie [31].

Shapefile	
Soubor datasetů	Složka shapefile je soubor jednotlivých shapefile.
Datasety	Dataset shapefile obsahuje jednu prvkovou třídu - shapefile feature class.
Soubor prvků	Prvková třída je soubor prvků stejného typu.
Prvky	Bod, řetězec linií, polygon, multibod, multipart.

Tabulka 3.2: Struktura shapefile

V tomto formátu není explicitně ukládána topologie. To ale neznamená, že nelze určit sousedící prvky. Vztahy mezi dvěma prvky jsou počítány tzv. „*on the fly*“ pomocí vektorů souřadnic, namísto prohledávání tabulky jako u formátu Coverage. Nad shapefile tedy lze provádět jak prostorové tak atributové dotazy, data by ovšem měla být již topologicky čistá. Pokud chceme topologii editovat (topologicky data vyčistit), je nutné shapefile importovat do geodatabáze jako prvkovou třídu, což je díky shodné reprezentaci jednotlivých prvků snazší, než kdybychom chtěli importovat Coverage.

Veškeré informace, které shapefile obsahuje, jsou rozděleny nejméně do tří souborů (v prostředí ArcGIS je však shapefile zobrazen jako jeden soubor). Dále uvádím přehled souborů tvořících shapefile [31]:

- .shp – hlavní soubor, ve kterém je uložena geometrie prvků,
- .shx – soubor, ve kterém jsou uloženy indexy geometrie prvků,
- .dbf – databázová tabulka s atributovými daty, záznamy v této tabulce musejí být ve stejném pořadí jako záznamy v hlavním souboru.

Tyto tři soubory obsahuje shapefile vždy.

- .sbn a .sbx – soubor s prostorovými indexy prvků,
- .fbn a .fbx – soubory s prostorovými indexy prvků, které jsou pouze pro čtení,
- .ain and .aih – soubory s atributovým indexem aktivních polí v tabulce,
- .atx – tento soubor je vytvořen pro každý shapefile nebo databázový atributový index vytvořený v ArcCatalog,
- .ixs – geokódovací index pro editaci shapefile,
- .mxs – geokódovací index pro editaci shapefile (ODB formát),
- .prj – soubor s informacemi o souřadnicovém systému,
- .xml – metadata pro ArcGIS,
- .cpg – soubor, ve kterém může být uvedeno kódování pro identifikaci užitých znaků.

### 3.1.3 Geodatabase

Geodatabáze je nativní datová struktura software ArcGIS a zároveň primární datový formát pro editaci a správu dat (nejen vektorových) v tomto software. Právě byla použita právě pro ArcGIS. Základní struktura geodatabáze je velmi podobná struktuře shapefile, jak je vidět z tabulek 3.2 a 3.3. Geodatabáze podporuje tvorbu a editaci topologie.

Geodatabáze	
Soubor datasetů	Geodatabáze je soubor prvkových datasetů.
Datasety	Prvkový dataset geodatabáze je soubor prvkových tříd.
Soubor prvků	Prvková třída je soubor prvků stejného typu.
Prvky	Bod, linie, polygon, multibod, multipatch, dimenze, anotace.

Tabulka 3.3: Struktura geodatabáze

Pozn.: *Anotace* je popisná informace. *Dimenze* je speciální typ anotace – kóty.

Geodatabázi je několik typů [31]:

- *Personal geodatabase*
- *File geodatabase*
- *ArcSDE geodatabase*

První dva typy geodatabází jsou tzv. jednouživatelské databáze tedy databáze, které mohou být v jednom okamžiku editovány pouze jedním uživatelem. Personal geodatabase je starším typem geodatabáze využívající Microsoft Access. Od verze ArcGIS 9.2 má být postupně nahrazená File geodatabase, která nepoužívá žádný databázový systém, ale data uchovává v adresářové struktuře. File geodatabase odstraňuje některé nedostatky původní Personal geodatabase.

ArcSDE geodatabase využívá ke správě prostorové složky dat tzv. middleware, tedy prostředníka mezi GIS software a databázovým serverem. Výhodou použití ArcSDE (Spatial Database Engine) je celá řada, zejména pokud potřebujeme spravovat velké množství dat více uživateli. Přehled typů geodatabází poskytuje následující obrázek, který byl převzatý z [9], kde lze také nalézt další podrobnosti.



	<b>Personal Geodatabase</b>	<b>File Geodatabase</b>	<b>ArcSDE Personal</b>	<b>ArcSDE Workgroup</b>	<b>ArcSDE Enterprise</b>
<b>Databázový systém</b>	Microsoft Access (Jet Engine)	Žadný – používá lokální souborový systém	Microsoft SQL Server Express Edition	Microsoft SQL Server Express Edition	IBM DB2, IBM Informix, Microsoft SQL Server, PostgreSQL a Oracle
<b>Operační systém</b>	Windows	Multiplatformní	Windows	Windows	Multiplatformní – závisí na použitém SRBD
<b>Počet současných uživatelů</b>	Jeden uživatel	Jeden uživatel pro každý prvek geodatabáze	Jeden uživatel editující, tři pro čtení	10 editujících uživatelů	Neomezený počet
<b>Omezení velikosti</b>	2 GB max. velikost, 250 – 500 MB efektivní	1 TB pro dataset, neomezená velikost geodatabáze	4 GB	4 GB	Neomezená – závisí na SRBD
<b>Ovládání</b>	ArcCatalog	ArcCatalog	ArcCatalog	ArcCatalog	ArcCatalog, příkazový řádek ArcSDE, ovládání SRBD
<b>Podporované funkce</b>	Indexace dat, čištění databáze	Indexace dat, čištění, komprimace dat	verzování, archivace, replikace, zabezpečení dat, uživatelské účty Windows, dotazování, dlouhé transakce	verzování, archivace, replikace, zabezpečení dat, uživatelské účty Windows, dotazování, dlouhé transakce	verzování, archivace, replikace, zabezpečení dat, různé typy uživatelských účtů, dotazování, dlouhé transakce, pohledy
<b>Součásti software</b>	ArcView, ArcEditor, ArcInfo	ArcView, ArcEditor, ArcInfo	ArcEditor, ArcInfo	ArcGIS Server Workgroup	ArcGIS Server Enterprise

Obrázek 3.1: Typy geodatabází

Základními stavebními kameny geodatabáze jsou [31]:

- prvková třída (Feature class) – pro vektorová data,
- rastrový dataset (Raster dataset) – pro rastrová data,
- tabulky (Tables) – pro atributová data.

Zaměříme se nyní pouze na vektorová data. Ta jsou v geodatabázi uložena v prvkových třídách. Geometrické prvky, které tvoří prvkové třídy v geodatabázi, jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Dále je nad prvkovými třídami možné vytvářet:

- prvkový dataset – soubor prvkových tříd,
- subtypy (subtypes) – pomocí subtypů se v prvkové třídě sdružují prvky se stejnými atributy do skupin,
- domény (domains) – pravidla popisující přípustné hodnoty atributů prvků,
- Relationship class – definice vztahů mezi prvkovými třídami,
- topologii,
- síťové datasety a geometrické sítě (viz kapitola 5.1),
- a další viz [31].

## 3.2 Formáty vektorových dat software Autodesk AutoCAD Map 3D

Pro software AutoCAD Map 3D firmy Autodesk je nativním formátem souborů (výkresů) formát *DWG* (DraWinG). Textovou obdobou tohoto formátu, která slouží jako výměnný formát, je formát *DXF* (Data Exchange Format).

Formát *DWG* umožňuje ukládat 2D i 3D data. Atributová složka dat může být uložena buď přímo v *DWG* souboru (objektová data) nebo v externí databázi [16]. Tento formát je neveřejný a není pro něj dostupná podrobná dokumentace.

Formát *DXF* byl vyvinut pro snazší komunikaci AutoCAD s ostatními aplikacemi. Stejně jako formát *DWG* podporuje uložení 2D i 3D dat. Detailní dokumentaci formátu *DXF* poskytuje firma Autodesk na svých stránkách [10].

Formát *DXF* (pravděpodobně i *DWG*) užívá tyto geometrické prvky[36]:

- point – bod, jehož značka může být natočená (zadáno úhlem),
- line – úsečka daná dvěma body,
- polyline – složená linie, skládající se z úseček, oblouků nebo spline,
- trace – tzv. stopa tedy úsečka s nenulovou tloušťkou,
- circle – kružnice daná středem a poloměrem,
- arc – kruhový oblouk zadaný středem, poloměrem a dvojicí omezujících úhlů,
- text – textový řetězec zadaný bodem vložení, rotací a výškou,
- shape – značka zadaná středem, velikostí, úhlem natočení a jménem,
- insert – blok složený z jedné nebo více entit sdružených pod jedním jménem.

Nejnovejším formátem pro prostorová data je v AutoCAD Map 3D formát *SDF* (Spatial Data File). *SDF* byl zaveden od verze AutoCAD Map3D 2007. Soubory *SDF* vystupují jako malé geografické databáze, které umí ukládat více objektových tříd najednou, viz dále, včetně grafických dat a jejich atributů [16].

AutoCAD Map 3D umožňuje ve výkresu (*DWG* souboru) organizovat jednotlivé prvky do objektových tříd na základě jejich tematické podobnosti v reálném světě. Výhodou vytvoření tříd objektů je, že nový objekt zařazením do objektové třídy získává automaticky vlastnosti a hodnoty své třídy. Lze vytvořit též hierarchie tříd objektů. Novou třídu objektů je možné založit na již existující (základní) třídě objektů. Nová třída dědí všechny vlastnosti nadřazené třídy. U této třídy lze ale také modifikovat hodnoty vlastností a přidávat další nové vlastnosti [15].

V AutoCAD Map 3D je možné vytvořit tři druhy topologií: *polygonovou*, *síťovou* a *bodovou* (uzlovou). U polygonové topologie jsou zaznamenány hrany a polygony, které hrana odděluje, a dále centroidy polygonů. Síťová topologie je složena z linií a uzlů, které tvoří síť. A konečně bodovou topologií tvoří pouze samostatné uzly. Topologické vztahy se ukládají přímo do *DWG* výkresu [15].

### 3.3 Formáty vektorových dat software Bentley Microstation

Nativním formátem vektorových dat software Microstation společnosti Bentley Systems je formát *DGN* (DesiGN). V současnosti je možné se setkat se dvěma verzemi tohoto CAD formátu a to *V7* a novější *V8*. Přesto že je formát *DGN* primárně vektorový, je možné v něm uchovávat i rastry nebo popisná data. Formát podporuje 2D i 3D grafiku. V *DGN* souboru je uložena pouze geometrie prvků a tzv. *link* (MsLink) neboli odkaz na databázový soubor s atributovými daty. U software Microstation se dále můžeme setkat se soubory s příponou *.rdl*. Jedná se o tzv. *poznámkové výkresy* [11].

Přesto že je formát *DGN* (*V7*) prohlašován za veřejný, dostupná dokumentace se vztahuje pouze k formátu *ISFF*, na kterém je založen [14]. Dokumentace k verzi *V8* je zájemcům poskytována po vyplnění formuláře na internetových stránkách firmy Bentley.

Formát *DGN V7* se používá od poloviny osmdesátých let minulého století. Vznikl na základě formátu *ISFF* (Intergraph Standard File Format). Verze *V8* byla uvedena v roce 2001. Zásadní změny ve verzi *V8* jsou [11]:

- byla odstraněna všechna známá omezení formátu *DGN V7* jako je maximální počet vrstev (64), maximální velikost souboru apod.,
- standardní entity prvků a jejich atributy jsou nadmnožinou entit ve formátech *DGN V7* a *DWG* – např. při importu dat z *DWG* nedochází ke ztrátě informací přesněji, nedochází k náhradě komplexnějších prvků jednoduššími,
- formát je snáze rozšiřitelný, umožňuje větší flexibilitu v tom, co může být v souboru uloženo – v souboru je například možné ukládat i popisná data ve formátu *XML*,
- formát umožňuje např. sledovat historii změn ve výkresu, ukládat více nezávislých modelů v jednom souboru apod..

Toto jsou jen vybrané nejdůležitější změny, úplný přehled o rozdílech mezi verzemi formátu *DGN* podává [11].

O tom, jaké geometrické prvky formát *DGN* užívá, se mi podařilo nalézt jen velmi kusé informace. Podle [13] formát *DGN* (neuvedena verze) podporuje tyto geometrické prvky:

- Point – bodový prvek,
- Line – přímý liniový segment,
- Line String – složený liniový prvek (lomená čára),
- Shape – polygon,
- Curve – křivka aproximovaná liniovými segmenty,
- B-Spline,
- Arc – oblouk aproximovaný liniovými segmenty,
- Ellipse – elipsa aproximovaná liniovými segmenty,
- Text – má geometrii bodového prvku.

Formát *DGN* umožňuje ukládat topologické vztahy. Topologii je pro data ve formátu *DGN* možné vybudovat pomocí aplikace Bentley Map. V Bentley Map lze vytvořit dva druhy topologie: *on-demand* (na požádání-dočasná topologie) a *persistent* (trvalá topologie). Vybudované topologické vztahy lze uložit buď na straně databázového serveru (Oracle

Spatial) nebo přímo v DGN souboru podle stejného topologického modelu jako používá Oracle Spatial [17].

### 3.4 Formáty vektorových dat software Kokeš

Pro software Kokeš firmy Gepro jsou nativními formáty vektorových dat formáty VYK (VÝKres) a VTX (textová obdoba binárního VYK).

Základní informační jednotkou výkresu je *objekt*. Objekt může obsahovat grafické prvky (liniové elementy, textové elementy) a negrafické údaje (atributy). Jednotlivé objekty je dále možné sdružovat do vrstev. Protože se však linie skládá z lomových bodů, může být za základní prvek považován bod. Ten je v Kokeši dán dvojicí souřadnic, typem spojení a informací k bodu. Typ spojení určuje chování bodu vůči ostatním bodům v objektu. Tento atribut nabývá následujících hodnot [18]:

- E – S předchozím bodem objektu není bod s tímto typem spojení propojen žádnou spojnici. Jedná se vždy o počáteční bod linie, nebo samostatný bod, na kterém může být umístěn symbol.
- L – S předchozím bodem objektu je spojen přímkou linií.
- l – Stejný význam jako typ spojení L, ale spojnice je neviditelná.
- P – Jako typ spojení l, ale spojení nemá význam pro napojení křivek (spojení C a c) ani jiný geometrický význam (např. stromořadí).
- R – Od předchozího bodu v objektu spojen kruhovým obloukem, aby byl kruhový oblouk dostatečně specifikován, musejí být dva body s typem spojení R za sebou, jinak oblouk není vykreslen.
- r – Stejný význam jako typ spojení R, ale spojnice je neviditelná.
- C – Od předchozího bodu v objektu spojen křivkou, která je tečná k předchozí i následující spojnici.
- c – Stejný význam jako typ spojení C, ale spojnice je neviditelná.
- T – Bod s textem.
- S – Bod s vloženou buňkou.

Informaci k bodu si je možné představit jako řetězec hodnot, které ovlivňují vzhled a vlastnosti kresby nebo nesou nějakou negrafickou informaci.

Formát VYK je binární, což znemožňuje jeho editaci mimo aplikační prostředí Kokeš. Podrobná dokumentace formátu VYK je neveřejná. Textovou variantou (přímo editovatelnou) formátu VYK je formát VTX. Obdobou těchto formátů je výměnný formát katastrální mapy, viz kapitola 3.8.

Body, jako základní prvky vektorové grafiky mohou být v software Kokeš uloženy také ve formátu SS (seznam souřadnic) nebo jeho textové obdobě STX. Tento formát se především využívá pro práci s naměřenými body polohopisu. Nelze ho tedy považovat za plnohodnotný formát pro vektorová data.

### 3.5 Formáty vektorových dat software MapInfo

Software MapInfo společnosti Pitney Bowes je jedním z přímých konkurentů software ArcGIS. Tento systém pracuje se 2D vektorovými daty ve formátu *MIF* (MapInfo Interchange Format). Logický soubor typu MIF je tvořen dvěma fyzickými soubory: *mif* a *mid*. Soubor *mif* obsahuje geometrii prvků, soubor *mid* pak atributy k těmto prvkům. Geometrické prvky používané formátem MIF jsou [22] :

- Bod – je vyjádřen dvojicí souřadnic.
- Linie, polylinie – polylinie je vyjádřena posloupností dvojic souřadnic bodů tvořících polylinii. Linie je polylinie tvořená pouze dvěma body.
- Region – tento prvek je tvořen jedním nebo více polygony. Každý polygon je vyjádřen souřadnicemi svých vrcholů. Volitelně může region obsahovat souřadnice svého centra.
- Text – podobně jako u ostatních formátů nese textový prvek informaci o fontu, velikosti, barvě písma a úhlu natočení.
- Elipsa – elipsa je dána souřadnicemi diagonálně protilehlých rohů opsaného obdélníku.
- Oblouk – je dán souřadnicemi počátečního a koncového bodu a úhly v těchto bodech. Úhly jsou uvedeny ve stupních po směru hodinových ručiček s nulou ve třech hodinách.
- Obdélník – tento typ polygonu je dán souřadnicemi diagonálně protilehlých vrcholů.
- Zaoblený obdélník – dán souřadnicemi fiktivních rohů a poloměrem zaoblení.

Každý prvek v souboru *mif* má atribut *geometrie*. Kromě výše uvedených typů geometrie může prvek mít hodnotu atributu *geometrie* „*none*“. Atribut *geometrie* nabývá hodnoty „*none*“ pokud konkrétnímu řádku v souboru *mid* neodpovídá grafický objekt v příslušném řádku souboru *mif* [ 22].

Formát MIF neukládá topologii. V systému MapInfo je topologie vytvářena buď na straně databázového serveru (Oracle Spatial), na kterém jsou uložena data, nebo pomocí nejrůznějších skriptů a nadstaveb jako například LineTopo nebo MapLogix.

### 3.6 Formáty vektorových dat software OCAD

Software OCAD pracuje s vektorovými daty ve stejnojmenném formátu (přípona *.ocd*). OCAD je zejména používán pro tvorbu digitálních map a jejich distribuci na internetu. Formát OCAD podporuje tvorbu a ukládání bodových, liniových, plošných, textových a obdélníkových elementů [21]. OCAD neumožňuje tvorbu a editaci topologie.

V oblasti počítačové kartografie je tento software hojně rozšířen zejména kvůli své příznivé ceně oproti jiným GIS a CAD software používaných pro tvorbu map.

### 3.7 Formáty vektorových dat založené na XML

GML (Geography Markup Language) – tento formát používá jazyk XML pro popis geografických prvků. GML slouží jako modelovací jazyk v geografických systémech a zároveň jako otevřený výměnný formát pro geografická data, ke kterým se přistupuje prostřednictvím internetu. GML dokument se skládá ze dvou částí: aplikačního schématu popisujícího dokument a vlastních dat. Aplikační schéma se liší dle oblasti využití

dat. Díky němu uživatel pracuje například se silnicí a křižovatkou jako prvkem (datovým typem) namísto linie a bodu. Příklady aplikačních schémat uvádí [24].

SVG (Scalable Vector Graphics) – formát SVG popisuje dvojrozměrnou grafiku pomocí XML tagů. Umožňuje pracovat s grafickými prvky ve formě vektorové grafiky (zejména liniemi a křivkami), obrázků a textu. Výkres ve formátu SVG může být dynamický a interaktivní. SVG je více programovacím jazykem než formátem. Syntaxi XML tagů pro SVG popisuje [23].

Oba tyto formáty jsou dialekty jazyka XML. Ovšem abychom mohli vytvořit obraz z dat v XML je třeba tyto data nejprve převést do SVG. Jinými slovy GML je kódovací standard pro geografické informace a SVG prostředek, kterým se jim přiřadí styl (barva, symbol, textura) [33].

Dalšími formáty založenými na XML jsou například formáty JML a KML. Formát JML (Open JUMP GML) používá software Open JUMP, formát KML (Keyhole Markup Language) je pak využíván zejména aplikací Google Earth. Více o těchto formátech [49] respektive [50].

### 3.8 Výměnný formát digitální katastrální mapy

Výměnný formát je určen především pro přenos dat DKM (KM-D) mezi ISKN (Informační systém katastru nemovitostí) a dalšími systémy pro zpracování dat [34]. S výměnným formátem katastru nemovitostí se můžeme setkat ve dvou verzích.

*Starý výměnný formát* digitální katastrální mapy je obdobou formátu VYK (VTX) používaného software Kokeš. Skládá se ze souboru *vk*m obsahujícího digitální katastrální mapu (SGI) a souboru *dbf* (txt), který obsahuje soubor popisných informací (SPI). VKM je textový formát a data v něm jsou organizovány v tzv. *větech*. VKM používá bodové, liniové a textové prvky. Body jsou vyjádřeny dvojicí souřadnic, ale oproti jiným formátům v pořadí Y, X. Liniové prvky (věty linií) obsahují seznam bodů a informaci o druhu spojení mezi těmito body podle typu liniového prvku, jehož jsou součástí. Bod může být:

- bez spojení (první bod liniového elementu),
- součástí úsečky,
- součástí kruhového oblouku,
- součástí kružnice,
- součástí interpolované křivky.

Textový prvek (věta textového elementu) je ve VKM tvořen souřadnicemi referenčního bodu a textem samotným. Věta textového elementu dále obsahuje informace jako třeba font a velikost písma nebo úhel natočení textu. Podrobnosti ke starému výměnnému formátu jsou k nalezení na stránkách ČÚZK [35].

*Nový výměnný formát* se skládá pouze ze souboru *vk*f (SGI a SPI společně). Stejně jako u VKM, se jedná o textový formát.

Bod zde v závislosti na typu spojení může být součástí:

- úsečky,
- lomené čáry,
- křivky,
- kružnice,
- oblouku.

Podrobný popis formátu VFK podává [34].

S výše uvedenými formáty vektorových dat se u nás můžeme setkat nejčastěji. Mimo to existuje velké množství dalších formátů, které jsou využívány jen v úzké skupině uživatelů a konkrétní oblasti zájmu. Tyto formáty jsou využívány například různými národními agenturami a vládními orgány.

## 4 Základní báze geografických dat ZABAGED a její datové modely

V kapitole je popsán vznik a vývoj ZABAGED, její vlastnosti, formáty v nichž je v současné době distribuována a rozdíly mezi užívanými datovými modely.

### 4.1 ZABAGED

ZABAGED je digitální topografický model území České republiky. ZABAGED je budována Zeměměřickým úřadem od roku 1994. Prvotní naplnění daty probíhalo od roku 1995 vektorovou digitalizací tiskových podkladů Základní mapy České republiky 1:10 000 (ZM 10). Zároveň s doplňováním databáze o další objekty a atributy probíhala od roku 2001 první celoplošná aktualizace s cílem zpřesnění a zaktualizování polohopisné složky a revize a doplnění atributové části databáze. Pro tuto aktualizaci byly využity zejména fotogrammetrické metody sběru dat a topografické šetření v terénu. Aktualizace byla dokončena v roce 2005. Během aktualizace byly jednotlivé ukládací jednotky ZABAGED v kladu ZM 10 spojeny do bezesvé databáze. Další periodická aktualizace a doplňování ZABAGED probíhá v tříletých cyklech s využitím vždy nově zpracovaných leteckých měřických snímků a barevných ortofot, která jsou každoročně vytvářena pro jednu třetinu území České republiky. V současnosti je ZABAGED využívána mimo jiné pro generování ZM 10, ze které byla původně vytvořena.

ZABAGED má charakter geografické databáze integrující prostorovou složku vektorové grafiky s topografickými relacemi objektů a složku atributovou obsahující popisy a další informace o objektech. Obsah ZABAGED tvoří 106 typů geografických objektů strukturovaných v databázi do 60 grafických vrstev vektorových (DGN) souborů. ZABAGED obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu a prvcích terénního reliéfu. Doplňkové informace resp. identifikátory některých typů objektů (vodstvo, komunikace) jsou přebírány z databází jejich odborných správců. Součástí ZABAGED jsou i vybrané údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území České republiky. Výškopis je dostupný ve formě prostorového souboru 3D vrstevnic.

Zpracováno podle [25].

### 4.2 Datové modely ZABAGED

Data ZABAGED, tak jak jsou v současné době poskytována ČÚZK, mohou být organizována ve dvou datových modelech. Základním datovým modelem je *MGE (Modular GIS Environment) datový model*.

MGE je produktem firmy Intergraph. Obecně se dá říci, že je to systém řízení báze dat složený z různých modulů tvořících jeho technologický základ. MGE je ale i GIS, který propojuje atributové informace z databáze (MS SQL Server) s geografickými informacemi v systému Bentley Microstation (DGN soubory), který využívá jako grafické prostředí [43]. Odtud označení MGE datový model.



Druhým modelem, odvozeným z MGE datového modelu, je *zjednodušený datový model*.

Data organizovaná podle MGE datového modelu jsou poskytována v DGN (atributy v MDB) souborech, zatímco data ve zjednodušeném datovém modelu ve formátech SHP a GML.

Objekty uložené v ZABAGED jsou v obou modelech rozčleněny do osmi kategorií (tříd): sídla, hospodářské a kulturní objekty; komunikace; rozvodné sítě a produktovou; vodstvo; územní jednotky; vegetace a povrchy; terénní reliéf; geodetické body. Detailní rozčlenění objektů do těchto kategorií, stejně jako jejich pojmenování, geometrickou reprezentaci nebo strukturu databázových tabulek s atributy popisují dokumenty na stránkách ČÚZK [44].

Zásadní rozdíly mezi oběma modely jsou dva. První je v rozdílné reprezentaci ploch. V MGE datovém modelu jsou plochy reprezentovány středovým bodem (centroidem), který je nositelem popisných informací (atributů) k dané ploše, a liniemi, které tvoří hranici plochy. Ve zjednodušeném datovém modelu je možné plochy reprezentovat stejně nebo jen obvodovou linií, která tvoří hranici plochy (polygon). Nositelem atributů je pak celá plocha. V některých programových prostředích nebo po převodu do formátu shapefile budou plochy reprezentovány právě tímto způsobem [44]. Druhým rozdílem je, že ve zjednodušeném datovém modelu jsou vypuštěny některé účelově zavedené objekty. Konkrétně se jedná o objekty: silnice jako hranice užívání, cesta jako hranice užívání, pěšina jako hranice užívání, železniční trať jako hranice užívání, železniční vlečka jako hranice užívání, lanová dráha jako hranice užívání, tramvajová dráha jako hranice užívání.

Data, která mi byla poskytnuta Krajským úřadem Plzeňského kraje pro tuto práci, nepoužívají ani jeden z uvedených datových modelů. Vybrané vrstvy objektů zjednodušeného datového modelu (shapefile) byly sjednoceny do jedné obecnější vrstvy, které byl přidán atribut „Typ“ určující konkrétní typ objektu z původního modelu. Tímto se zjednodušila původní poměrně složitá struktura ZABAGED. Přehled sjednocených vrstev podává tabulka, kterou uvádím jako přílohu B.

### **4.3 Distribuční formáty ZABAGED**

Data ze ZABAGED jsou poskytována ČÚZK po celých mapových listech v kladu ZM 10, dále ve výběru dat v rozsahu krajů, případně jako ucelená bežešvá databáze celého území České republiky.

Data mohou být poskytnuta v těchto a formátech:

Polohopis

- ve formátu DGN + atributy ve formátu MDB (databáze Microsoft Acces),
- ve formátu shapefile,
- ve formátu GML.

Výškopis

- ve formátu DGN + atributy ve formátu MDB,
- ve formátu shapefile.

Data jsou lokalizována v souřadnicových systémech S-JTSK, WGS84/UTM, případně v S 42/1983 a výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Jako popisná složka ZABAGED slouží výstupy z databáze GEONAMES. Tato databáze obsahuje názvosloví ZM 10 a to ve formátu DGN nebo shapefile.

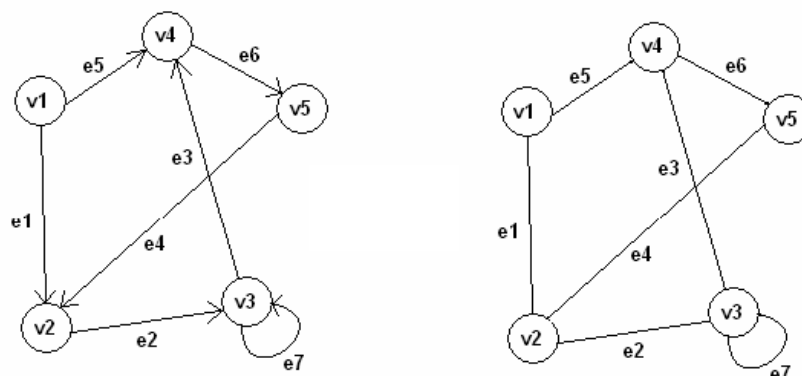
## 5 Teorie grafů a sítě v GIS

V kapitole jsou definovány základní pojmy teorie grafů a síťové analýzy. Dále jsou popsány síťové modely, se kterými pracuje software ESRI ArcGIS. Text kapitoly je převzatý z mé dřívější práce [46].

Teorie grafů zkoumá vlastnosti struktur zvaných *grafy*. Pomocí grafů lze reprezentovat struktury a úlohy z nejrůznějších oborů lidské činnosti. Taktéž mnoho problémů praktického života může být formulováno jako úloha teorie grafů. Za zakladatele teorie grafů je považován Leonhard Euler, který již roku 1736 řešil problém, jak projít právě jednou sedm mostů ve městě Königsberg a vrátit se do výchozího místa. Mezi další velké výzvy řešené pomocí teorie grafů patří například Problém čtyř barev nebo Problém obchodního cestujícího.

Grafem se obecně nazve uspořádaná dvojice  $(V, H)$ , kde  $V$  je neprázdná množina prvků zvaných *vrcholy* nebo též *uzly* a  $H$  je množina dvojic prvků z  $V$ . Prvky množiny  $H$  se nazývají *hrany* a říká se, že dva prvky (vrcholy)  $x, y \in V$  spolu sousedí, pokud existuje hrana  $e = \{x, y\}$  taková, že  $e \in H$ . Vrcholy grafu se znázorňují jako body a hrany jako spojnice příslušných vrcholů.

Důležitými vlastnostmi grafů jsou *orientace*, *ohodnocení* a *souvislost*. Příklad orientovaného a neorientovaného grafu jsou na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Orientovaný a neorientovaný graf

Ohodnocení je zobrazení, které každé hraně přiřazuje hodnotu, obvykle číselnou. Tato hodnota je vyjádřením míry náročnosti přesunu z vrcholu  $x$  do vrcholu  $y$  nebo naopak. Ohodnocení může například reprezentovat vzdálenost (délkovou nebo časovou), propustnost potrubí, pravděpodobnost událostí a podobně. Je možné, aby v jednom grafu existovalo více ohodnocení podle různých kritérií.

Souvislost grafu se rozlišuje pro graf orientovaný a neorientovaný. Zjednodušeně lze říci, že graf je souvislý pokud do každého jeho vrcholu vede hrana. Podrobněji se lze o vlastnostech grafů dočíst v [45].

V GIS je analogickým výrazem pro graf sítě. *Síť* je množinou vzájemně propojených linií, reprezentujících možnou cestu zdrojů z jednoho umístění do druhého. Konce nebo křížení linek se nazývají síťové uzly.

Síťová analýza v GIS zkoumá a určuje vlastnosti sítě a vztahy mezi jejími prvky pomocí algoritmů teorie grafů. Síťová analýza řeší problémy jako je nalezení nejkratší (nejlepší) cesty, nalezení nejbližšího zařízení, plánování cesty nebo optimalizace toků v síti.

V této práci bude modelování sítě a analýzy nad ní prováděny pomocí software ESRI ArcGIS a jeho nadstavby Network Analyst.

## 5.1 Síťové modely v software ESRI ArcGIS

Informace pro tuto kapitolu jsem čerpal z [31].

V systému ArcGIS se síť modeluje zejména uvnitř geodatabáze nad prvkovými třídami v ní obsažených. Je možné vytvořit dva druhy modelů sítě: *síťový dataset* a *geometrickou síť*. Modelu geometrické sítě je lépe využít pro reprezentaci běžných inženýrských sítí jako vodovodních a plynových potrubí. A to proto, že tyto sítě mohou být zařazeny mezi tzv. „*directed flow systems*“, tedy takové systémy (sítě), kde pohyb po hraně je umožněn jen jedním směrem. Oproti tomu síťový dataset je speciálně vyvinutý a upravený pro reprezentaci silniční sítě. Tu je možné zařadit mezi „*undirected flow systems*“. V těchto sítích je možný pohyb po hraně v obou směrech, s rozdílnými pravidly pro každý směr.

### 5.1.1 Geometrická síť

Geometrická síť jako síťový model ArcGIS je tvořena dvěma složkami – *geometrickou sítí* a *logickou sítí*. Geometrická síť je souborem hran a uzlů, síťových prvků, reprezentujících a tvořících síť. Geometrická síť neobsahuje informaci o propojení mezi prvky. Tato informace je uložena v logické síti. Logická síť fyzicky reprezentuje propojení sítě. Každá geometrická síť má odpovídající logickou síť.

Jak již bylo řečeno, geometrická síť je tvořena síťovými prvky – hranami a uzly. Hrany mohou být vzájemně propojeny pouze prostřednictvím uzlu. Síťové prvky jsou dvojího druhu: jednoduché nebo komplexní. Komplexní síťový prvek odpovídá jednomu nebo více prvkům logické sítě, zatímco jednoduchý síťový prvek odpovídá právě jednomu.

Geometrická síť může být v geodatabázi budována nad jednou nebo více prvkovými třídami, která obsahuje bodové a liniové prvky. Při přidání první třídy do sítě je automaticky vytvořena tzv. „*orphan feature class*“. To je prvková třída zajišťující, aby na konci každé jednoduché hrany byl uzel, ve kterém může být připojen další prvek. Hrany sítě mohou být propojeny pouze v těchto uzlech. Propojení mezi prvky sítě je vytvořeno hned ve chvíli, kdy je v nějakém uzlu připojen další prvek, jinými slovy, jakákoliv změna v síti geometrické vyvolá okamžitou změnu v síti logické, ať je prvek přidáván nebo naopak odebírán. Tímto se geometrická síť zásadně liší od síťového datasetu viz dále.

Ke každé hraně sítě je možné přiřadit váhu neboli míru náročnosti přesunu po této hraně. Těchto ohodnocení může být víc podle různých kritérií. Jak již bylo zmíněno geometrická síť je vhodnější pro modelování rozvodných sítí, tedy sítí, kde tok zdrojů probíhá pouze jedním směrem (*directed flow*). Směr toku může být definován tak, že každému uzlu sítě je přidán atribut, určující jestli se uzel chová jako *zdroj* (source) nebo jako *spotřebič* (sink), popřípadě

obojí. Každý prvek může v síti vytvořit bariéru, tedy místo kudy nemohou proudit zdroje. Toto je realizováno opět pomocí atributu - Enable. Při vytvoření prvku je jeho hodnota automaticky true.

Dále mohou být v geometrické síti užita pravidla pro propojení sítě. Ta jsou buď typu *hrana-uzel* nebo *hrana-hrana*. Tato pravidla určují jaké typy hran a uzlů mohou být vzájemně propojeny. Jistě není žádoucí, aby hrana reprezentující vedení vysokého napětí šla propojit s vedením nízkého napětí přesto, že obě figurují v téže síti.

### 5.1.2 Síťový dataset

Síťový dataset je struktura vytvářená z jednoduchých geometrických prvků stejně jako geometrická síť a navíc z tzv. *odbočení* (turns). Je tvořen zpravidla uvnitř geodatabáze, ale také může být vytvořen nad samostatným shapefile. Rozdíl je v tom, že v geodatabázi může být použito více zdrojů hran a uzlů (prvkových tříd) kdežto při tvorbě z shapefile ne. Síťový dataset je odvozenina z prvků jednotlivých prvkových tříd, které jsou zdrojem pro dataset.

Jednotlivým prvkům síťového datasetu mohou být přiřazeny tyto atributy: cena (cost), popis (descriptors), omezení (restrictions), hierarchie (hierarchy). Cena je ohodnocení stejně, jako je tomu u geometrické sítě. Popis slouží k popisu charakteristiky komunikace jako například počet pruhů, rychlostní limit a podobně. Omezení je definováno datovým typem boolean. V případě hodnoty atributu „true“ nemůže být takto označený prvek použit v žádné analýze. Poslední z předdefinovaných typů atributů, hierarchie, může vyjadřovat například pořadí prvků, v jakém budou preferovány v analýze. Každý z atributů má své jméno, typ, jednotky, datový typ a parametr "use by default". Parametr „use by default“ značí, jestli má být atribut automaticky použit pro analýzu.

Síťový dataset se od geometrické sítě liší způsobem, jakým je vytvářeno a kontrolováno propojení sítě (logická síť). Na rozdíl od geometrické sítě není v síťovém datasetu kontrola a realizace prováděna okamžitě, ale až ve chvíli, kdy je propojení uživatelem přebudováno, respektive kdy je přebudován celý dataset. Ten vzniká ve dvou krocích: vytvoření a vybudování. V prvním jsou vybrány třídy, které v datasetu budou figurovat, definovány atributy a podobně. Ve druhém pak vznikají jednotlivé prvky sítě, propojení mezi nimi a jsou jim přiřazovány hodnoty atributů.

## 6 Integrovaný záchranný systém

Kapitola podává stručný přehled o IZS a jeho složkách, a dále o struktuře a činnosti zdravotnické záchranné služby Plzeňského kraje a hasičského záchranného sboru Plzeňského kraje.

### 6.1 O integrovaném záchranném systému

Jednou z nejdůležitějších součástí krizového řízení České republiky je integrovaný záchranný systém. IZS je systém kooperujících složek určených ke koordinaci záchranných a likvidačních prací v případě mimořádné události, včetně havárií a živelných pohrom. Činnost IZS se řídí zejména zákonem č. 239/2000 Sb. (Zákon o IZS).

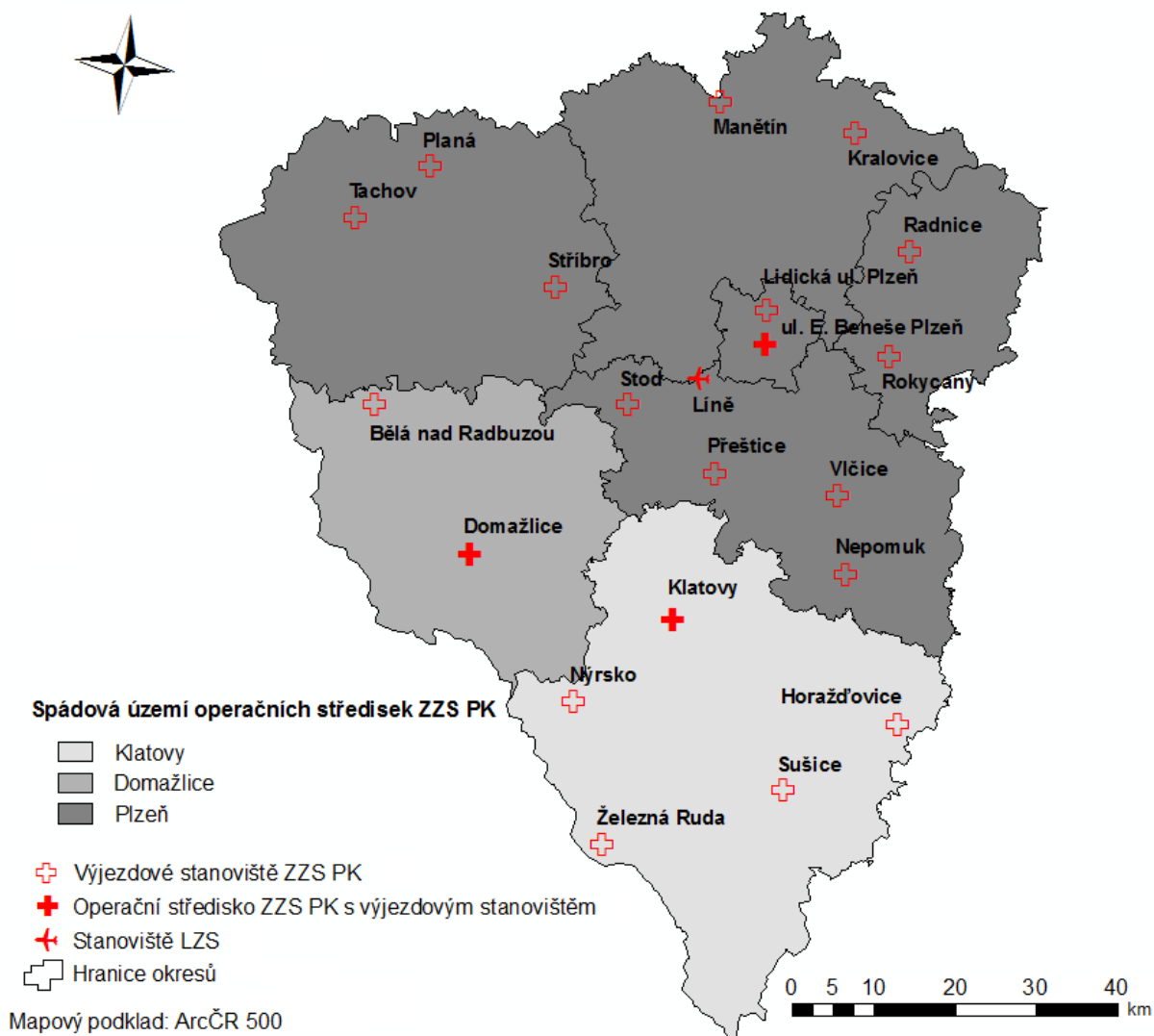
IZS se skládá z tzv.: základních a ostatních složek. *Základními složkami* jsou Hasičský záchranný sbor České republiky a Jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí okresu jednotkami požární ochrany, Zdravotnická záchranná služba a Policie České republiky. Základní složky IZS zajišťují nepřetržitou pohotovost pro příjem ohlášení vzniku mimořádné události, její vyhodnocení a neodkladný zásah v místě mimořádné události. Za tímto účelem rozmísťují své síly a prostředky po celém území České republiky. [40]

*Ostatními složkami* IZS jsou vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil, ostatní ozbrojené bezpečnostní sbory, ostatní záchranné sbory, orgány ochrany veřejného zdraví, havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby, zařízení civilní obrany, odborná zdravotnická zařízení a fakultní nemocnice, neziskové organizace a sdružení občanů, které lze využít k záchranným a likvidačním pracím. Ostatní složky IZS jsou povolávány k záchranným a likvidačním pracím podle povahy mimořádné události, na základě jejich možností zasáhnout a pravomocí, které jim dávají právní předpisy. [40]

Složkami IZS, které mohou pro svoji činnost využít výstupy síťových analýz, jsou především Hasičský záchranný sbor a Zdravotnická záchranná služba. Ty využívají síť vhodně rozmístěných pevných výjezdových stanovišť, zatímco Policie ČR systém hlídek.

### 6.2 Zdravotnická záchranná služba Plzeňského kraje

Zdravotnická záchranná služba Plzeňského kraje (ZZS PK) v současnosti zajišťuje poskytování přednemocniční neodkladné péče pomocí 20 výjezdových stanovišť rozmístěných po celém území kraje, viz obrázek 6.1. Většina těchto stanovišť je provozována krajem. Výjezdové stanoviště v Sušici je provozováno tamní nemocnicí. Výjezdové stanoviště v Přešticích (Dopravní a záchranná služba Přeštice) je samostatné stejně jako stanoviště letecké záchranné služby v Líních (stav k 2.6.2008). [39]



Obrázek 6.1: Spádová území operačních středisek a výjezdová stanoviště ZZZS PK

Činnost těchto výjezdových stanovišť je řízena a koordinována prostřednictvím operačních středisek. Ta jsou v celém kraji tři, v Domažlicích, Klatovech a Plzni. Operační střediska plní následující funkce [39]:

- Nepřetržitě a bezprostředně řídí činnost výjezdových skupin zdravotnické záchranné služby
- Přijímají nepřetržitě tísňové výzvy na lince 155.
- Ukládají po vyhodnocení tísňové výzvy.
- Soustřeďují informace o volných lůžkách na odděleních neodkladné péče.
- Zabezpečují svolání určených pracovníků.
- Řídí nasazení letecké záchranné služby.
- Organizují ve spádovém území některé specializované činnosti, zejména sekundární transporty, dopravu nemocných a raněných.

Příchozí hovory z pevných linek jsou operačním střediskům rozdělovány na základě polohy volajícího. Spádová území jednotlivých středisek jsou vidět na obrázku 6.1. Hovory z mobilních telefonů přijímá pouze operační středisko v Plzni. Ostatní hlavní složky IZS (hasiči a policie) mají svá vlastní operační střediska.

### **6.3 Hasičský záchranný sbor Plzeňského kraje**

Tato kapitola byla zpracována podle [48].

Hasičský záchranný sbor Plzeňského kraje (HZS PK) je součástí Hasičského záchranného sboru České republiky. Jeho základním posláním je chránit životy a zdraví obyvatel a majetek před požáry a poskytovat účinnou pomoc při mimořádných událostech.

Postavení a působnost HZS PK je dáno především zákonem č. 238/2000 Sb., o Hasičském záchranném sboru České republiky a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákonem č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů a zákonem č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Do svěřené působnosti HZS PK spadá celá řada činností, které se dají rozdělit do několika skupin. Zde se omezím jen na velmi stručný výtah těch nejdůležitějších. Více o činnosti a úlohách HZS PK se lze dočíst na webových stránkách HZS PK.

HZS PK na úseku požární ochrany:

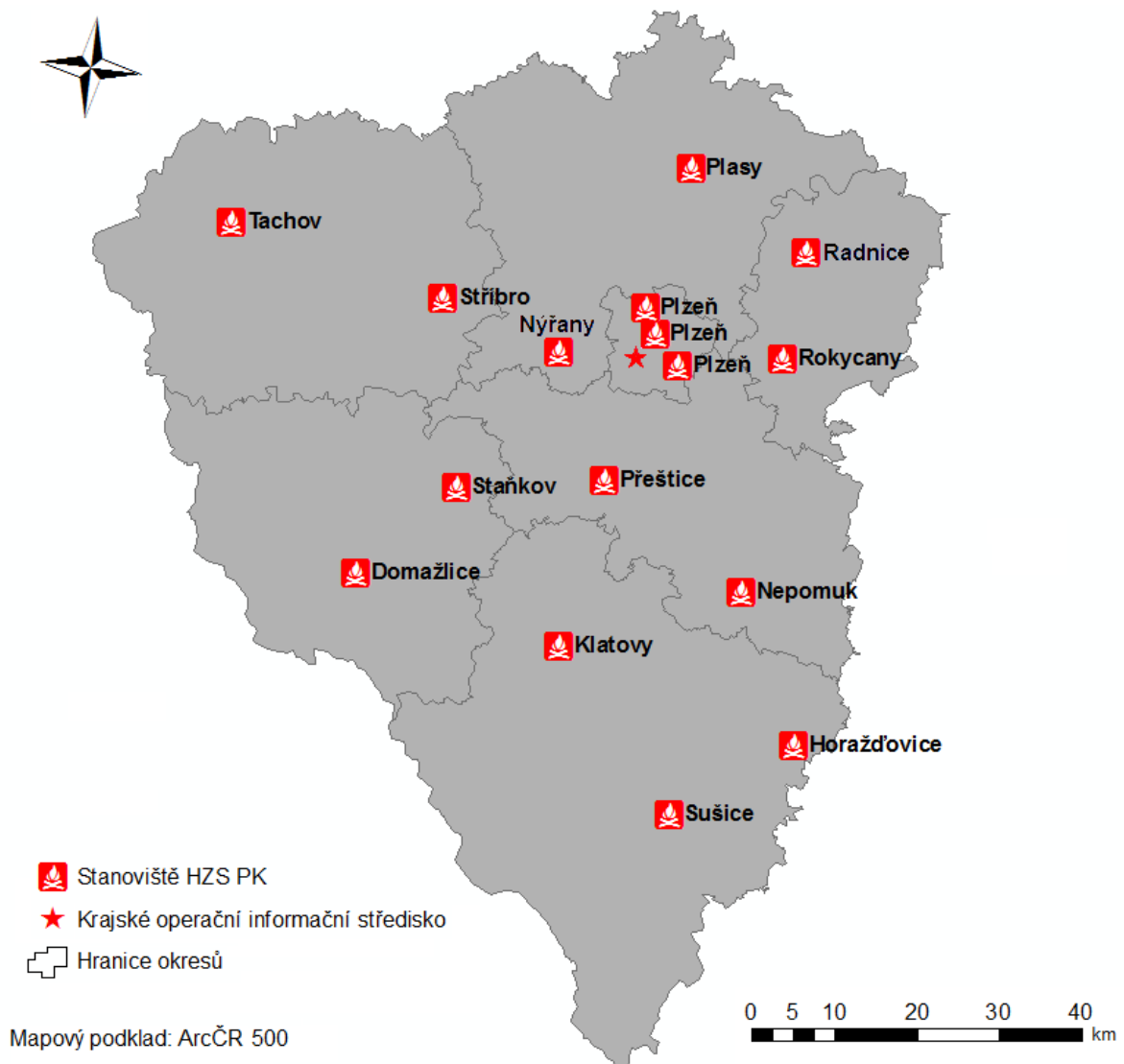
- Zpracovává koncepci požární ochrany kraje.
- Vykonává státní požární dozor a je dotčeným orgánem státní správy na úseku požární ochrany.
- Kontroluje plnění nařízení orgánů kraje vydaných na úseku požární ochrany.
- Odpovídá za připravenost a akceschopnost jednotek HZS kraje.
- Zřizuje a provozuje operační a informační středisko HZS kraje.
- Přijímá tísňová volání na linkách 150 a 112.

Na úseku IZS pak zejména:

- Zabezpečuje plnění úkolů operačních a informačních středisek IZS.
- Usměňuje IZS na úrovni kraje.
- Zpracovává poplachový plán IZS kraje.
- Koordinuje záchranné a likvidační práce a plní úkoly při provádění záchranných a likvidačních prací stanovené Ministerstvem vnitra a krajským úřadem.

Na území Plzeňského kraje je v současnosti 16 stanovišť profesionálních hasičských jednotek řízených krajským operačním informačním střediskem (KOPIS). Jejich rozmístění je vidět na obrázku 6.2.





Obrázek 6.2: Rozmístění jednotek HZS PK

## 7 Faktory ovlivňující dojezdovou dobu

V této kapitole jsou vyjmenovány všechny podstatné faktory, které ovlivňují rychlost dojezdu jednotek IZS na místo mimořádné události. Vzhledem k povaze práce zde uvádím pouze faktory ovlivňující dojezdovou dobu při jízdě po síti komunikací.

Pozn.: V práci se nezabývám dojezdovou dobou vozů Policie ČR vzhledem k odlišnému systému fungování – policie užívá systém hlídek.

Mezi faktory ovlivňující rychlost jízdy a tedy i dojezdovou dobu patří:

- Dopravní prostředek – Zatímco ZZS používá, co do rychlosti jízdy, srovnatelné vozy, u HZS je druhů používaných mnohem víc a tato se liší i u jednotlivých jednotek. Druh dopravního prostředku je nutné v analýze zohlednit. Úzce souvisí s následujícím faktorem.
- Druh komunikace – Zřejmý je rozdíl mezi maximální možnou rychlostí jízdy na dálnici a po silnici 3. třídy. Druh komunikace bývá v analýzách vyjádřen pomocí stanovení rychlosti jízdy na jednotlivých typech komunikací. Ne jinak je tomu i v mojí analýze. Takto stanovené rychlosti jsou základní a jsou pouze slabě ovlivňovány ostatními, dále vyjmenovanými faktory. Co nejlepší stanovení rychlosti je pro správnost analýzy velmi důležité. Rychlosti musí zohledňovat i druh dopravního prostředku.
- Stav komunikace – Z důvodu bezpečnosti je nutné přizpůsobit rychlost jízdy stavu vozovky. Data, která by takovou informaci obsahovala, jsem neměl k dispozici, tudíž nebylo možné stav komunikací v analýze zohlednit. Velmi zobecněně předpokládám, že stav komunikace odpovídá jejímu druhu, což je vyjádřeno nastavením nižší rychlosti na nižších třídách komunikací.
- Dopravní situace – Hustota dopravy ovlivňuje rychlost jízdy zejména ve městech. Tento faktor je v analýze zohledněn různým ohodnocením sítě pro denní a noční dobu, kdy pro denní dobu je rychlost snížena na komunikacích vyšších tříd.
- Povětrnostní podmínky – Počasí velmi často komplikuje dopravu a může zásadním způsobem ovlivnit dojezdovou dobu. Je to ovšem faktor rychle se měnící v čase i prostoru a tak je obecnou analýzou nepostihnutelný. V analýze není zohledněn.
- Svažitost – Vliv svažitosti komunikací na rychlost jízdy je velmi omezený. Jeho vliv by se mohl projevit snad jen na komunikacích nižších tříd. Jinak je předpoklad, že většina vozidel jednotek IZS je schopna se pohybovat konstantní rychlostí bez ohledu na svažitost. Tento parametr proto není v analýze nijak zohledněn.
- Zakřivení komunikace – Zakřivení komunikace má na rychlost jízdy podstatně větší vliv než její svažitost. Z tohoto důvodu je pro linie z vybraných vrstev určován index zakřivení, který degraduje rychlost jízdy po komunikaci. Více viz kapitola 8.1.3.
- Faktor osobnosti řidiče – Velmi obtížně vyjádřitelný faktor, který ovšem také má svůj nesporný vliv na rychlost jízdy. Promítnou se do něj například zkušenosti, schopnosti a styl jízdy jednotlivých řidičů. V analýze není zohledněn.

## 8 Příprava dat

Kapitola popisuje postup přípravy dat pro tvorbu modelu sítě komunikací v podobě síťového datasetu a tvorbu samotnou. Jsou zde popsány chyby vyskytující se v použitých datech, způsob jejich nápravy, rozčlenění původního souboru dat do vrstev, pravidla užitá při kontrole topologie a tvorbě síťového datasetu. Pro veškerou práci s daty jsem používal software ESRI ArcGIS.

### 8.1 Použitá data a jejich předzpracování

Základními daty, která jsem využil v prováděné analýze, byla vektorová data ZABAGED pro území Plzeňského kraje konkrétně vrstva *Komunikace*. Data mi byla poskytnuta Krajským úřadem Plzeňského kraje ve formátu shapefile. Jako doplněk jsem použil data ze Silniční databanky Ostrava (SDO) a ortofoto z geoportálu cenia. Dalšími vstupními daty byla bodová vrstva s výjezdovými stanovišti ZZS PK a HZS PK.

Předzpracování dat probíhalo v těchto krocích:

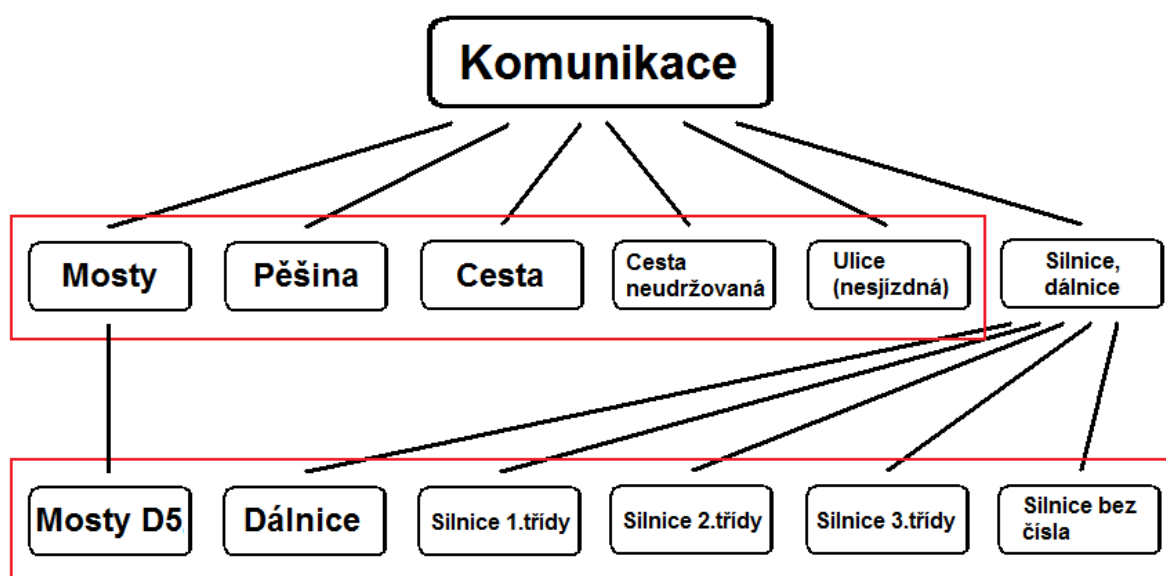
- Rozdělení původní vrstvy *Komunikace* do nových vrstev podle typu objektu.
- Editace hrubých chyb v attributech a polohopisu.
- Import dat do geodatabáze a doplnění některých atributů.
- Kontrola topologie a editace nalezených chyb.
- Modelování silniční sítě a tvorba síťového datasetu.

#### 8.1.1 Rozdělení původní vrstvy *Komunikace* do nových vrstev podle typu objektu

Původní vrstvu *Komunikace* bylo nutné rozdělit kvůli snazší správě atributů jednotlivých prvků, modelování konektivity, tvorbě ohodnocení sítě a v neposlední řadě také větší přehlednosti dat. Rozdělení je vidět na obrázku 8.1. V prvním kroku byly z vrstvy *Komunikace* podle hodnoty atributu *Typ* vybrány objekty: most, pěšina, cesta, cesta neudržovaná, ulice (nesjízdná) a silnice, dálnice. Tyto objekty pak byly importovány do shodně pojmenovaných shapefile souborů (vrstev). Dále bylo nutné rozdělit objekty z vrstvy *silnice, dálnice* podle třídy komunikace na dálnice, silnice 1. až 3. třídy a silnice bez čísla. Atribut *Třída komunikace* by měl být součástí ZABAGED, bohužel, data, která jsem měl k dispozici, jej neobsahují. Rozdělení tedy bylo realizováno za pomoci dat ze SDO, konkrétně byl jednotlivým komunikacím přiřazena třída komunikace podle čísla silnice, pokud nějaké měly. Tímto tedy vznikly další vrstvy: *Dálnice, Silnice 1. až 3. třídy* a *Silnice bez čísla*. Záznamy ve vrstvě *Silnice bez čísla* bylo nutné dodatečně zkontrolovat, protože namátkovou vizuální kontrolou bylo zjištěno, že jsou v ní obsaženy i komunikace, které by číslo mít měly. Jednalo se především o dálniční přivaděče a úseky mimoúrovňových křížení. Konkrétní chyby a jejich náprava je popsána dále. Dodatečně bylo nutné z vrstvy *Mosty* vybrat dálniční mosty a vytvořit pro ně zvláštní vrstvu, z důvodu modelování konektivity, viz dále. Výsledkem selekce je těchto jedenáct liniových vrstev:

- Dálnice
- Silnice 1. třídy
- Silnice 2. třídy
- Silnice 3. třídy
- Silnice bez čísla – Silnicemi bez čísla jsou například silniční odpočívadla, cesty k průmyslovým zařízením, podnikům, zemědělským usedlostem apod., jedná se o zpevněné komunikace.
- Ulice (nesjízdná) – Nesjízdnou ulicí je například pěší zóna, obecně je průjezd možný.
- Cesta – Například místní zkratky a servisní cesty, povrch cest je zpevněný.
- Cesta neudržovaná – Lesní a polní cesty pro zemědělské stroje, sjízdné s určitými obtížemi.
- Pěšina – Vozem nesjízdná.
- Mosty
- Mosty D5

Pozn.: Výše popsany charakter komunikací byl posuzován s pomocí ortofota podle míst mně osobně známých.



Obrázek 8.1: Rozdělení vrstvy Komunikace

Na závěr jsem provedl oříznutí všech vrstev vrstvou *Mosty* (resp. vrstvy *Dálnice* vrstvou *Mosty D5*), aby se odstranila duplicita linie v místě, kde stojí most.

## 8.1.2 Editace hrubých chyb v atributech a polohopisu

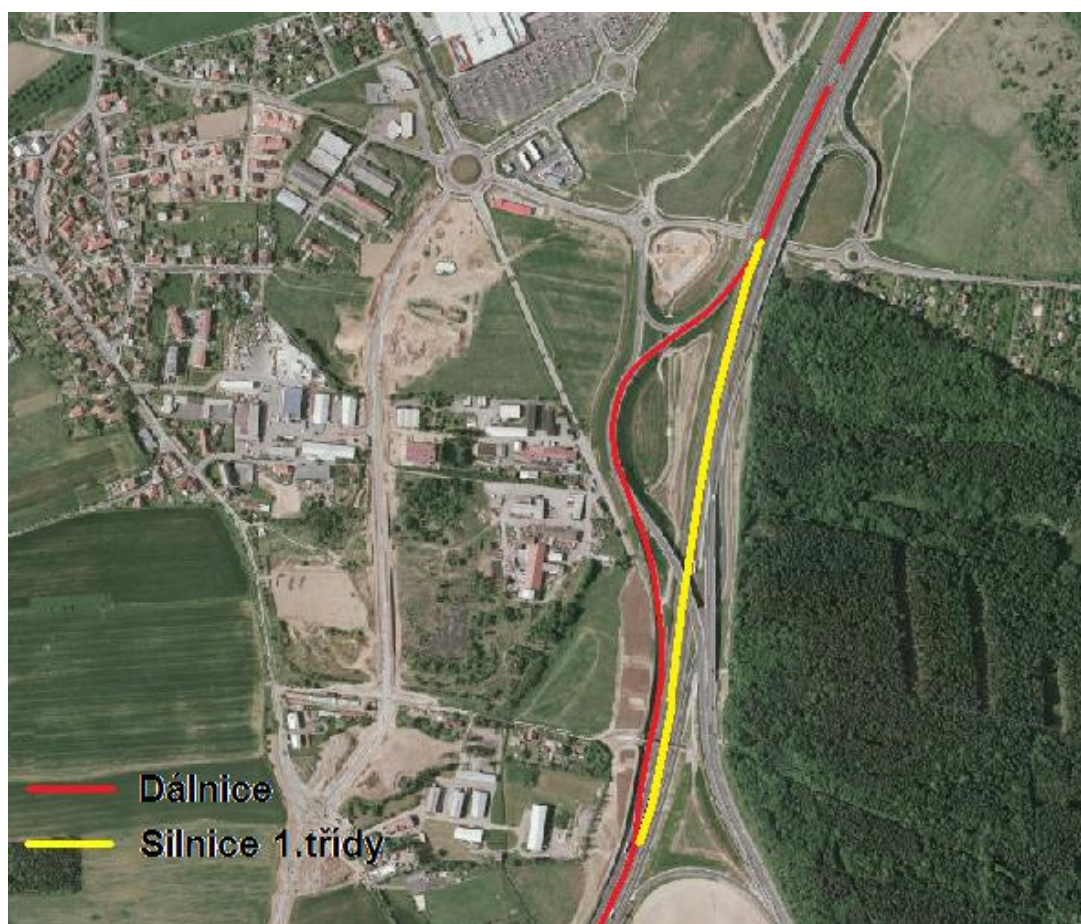
V datech poskytnutými krajským úřadem byl porovnáním s daty poskytnutými ČÚZK (\*) zjištěn výskyt mnoha více či méně závažných chyb. Data byla neaktuální a nekompletní. Bohužel aktuální podobu ZABAGED lze pro studijní účely od ČÚZK získat pouze v rozsahu několika mapových listů.

(\*) Od ČÚZK jsem si vyžádal vzorek ZABAGED právě pro kontrolu a také pro porovnání datových modelů, viz kapitola 4.

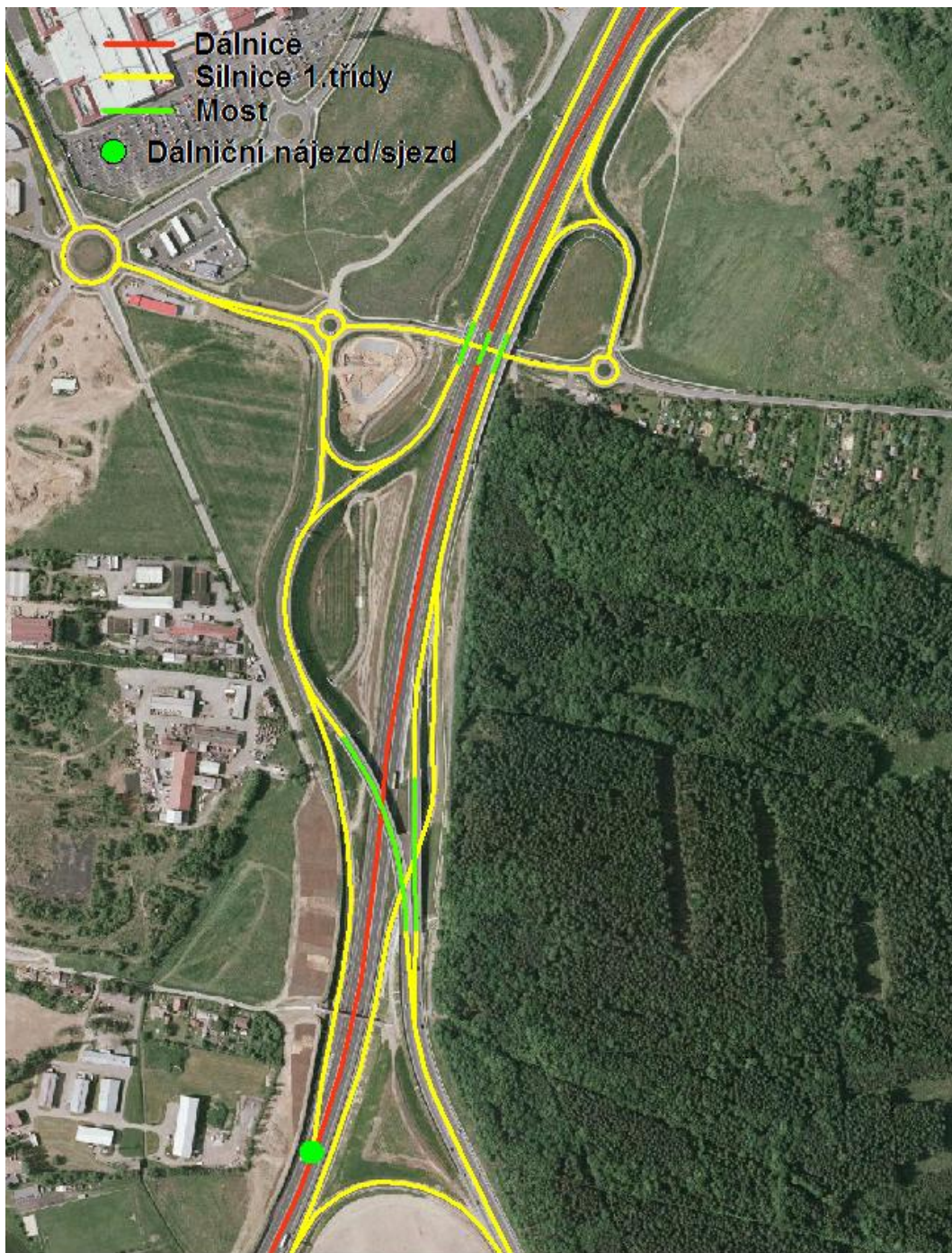
Přestože náprava chyb ZABAGED nebyla primárně náplní mé práce, bylo nutné některé nalezené chyby opravit vzhledem k jejich závažnosti a evidentnosti.

První již zmíněnou chybou byla absence atributu *Třída komunikace* v původní vrstvě *Komunikace*. Podle tohoto atributu jsou tříděny objekty, viz předchozí kapitola. Řešení bylo popsáno taktéž v předchozí kapitole.

Další závažnou chybou bylo chybné označení některých silničních úseků jako dálnice a naopak, viz obrázek 8.1. Tato chyba se vyskytovala výhradně na plzeňském dálničním obchvatu, ovšem nemohla být způsobena neaktuálností dat, ale spíše chybnou editací. Nalezené nesrovnalosti byly upraveny do stavu na obrázku 8.2.



Obrázek 8.2: Dálniční obchvat v blízkosti NC Olympia – původní stav



Obrázek 8.3: Dálniční obchvat v blízkosti NC Olympia – náprava

Velmi častou chybou bylo, že některé úseky silnic byly vedeny jako *silnice bez čísla*, přestože by číslo mít měly. Jak již bylo řečeno, jednalo se o dálniční přivaděče a nájezdy, úseky mimoúrovňového křížení komunikací nebo části křižovatek a kruhových objezdů. Ke kontrole jsem použil ortofoto a data ze SDO, ze kterých je dobře patrné, kde očíslovaný úsek začíná a končí. Abych si práci usnadnil, vybral jsem prostorovým dotazem takové objekty z vrstvy *Silnice bez čísla*, které se dotýkají úseků s přiřazeným číslem a zároveň sami žádné číslo nemají. Tento výběr jsem pak záznamu prošel a kde to bylo nutné, přidal jsem silničnímu úseku do atributu *NAMS* (číslo silnice) respektive *Třída komunikace* patřičné

číslo respektive hodnotu podle SDO. Celý postup jsem rekurzivně opakoval. Tímto způsobem označené záznamy jsem na závěr roztřídil do příslušných vrstev.

Dalšími chybami v atributech byly také překlepy, například v číslech silnic. Chyby byly odhaleny při přiřazování atributu *Třída komunikace* právě podle čísla silnice ze SDO. Číslo silnic byla opravena podle SDO.

Chyby se ovšem vyskytovaly i v polohopisu. Mezi ty „méně závažné“ patří absence některých komunikací, chybný průběh křížení nebo neznačená aktuální neprůjezdnost komunikací. Tyto chyby plynou z neaktuality dat a byly řešeny dodatečným zakreslením nebo odmazáním komunikace případně úpravou jejího průběhu. Na obrázku 8.3 je vidět příklad chybného křížení silnice se železnicí na Koterovské třídě v Plzni a na obrázku 8.4 pak náprava.



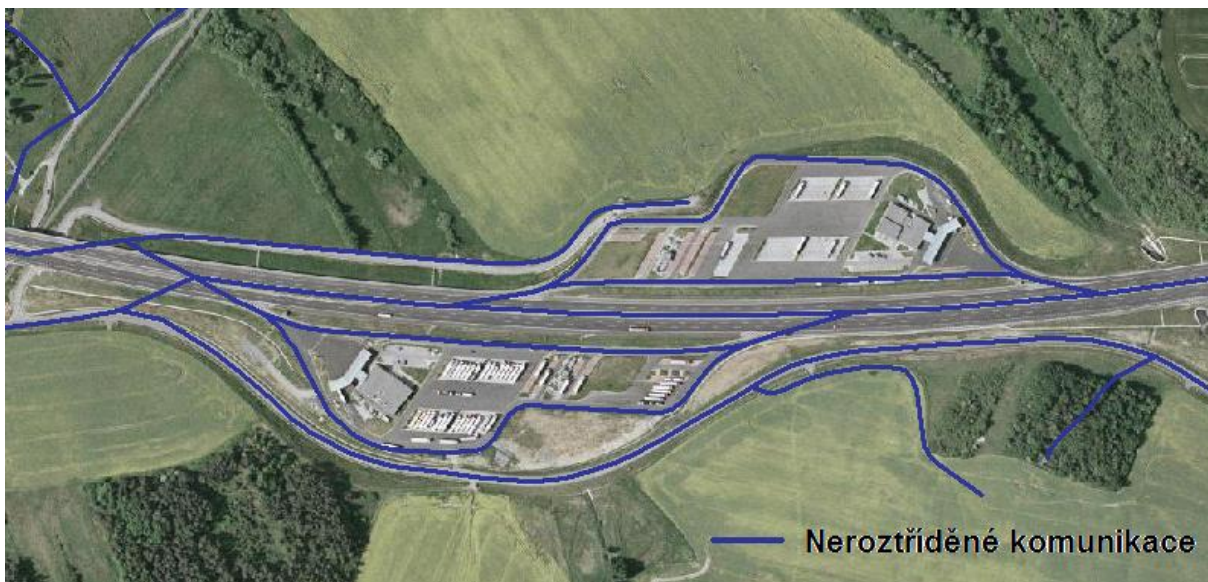
Obrázek 8.4: Koterovská třída – chybně zakreslený průběh křížení



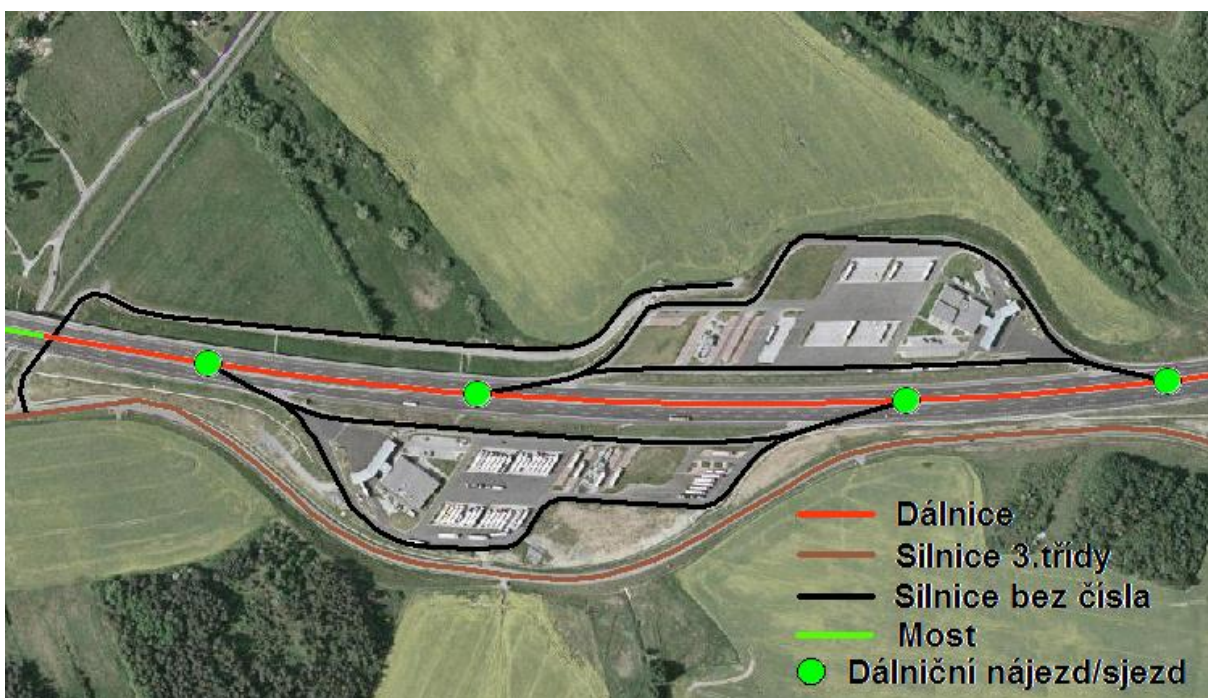
Obrázek 8.5: Koterovská třída – náprava

Hrubé chyby v polohopisu se vyskytovaly na dálnici D5, jejích přivaděčích a okolí. Velmi často pak na obchvatu Plzně. Patří mezi ně nespojitosti, chybné vedení nadjezdů a podjezdů, absence mostů, splynutí dálnice s komunikací nižší třídy, velké polohové nepřesnosti nebo absence komunikací v okolí. V některých místech cesty přímo navazovaly na dálnici, což je nepřijatelné a mohlo by to negativně ovlivnit prováděnou analýzu. Nejzávažnější chyby a způsob jejich nápravy jsou vidět z následujících obrázků.

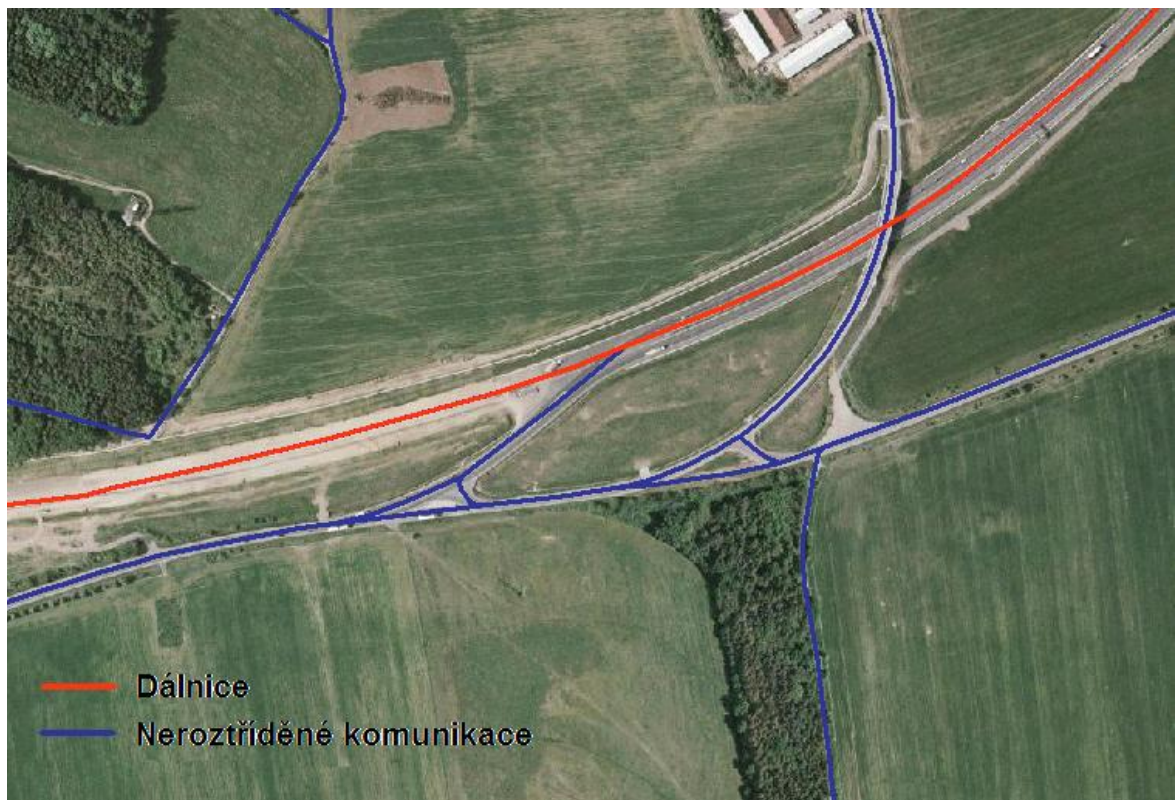




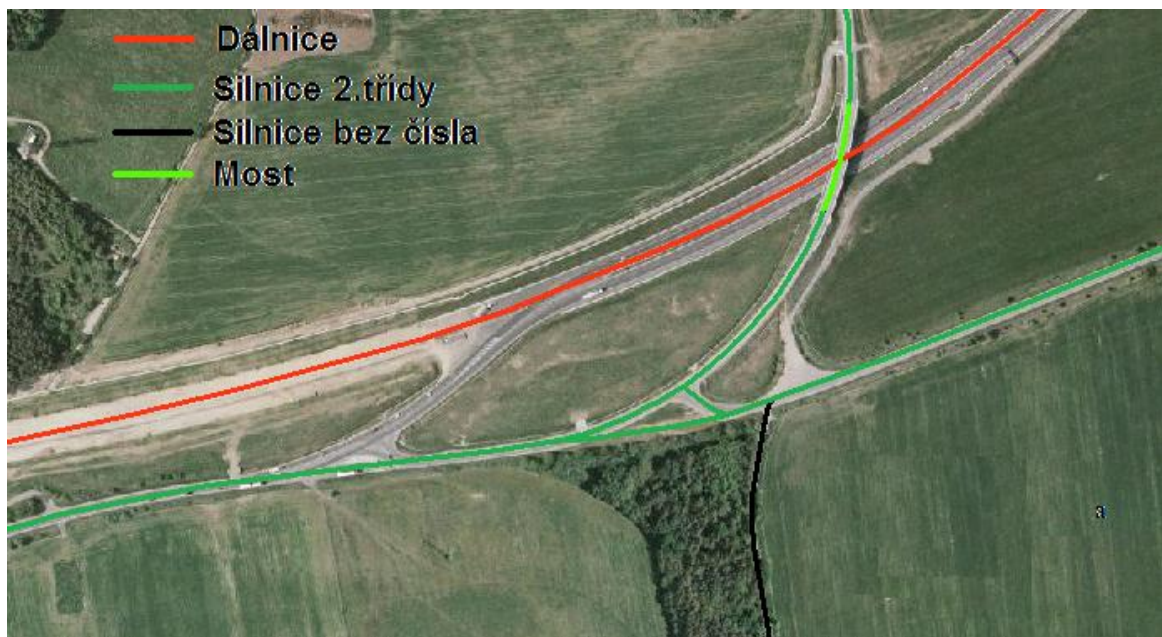
Obrázek 8.6: Čerpací stanice v Plzni Litvichy – chybné zakreslení průběhu podjezdu



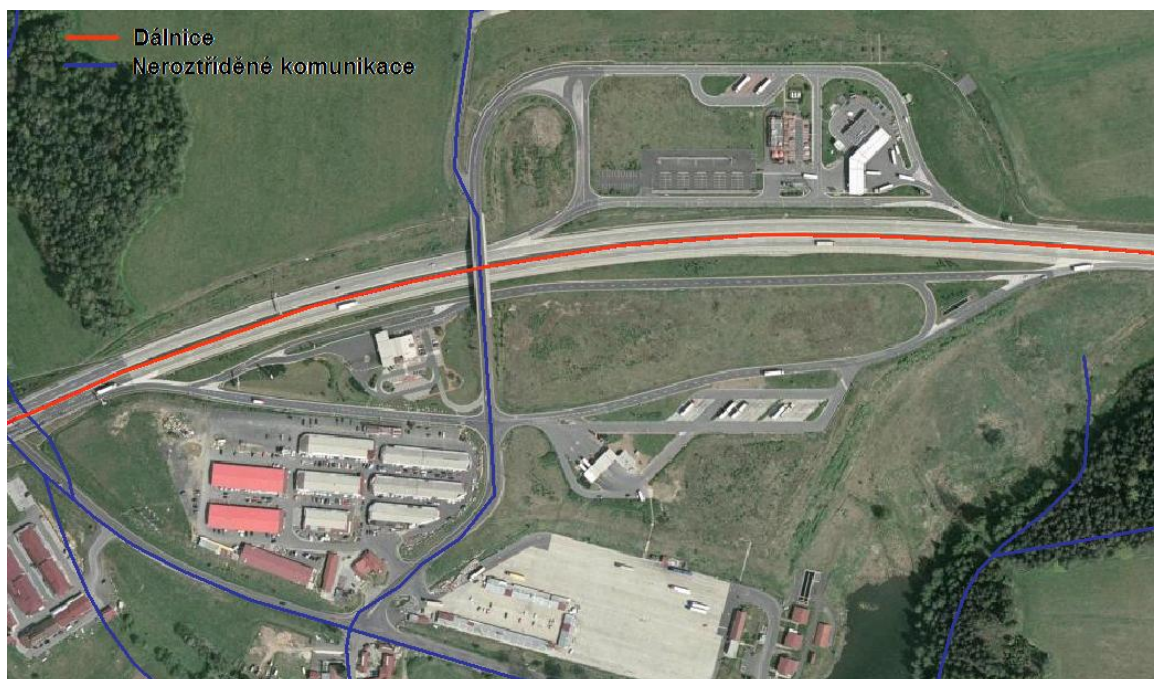
Obrázek 8.7: Čerpací stanice v Plzni Litvichy – náprava



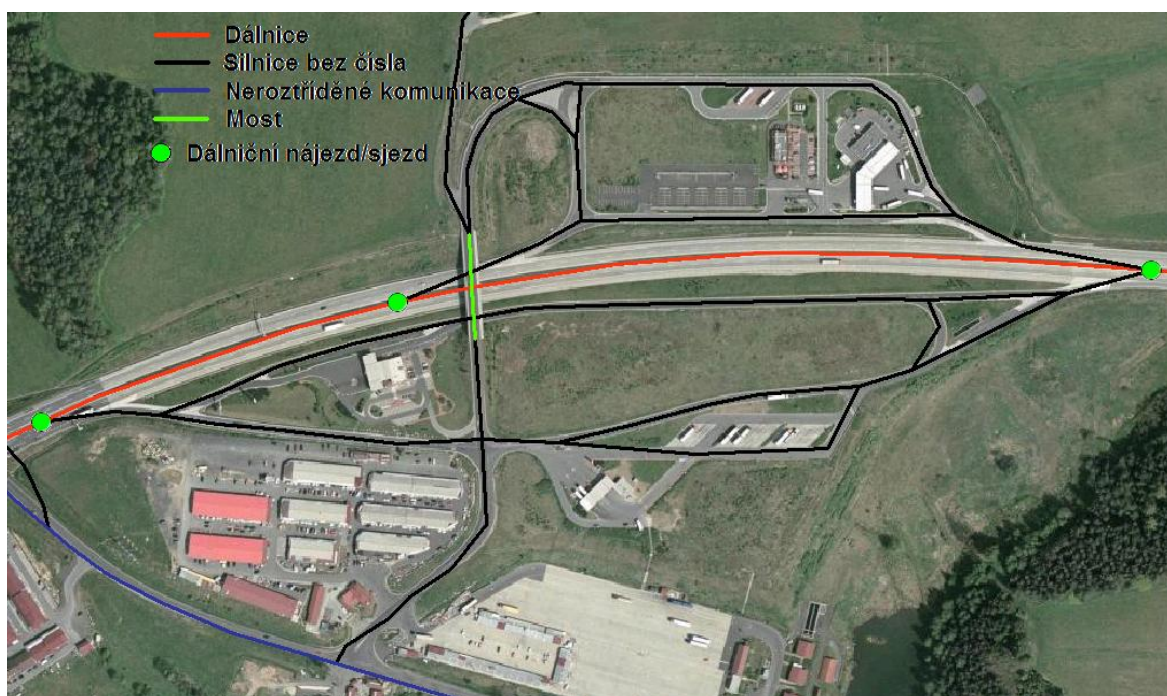
Obrázek 8.8: Okolí tunelu pod vrchem Valík – neaktuální průběh komunikace



Obrázek 8.9: Okolí tunelu pod vrchem Valík – náprava



Obrázek 8.10: Hraniční přechod Rozvadov – absence komunikací



Obrázek 8.11: Hraniční přechod Rozvadov – náprava

Z odhalených a opravených chyb v polohopise a v atributech se jich valná většina vyskytovala na dálnici D5 a v jejím nejbližší okolí. Zde mohou také analýzu dojezdnosti nejsilněji ovlivnit. Chyby v Plzni a okolí byly odhaleny pouze náhodou a je pravděpodobné, že data obsahují další. Nebylo v mých silách ani mým záměrem se jejich hledáním podrobněji zabývat.

### 8.1.3 Import dat do geodatabáze a doplnění některých atributů

Všechny opravené vrstvy byly následně importovány do geodatabáze (Personal geodatabase viz kapitola 3.1.3). Do geodatabáze byly také přidány tři bodové vrstvy: *Výjezdová místa ZZS PK*, *Výjezdová místa HZS PK* a *Dálniční nájezdy*. Vrstvy *Výjezdová místa ZZS PK* a *Výjezdová místa HZS PK* byly převzaty z [28] a obsahují výjezdová stanoviště ZZS a HZS v Plzeňském kraji. Aby byly vrstvy pro analýzu použitelné, bylo nutné polohu jednotlivých výjezdových stanovišť opravit a přesunout je (nasnapovat) na nejbližší komunikaci. Vrstvu *Dálniční nájezdy* jsem vytvořil a obsahuje body reprezentující nájezdy a sjezdy z dálnice. Vrstva posloužila při tvorbě síťového datasetu pro modelování tzv. *multimodální sítě*, tedy sítě, ve které figuruje více typů liniových vrstev v tomto případě komunikací, mezi kterými je propojení možné pouze v určitých definovaných bodech.

Před tvorbou síťového datasetu jako modelu sítě komunikací je nutné pro každou liniovou vrstvu vytvořit atributy, pomocí kterých jsou modelovány vlastnosti sítě a tvořeno její ohodnocení. Každé vrstvě byly přidány atributy vyjadřující rychlost jízdy po komunikaci a čas potřebný pro překonání daného úseku komunikace. Dále pak vybraným vrstvám (silnice vyšších tříd) atribut vyjadřující zakřivení linií. Nově vytvořené atributy popisuje následující tabulka.

Atribut	Popis	Přidáno vrstvě (vrstvám)
* <i>Rychlost</i>	Teoretická rychlost jízdy po komunikaci.	Všem liniovým
<i>Čas</i>	Čas potřebný k překonání komunikace, vypočtený z atributů <i>Shape length</i> (délka linie automaticky spravovaná ArcGIS) a <i>Rychlost</i> . $\text{Čas} = \frac{\text{Shape length}}{\text{Rychlost}}$	Všem liniovým
<i>CurvatureIndex</i>	Index zakřivení linie. Číslo vyjadřující poměr mezi délkou linie vypočtenou ze souřadnic počátečního a koncového bodu linie a skutečnou délkou linie. $\text{CurvatureIndex} = \frac{ XY }{\text{Shape length}}$	<i>Cesta, Cesta neudržovaná, Dálnice, Silnice 1., 2., 3. třídy, Ulice, Silnice bez čísla</i>
<i>Opravený čas</i>	Čas potřebný k překonání komunikace, vypočtený z atributů <i>Shape length</i> a rychlost. Hodnota atributu <i>Rychlost</i> je v tomto případě snížena přenásobením atributem <i>CurvatureIndex</i> . Tyto hodnoty času zohledňují zakřivení komunikací. $\text{Opravený čas} = \frac{\text{Shape length}}{\text{Rychlost} * \text{CurvatureIndex}}$	<i>Cesta, Cesta neudržovaná, Silnice bez čísla</i>
** <i>Rychlost běžného provozu</i>	Rychlost běžného provozu na jednotlivých typech komunikací. Tento atribut byl zaveden pro zohlednění vlivu hustoty dopravy na rychlost jízdy.	<i>Dálnice, Silnice 1., 2., 3., třídy, Ulice, Mosty, Mosty D5</i>
<i>Opravený čas – den</i>	Čas potřebný k překonání komunikace, vypočtený z atributů <i>Shape length</i> a <i>Rychlost běžného provozu</i> . Hodnota atributu <i>Rychlost běžného provozu</i> je v tomto případě snížena přenásobením atributem <i>CurvatureIndex</i> . Tyto hodnoty času zohledňují zakřivení komunikací a větší hustotu dopravy přes den. $\text{Opravený čas – den} = \frac{\text{Shape length}}{\text{Rychlost běžného provozu} * \text{CurvatureIndex}}$	<i>Dálnice, Silnice 1., 2., 3., třídy, Ulice, Mosty, Mosty D5</i>
<i>Opravený čas – noc</i>	Ekvivalent atributu <i>Opravený čas</i> . V tomto případě má atribut zohledňovat kromě zakřivení komunikací i nižší hustotu dopravy v nočních hodinách. $\text{Opravený čas – noc} = \frac{\text{Shape length}}{\text{Rychlost} * \text{CurvatureIndex}}$	<i>Dálnice, Silnice 1., 2., 3., třídy, Ulice</i>

Tabulka 8.1: Atributy liniových vrstev vytvořené v rámci přípravy dat

\*, \*\* hodnoty atributů *Rychlost* a *Rychlost běžného provozu* jsem pro jednotlivé liniové vrstvy stanovil následovně:

Pro vozy ZZS PK.

<b>Vrstva</b>	<b>Rychlost (Km/h)</b>	<b>Rychlost běžného provozu (Km/h)</b>
Cesta	40	-
Cesta neudržovaná	20	-
Dálnice	160	130
Silnice 1. třídy	110	90
Silnice 2. třídy	90	70
Silnice 3. třídy	70	50
Silnice bez čísla	60	-
Pěšina	4	-
Ulice	60	50
Mosty	Podle třídy navazující komunikace	Podle třídy navazující komunikace
Mosty D5	160	130

Tabulka 8.2: Rychlosti jízdy po komunikacích pro vozy ZZS PK

Pro vozy HZS PK.

<b>Vrstva</b>	<b>Rychlost (Km/h)</b>	<b>Rychlost běžného provozu (Km/h)</b>
Cesta	40	-
Cesta neudržovaná	20	-
Dálnice	130	110
Silnice 1. třídy	90	70
Silnice 2. třídy	70	50
Silnice 3. třídy	70	50
Silnice bez čísla	60	-
Ulice	60	50
Mosty	Podle třídy navazující komunikace	Podle třídy navazující komunikace
Mosty D5	130	110

Tabulka 8.3: Rychlosti jízdy po komunikacích pro vozy HZS PK

## 8.1.4 Kontrola topologie

Dále byla nad všemi vrstvami datasetu vytvořena topologie (viz kapitola 2.4.2.2) a implementována pravidla pro její kontrolu.

Tvorba topologie probíhá v ArcGIS ve dvou krocích. V prvním se vybírají vrstvy, nad kterými bude topologie vytvářena, a nastavují pravidla pro vztahy mezi jednotlivými vrstvami. Ve druhém se tato pravidla kontrolují (topologie se validuje). Více o tvorbě topologie v ArcGIS lze najít v [31].

Základním nástrojem kontroly topologie v ArcGIS je tzv. *clustering*. Jedná se o proces, během něhož jsou uzlové body, jejichž vzájemná vzdálenost je menší než nastavená (*cluster tolerance*), spojeny do jednoho uzlu. Pokud je celý prvek menší než nastavená hodnota *cluster tolerance*, je prvek označen jako chyba. Hodnotu *cluster tolerance* nastavuje uživatel a volba její velikosti závisí především na přesnosti používaných dat.

Hodnota *cluster tolerance* byla nastavována zkusmo postupně na hodnoty 1mm, 1cm a 1dm, přičemž při hodnotě 1dm odhalila kontrola topologie 32 chyb. Jednalo se o přetahy na komunikacích, které byly odmazány pomocí nástroje na opravu topologie.

Při kontrole topologie byla implementována tato pravidla:

*Dálniční nájezdy must be covered by Dálnice* – pravidlo kontroluje, jestli objekty (body) z vrstvy *Dálniční nájezdy* leží v uzlových bodech objektů (linií) z vrstvy *Dálnice*. Kontrola tohoto pravidla proběhla bez chyb.

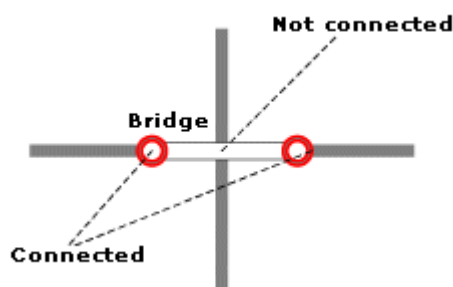
Pro všechny liniové vrstvy (*Dálnice*, *Silnice 1., 2., 3. třídy*, *Silnice bez čísla*, *Cesta*, *Cesta neudržovaná*, *Ulice*, *Pěšina*, *Mosty*, *Mosty D5*) bylo kontrolováno pravidlo *Must not overlap*. Kontrola tohoto pravidla odhalí linie, které se překrývají – duplicity v rámci vrstvy. Ve vrstvách *Cesta* a *Cesta neudržovaná* bylo nalezeno cca 16 000 duplicitních záznamů. Oproti tomu zanedbatelný počet v řádu desítek záznamů se vyskytoval ve vrstvách *Silnice 2. a 3. Třídy*. Z těchto vrstev byly po vizuální kontrole duplicitní záznamy ručně odmazány opět pomocí nástroje na opravu topologie.

V případě prvních dvou zmíněných vrstev jsem postupoval následovně. Každá z vrstev obsahuje dva atributy, které lze použít jako primární klíče tedy jako jednoznačné identifikátory prvku. Jedná se o atributy OBJECTID (OID) a MSLINK. OID je atribut spravovaný a užívaný ArcGIS (funkce atributu MSLINK byla popsána v kapitole 3.3). Hodnota atributu MSLINK není v žádné z užívaných vrstev udržována jako unikátní, čehož lze pro odstranění duplicit využít. Vytvořil jsem tedy nové prázdné vrstvy se shodnou strukturou jako vrstvy původní a navíc jsem atribut MSLINK označil jako unikátní. Poté jsem do nových vrstev importoval data z původních. Tento import odstraní díky vlastnostem atributu MSLINK veškeré duplicity.

## 8.1.5 Modelování silniční sítě a tvorba síťového datasetu

Síťový dataset je v geodatabázi vytvářen pomocí průvodce v několika krocích, ve kterých je možné nastavit všechny vlastnosti sítě. Po vytvoření síťového datasetu je nutné ho „vybudovat“ viz kapitola 5.1.2.

Základem vznikajícího modelu sítě jsou všechny výše zmíněné bodové a liniové vrstvy. Pro tyto vrstvy byla nejprve nastavena pravidla pro propojení mezi jejich prvky – konektivita. V rámci modelování konektivity byly definovány dvě skupiny liniových vrstev. První obsahuje vrstvy *Dálnice* a *Mosty D5*, druhá pak všechny ostatní komunikace. Tyto dvě skupiny jsou vzájemně propojeny bodovou vrstvou *Dálniční nájezdy*, jinými slovy dálnice může být přímo napojena pouze na dálniční most a na ostatní komunikace pouze skrze dálniční nájezd. Ostatní křížení jsou ignorována. Tímto způsobem se tvoří již zmíněná multimodální síť. Dále byla pro prvky z vrstvy *Mosty* a *Mosty D5* nastavena tzv. *endpoint connectivity*, tedy že jejich napojení na ostatní prvky (komunikace) je možné pouze v koncových bodech a každé křížení mostu a jiné komunikace mimo koncové body linie mostu je považováno za neplanární uzel (podjezd nebo nadjezd), viz obrázek 8.11. Toto je jeden ze způsobů jakým modelovat mimoúrovňové křížení komunikací. U všech ostatních vrstev je křížení povoleno i v mezilehlých bodech linie tzv. *any vertex connectivity*. Stejně tak bodové prvky mohou být na síť napojeny v libovolném vrcholu linií.



Obrázek 8.12: Modelování mimoúrovňového křížení komunikací pomocí nastavení endpoint connectivity (obrázek převzatý z [31])

Posledním krokem procesu modelování sítě komunikací bylo vytvoření atributů síťového datasetu sloužících jako ohodnocení sítě. Vytvořil jsem dva atributy pro ohodnocení sítě: *Čas – den* a *Čas – noc*. Vyjadřují čas potřebný pro překonání úseku komunikace v sekundách. Atributy využívají hodnoty atributů vrstev *Opravený čas – den* (*Čas opravený* a *Čas*) respektive *Opravený čas – noc* (*Čas opravený* a *Čas*) popsanych v kapitole 8.1.3. Tato ohodnocení zohledňují druh, stav a zakřivení komunikací a dále pak různou hustotu dopravy v denních a nočních hodinách způsobem popsáním v kapitole 8.1.3. Jako denní doba je zde uvažována doba mezi 7. a 19. hodinou.



# 9 Analýza dojezdnosti

## 9.1 Nastavení parametrů analýzy

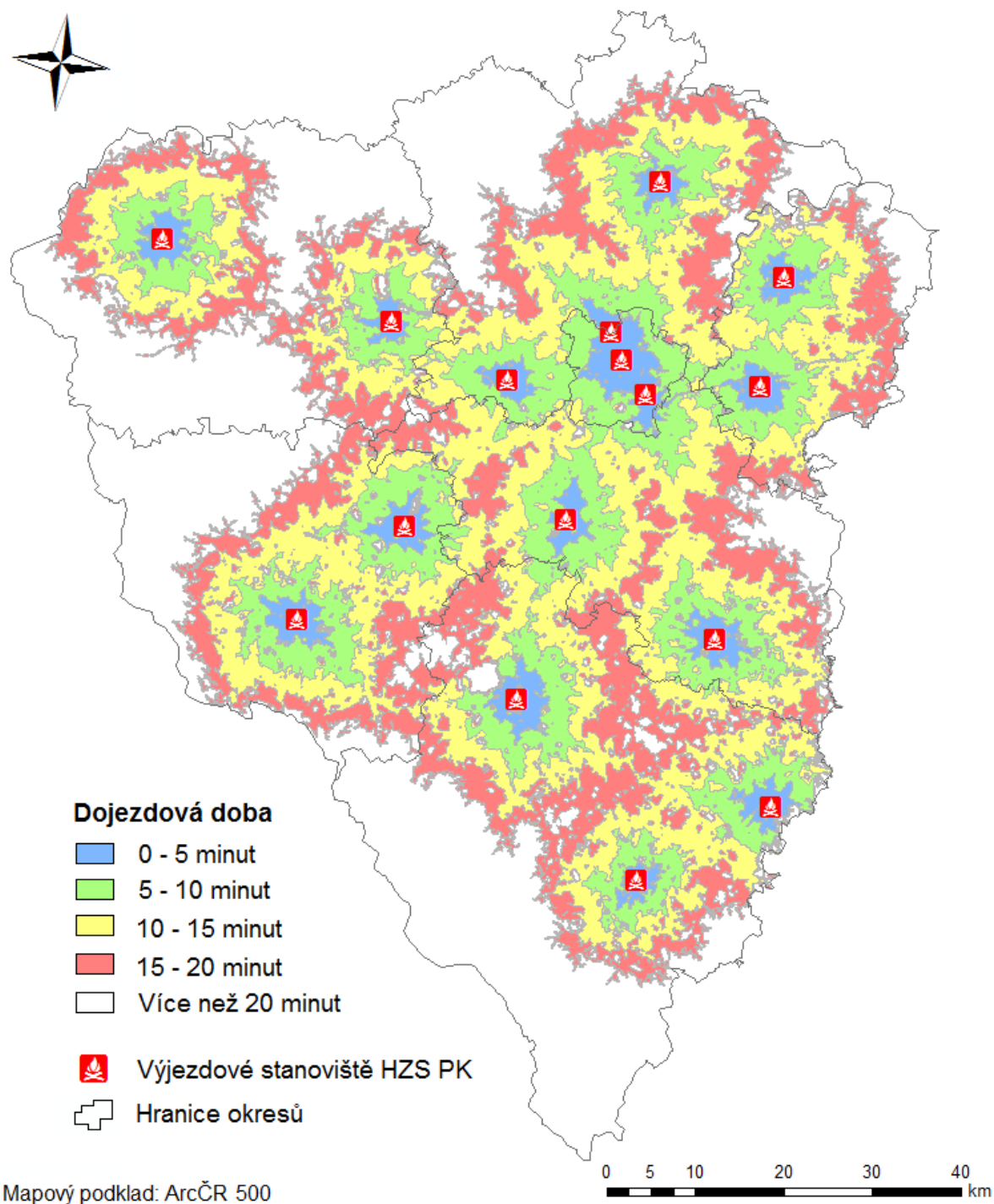
Nad sítí komunikací, namodelovanou výše popsaným způsobem, jsem provedl analýzu dojezdnosti. Analýzu jsem provedl pomocí aplikace Network Analyst. Vstupem pro analýzu byl v předchozím kroku vytvořený dataset a dále vrstva s výjezdovými stanovišti ZZS PK (*Výjezdová místa ZZS PK*) respektive HZS PK (*Výjezdová místa HZS PK*). Výjezdová stanoviště slouží jako body počátku v síti, v jejichž okolí se určuje dojezdová doba. ESRI názvosloví používá pro tyto body výraz *Facilities*. Směrem od těchto bodů se podél hran sítě akumuluje doba nutná k překonání jednotlivých linií daná jejich ohodnocením.

Před provedením samotné analýzy je nutné zvolit ohodnocení sítě, podle kterého chceme analýzu provést (máme-li jich víc) a stanovit časové intervaly pro které chceme dojezdovou dobu vizualizovat. Postupně jsem použil ohodnocení pro denní i noční dobu vytvořené v rámci síťového datasetu. Intervaly jsem zvolil pětiminutové a to 5, 10, 15 a 20 minut.

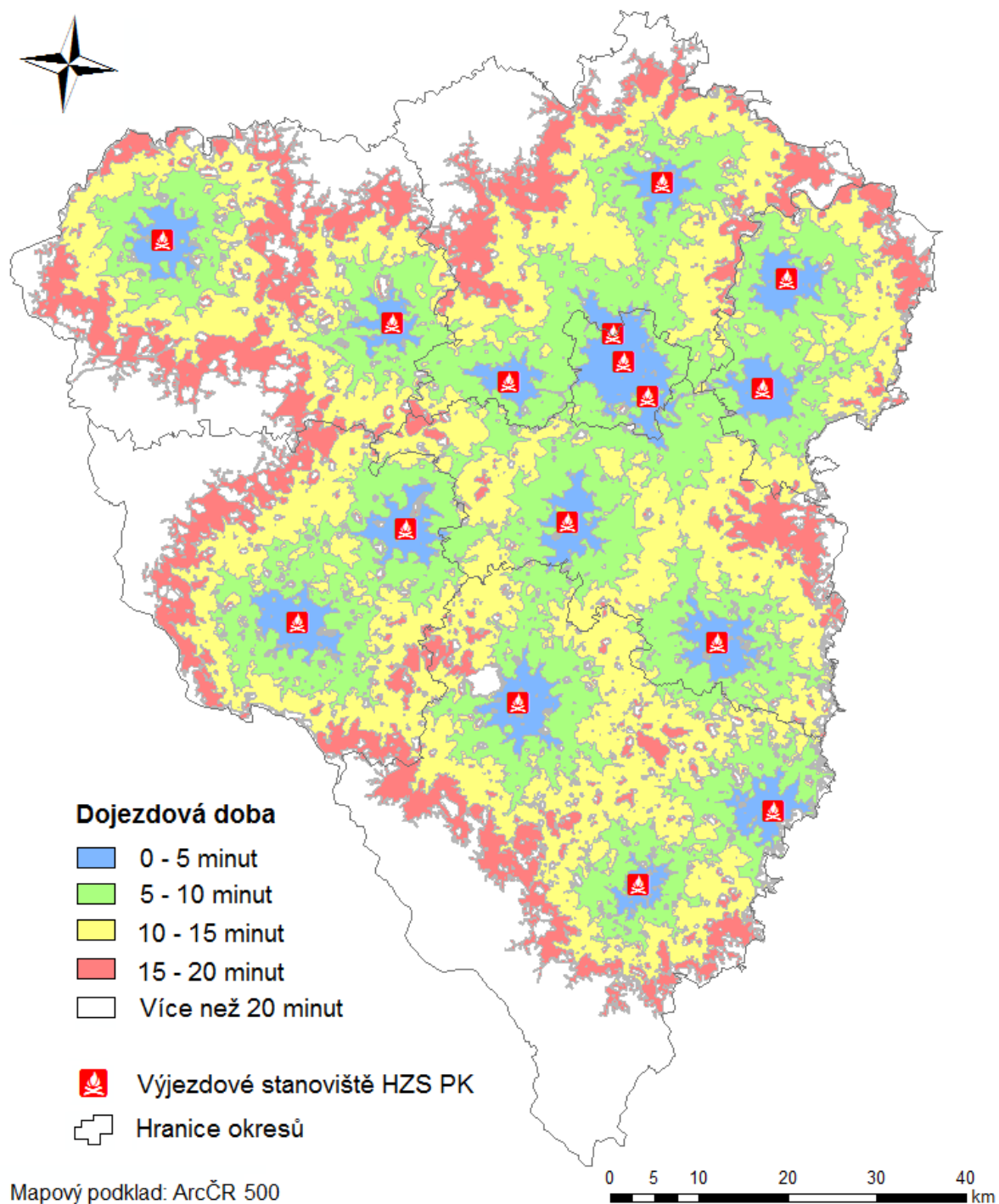
Pro analýzu dojezdnosti ZZS jsem tyto intervaly zvolil proto, že vyhláškou stanovená maximální dojezdová doba na místo události je 15 minut. Zákon ovšem tuto dobu stanovuje v rozmezí 10-20 minut. Samotná definice dojezdové doby je v zákoně a vyhlášce odlišná. V analýze pro ZZS je dojezdovou dobou časový interval mezi přijetím výzvy k výjezdu posádkou vozu a jejím příjezdem na místo události. Výjezdovou dobu, tedy maximální dobu od přijetí výzvy, za kterou musí posádka vozu vyjet k zásahu, jsem u každého výjezdového stanoviště nastavil na dvě minuty (zákonem daná výjezdová doba).

V případě analýzy pro HZS jsem bral za dojezdovou dobu pouze čas mezi výjezdem vozu a jeho příjezdem na místo. Nebylo tedy nutné definovat výjezdovou dobu. Intervaly jsem ponechal stejné.

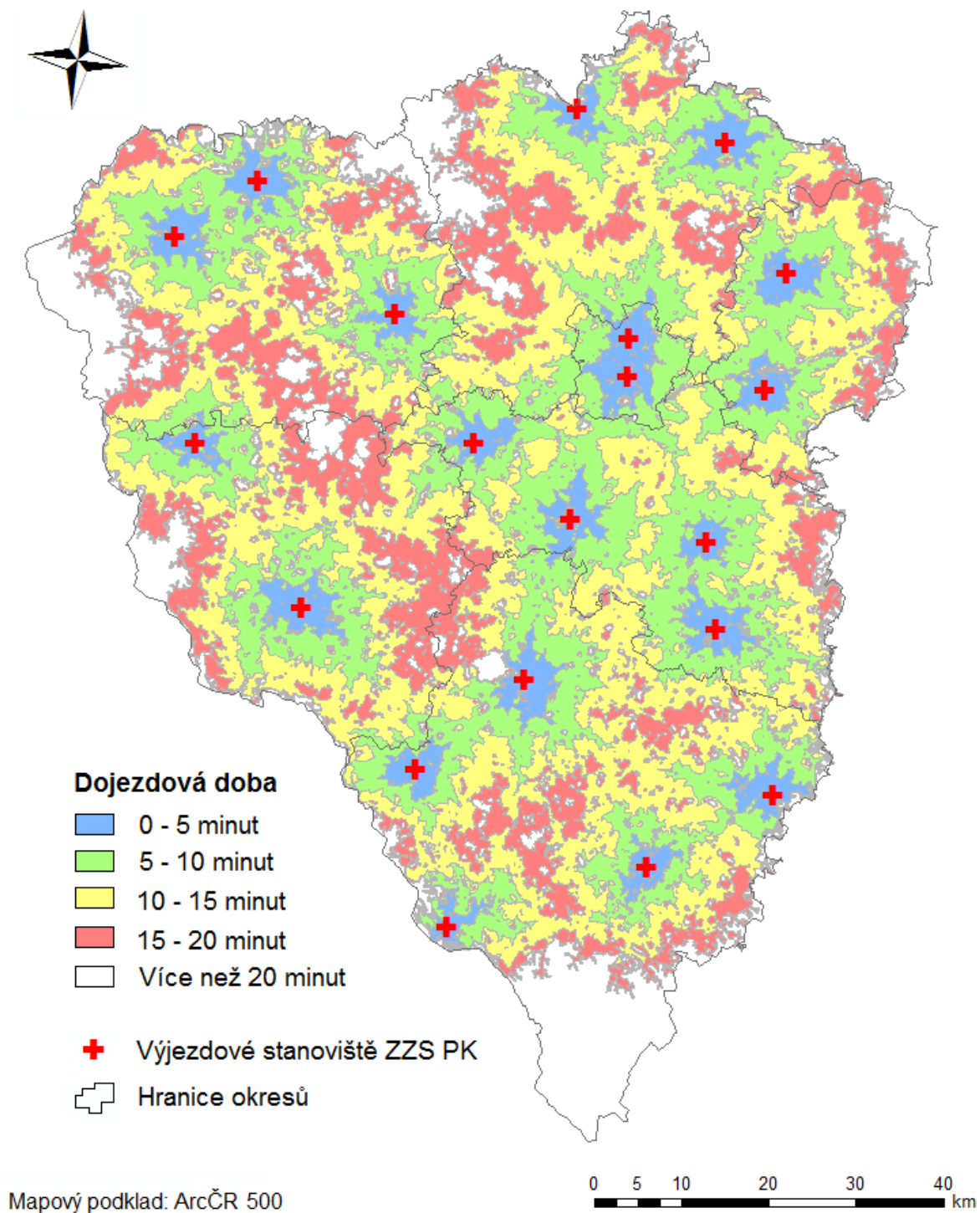
Výsledkem jsou oblasti vyjadřující intervaly dojezdové doby pro všech dvacet stanovišť ZZS a šestnáct stanovišť HZS v Plzeňském kraji pro denní a noční dobu zvlášť. Obrázky 9.1 až 9.4 zobrazují tyto oblasti před opravou modelu sítě provedenou na základě kontroly popsané v kapitole 9.2. Oblasti dojezdnosti jsou polygony, které mohou být ze sítě komunikací (linií) vygenerovány buď jako generalizované nebo detailní. Generalizované polygony spojují konce příslušných linií přímkou a oblast polygonu vyplňuje i prostor mezi komunikacemi, což může vyvolat mylný dojem, že vozy jednotky IZS jsou schopny zásahu v daném čase i v těchto místech. Detailní polygony jsou tvořeny tak, že kolem linie představující komunikaci je vytvořena obalová zóna (buffer). Velikost obalové zóny je možné nastavit. Oblasti na obrázcích jsou detailní polygony.



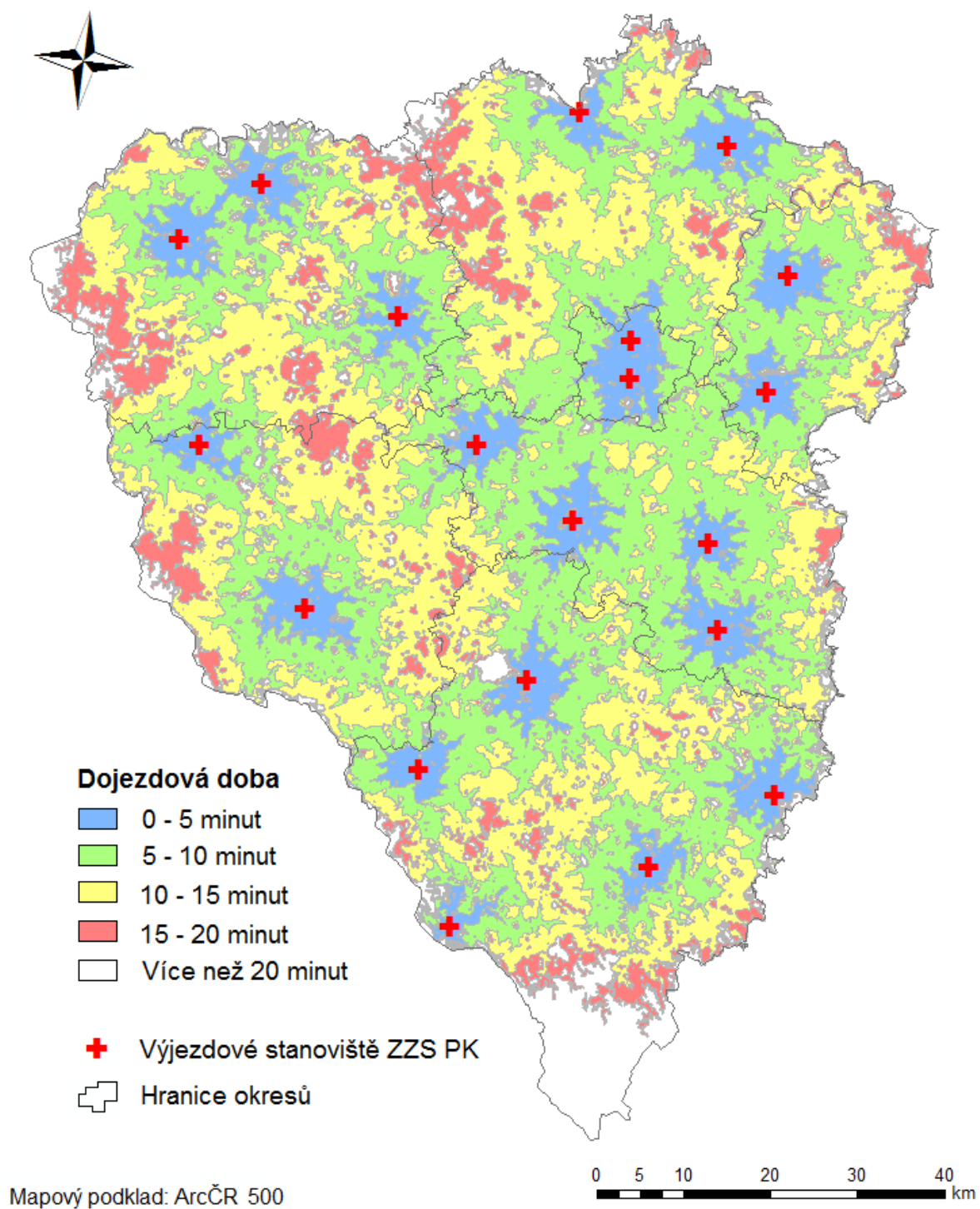
Obrázek 9.1 Dojezdnost jednotek HZS PK – den



Obrázek 9.2 Dojezdnost jednotek HZS PK – noc



Obrázek 9.3 Dojezdnost jednotek ZZS PK – den



Obrázek 9.4 Dojezdnost jednotek ZZS PK – noc

## 9.2 Kontrola a oprava dosažených výsledků analýzy pro HZS PK

Výsledné intervaly dojezdové doby jsem porovnal s reálnými dojezdovými časy, které mi byly poskytnuty Krajským ředitelstvím HZS PK.

Poskytnutá data mají pouze omezený rozsah. Obsahují vybrané informace o výjezdech jednotek požárních stanic v Rokycanech a Klatovech za období zhruba jednoho roku. Tyto dvě požární stanice jsem zvolil, aby bylo možné posoudit správnost nastavení sítě v co nejširším spektru různých prostředí (intravilán, extravilán, dálnice nebo hornaté části kraje). Údaje, které data obsahují, jsou datum zásahu, čas vystavení příkazu k výjezdu, čas výjezdu, čas dojezdu na místo, typ zasahující techniky a souřadnice místa zásahu.

Data bylo dále nutné zpracovat do podoby použitelné v ArcGIS a roztřídit je podle výjezdového místa a doby, kdy se zásah uskutečnil. Roztříděním vznikly vrstvy (shapefile) *Výjezdy Rokycany – noc*, *Výjezdy Rokycany – den*, *Výjezdy Klatovy – noc*, *Výjezdy Klatovy – den*, které jsem následně porovnával s vytvořenými intervaly dojezdovosti užitím topografického překrytí.

Kontrolou bylo zjištěno větší množství výjezdů zařazených mimo interval, což může být zapříčiněno buď tím, že je síť špatně namodelovaná nebo je chyba v kontrolních datech, viz dále. Bylo tedy nutné se nalezenými chybami zabývat podrobněji a určit způsob opravy modelu sítě.

Chybně zařazený je každý výjezd, který svoji polohou (místem zásahu) nespadá do intervalu, do kterého by měl podle hodnoty dojezdové doby (lze též interpretovat tak, že v místě zásahu je chybně určen průběh intervalu dojezdové doby). Výjezd může být chybně zařazený ze dvou důvodů. Jednotky HZS byly na místě dřív, než by podle výsledku analýzy měly, což by naznačovalo, že síť byla ohodnocena příliš pesimisticky. Nebo naopak, jednotky HZS byly na místě zásahu později. To ale může mít i jiné příčiny, než pouze špatné ohodnocení sítě. Může se například jednat o nejrůznější deformace sítě, které nejsem schopen v analýze postihnout jako uzavírky, objížďky a podobně. Vzhledem k uvedenému nebylo možné chyby hledat pomocí statistických metod. Při vyhledávání chyb jsem se tedy soustředil především na výjezdy, jejichž poloha byla vzhledem k hodnotě dojezdové doby silně vychýlena a pak také na místa, ve kterých chybně zařazených výjezdů vyskytovalo více. I to však bylo poměrně problematické, vzhledem k tomu, že vzorek poskytnutých dat nebyl příliš velký, přesto že obsahoval výjezdy za bezmála rok.

Jako první jsem se snažil vyloučit hrubé chyby. Hrubé chyby je možné hledat pouze mezi výjezdy, u kterých byly jednotky HZS v kratší době než by podle analýzy měly. A to proto, že nejsou známy všechny okolnosti zásahu a tak pozdní příjezd na místo události nemůžeme označit jako chybu, byť by hodnota dojezdové doby byla sebevětší. U výjezdů z obou stanic se hrubé chyby vyskytovaly, viz dále.

Kontrolou byly také zjištěny další chyby v polohopisu, které způsobily, že některé výjezdy byly špatně zařazené. Převážně se jednalo o nespojitosti komunikací. Nalezené chyby jsem odstranil úpravou průběhu komunikací a po přebudování datasetu jsem analýzu provedl znovu.

Dále uvádím výsledky analýzy společně s přehledem nalezených chyb pro konkrétní požární stanici a dobu.

### 9.2.1 Kontrola výsledků pro požární stanici Rokycany – den

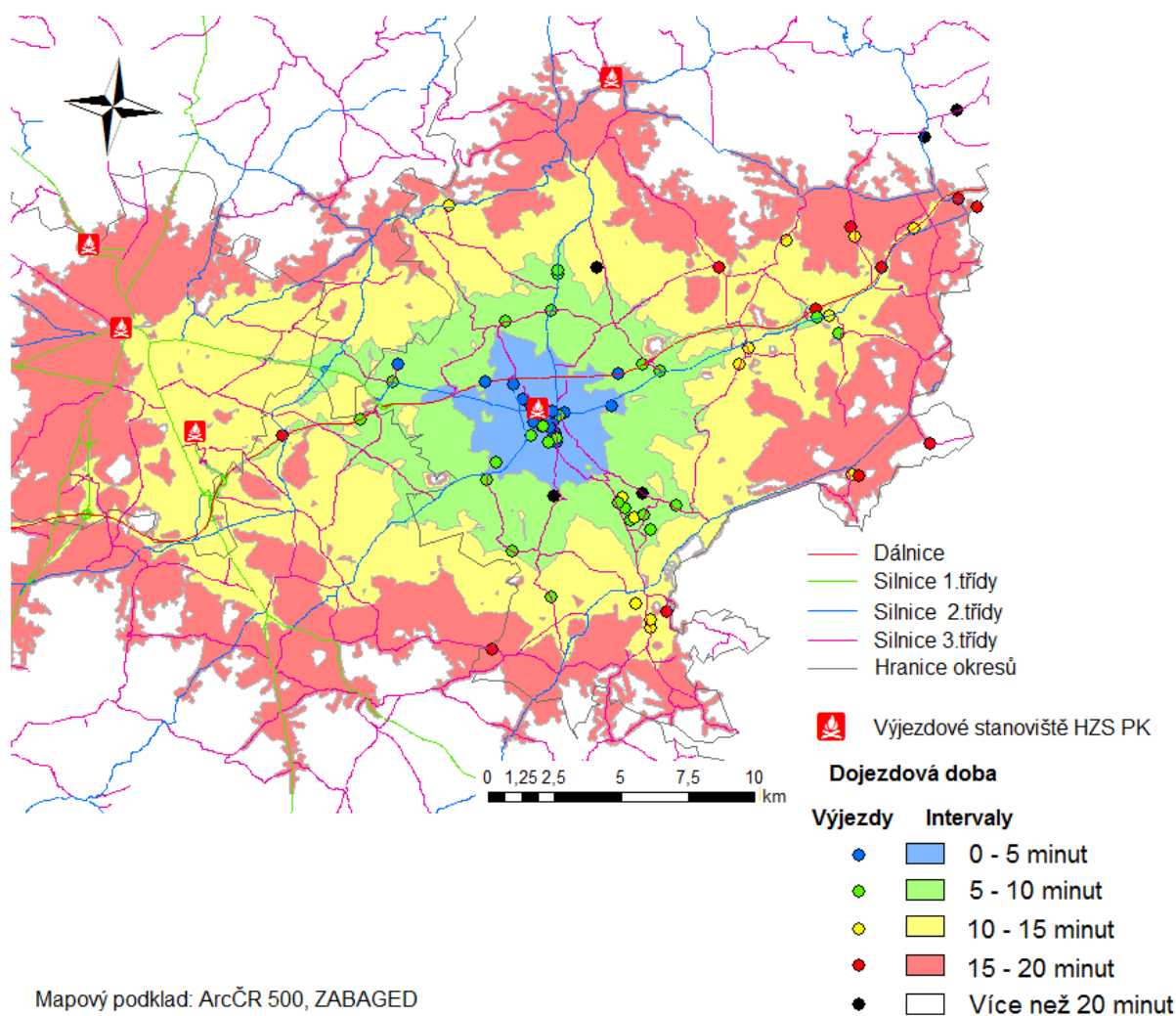
Kromě hrubých chyb se v souboru výjezdů vyskytovaly i záznamy, které byly chybně zařazeny z důvodu nespojitosti v síti komunikací. Charakter a počet nalezených chyb shrnuje tabulka 9.1. Kontrolou popsanou v předchozí kapitole jsem zjistil, že dosažené výsledky poměrně dobře odpovídají reálným dojezdovým dobám. Některé záznamy naznačovaly, že je síť ohodnocena lehce pesimisticky. Ani opakované pokusy o jemné doladění intervalů dojezdnosti změnou ohodnocení sítě však globálně nepřinesly lepší výsledky, než byly ty původní. Změnu ohodnocení jsem provedl tak, že jsem zvýšil hodnotu atributu *Rychlost běžného provozu* o 5 km/h u vrstev *Silnice 1., 2. a 3. třídy*. Podle nové hodnoty tohoto atributu jsem přepočítal hodnoty atributu *Opravený čas – den*, který tvoří ohodnocení, přebudoval síťový dataset a znovu vygeneroval intervaly dojezdnosti. V tabulkách 9.1 a 9.2 je uvedeno, jakým způsobem tato změna ovlivnila výsledek. Stejným způsobem jsem opravu provedl ještě několikrát, hodnotu atributu *Rychlost běžného provozu* jsem nyní ale postupně snižoval. Ani těmito změnami nebylo dosaženo lepších výsledků. Intervaly dojezdnosti jsou vidět na obrázku 9.5. Číselné výsledky kontroly a oprav jsou uvedeny v tabulce 9.2.

Vyskytující se chyby	
Hrubé chyby	4
Chyby vlivem chybného polohopisu	2
Vychýlené hodnoty (nelze vyloučit)	6

Tabulka 9.1: Nalezené chyby Rokycany – den

Dosažené výsledky pro výjezdové stanoviště Rokycany - denní doba					
Interval [min.]	Počet výjezdů spadajících do intervalu	Z toho správně	Z toho špatně	Z toho správně [%]	Z toho špatně[%]
0 - 5	28	19	9	67,86	32,14
5 - 10	24	17	7	70,83	29,17
10 - 15	15	8	7	53,33	46,67
15 - 20	7	4	3	57,14	42,86
20+	6	3	3	50,00	50,00
<b>Celkem</b>	<b>80</b>	<b>51</b>	<b>29</b>	<b>63,75</b>	<b>36,25</b>
<b>Celkem po vyloučení hrubých chyb</b>	<b>76</b>	<b>51</b>	<b>25</b>	<b>67,11</b>	<b>32,89</b>
<b>Níže uvedenými opravami bylo dosaženo výsledků:</b>					
<b>Opravou polohopisu</b>	<b>76</b>	<b>53</b>	<b>23</b>	<b>69,74</b>	<b>30,26</b>
<b>Opravou ohodnocení</b>	<b>76</b>	<b>49</b>	<b>27</b>	<b>64,47</b>	<b>35,53</b>

Tabulka 9.2: Výsledky kontroly Rokycany – den



Obrázek 9.5: Dojezdnost jednotek požární stanice Rokycany – den

## 9.2.2 Kontrola výsledků pro požární stanici Rokycany – noc

V souboru dat pro kontrolu se nevyskytovaly žádné hrubé chyby, pouze chyby způsobené chybným polohopisem. Charakter a počet nalezených chyb shrnuje tabulka 9.3. Pro noční dobu jsou dosažené výsledky méně přesné než pro denní dobu. Protože je ale vzorek dat pro kontrolu velmi malý, nebylo možné provést takovou opravu ohodnocení, která by výsledek průkazně zlepšila. I přes tuto neprůkaznost se výsledné intervaly dojezdnosti zdají být nadhodnocené. To by ukazovalo, že vliv hustoty dopravy na dojezdovou dobu není tak velký, jak jsem původně předpokládal. Opět jsem tedy provedl změnu ohodnocení u silnic 1., 2. a 3. třídy, tentokrát snížením hodnoty atributu *Rychlost* o 5 km/h. Tato změna ohodnocení žádné zlepšení nepřinesla. Ani výraznější změna ohodnocení na percentuelním vyjádření správnosti výsledku nic nezmění. Bylo by zapotřebí většího množství dat pro kontrolu. Výsledné intervaly dojezdnosti jsou vidět na obrázku 9.6. Číselné výsledky kontroly a oprav jsou uvedeny v tabulce 9.4.

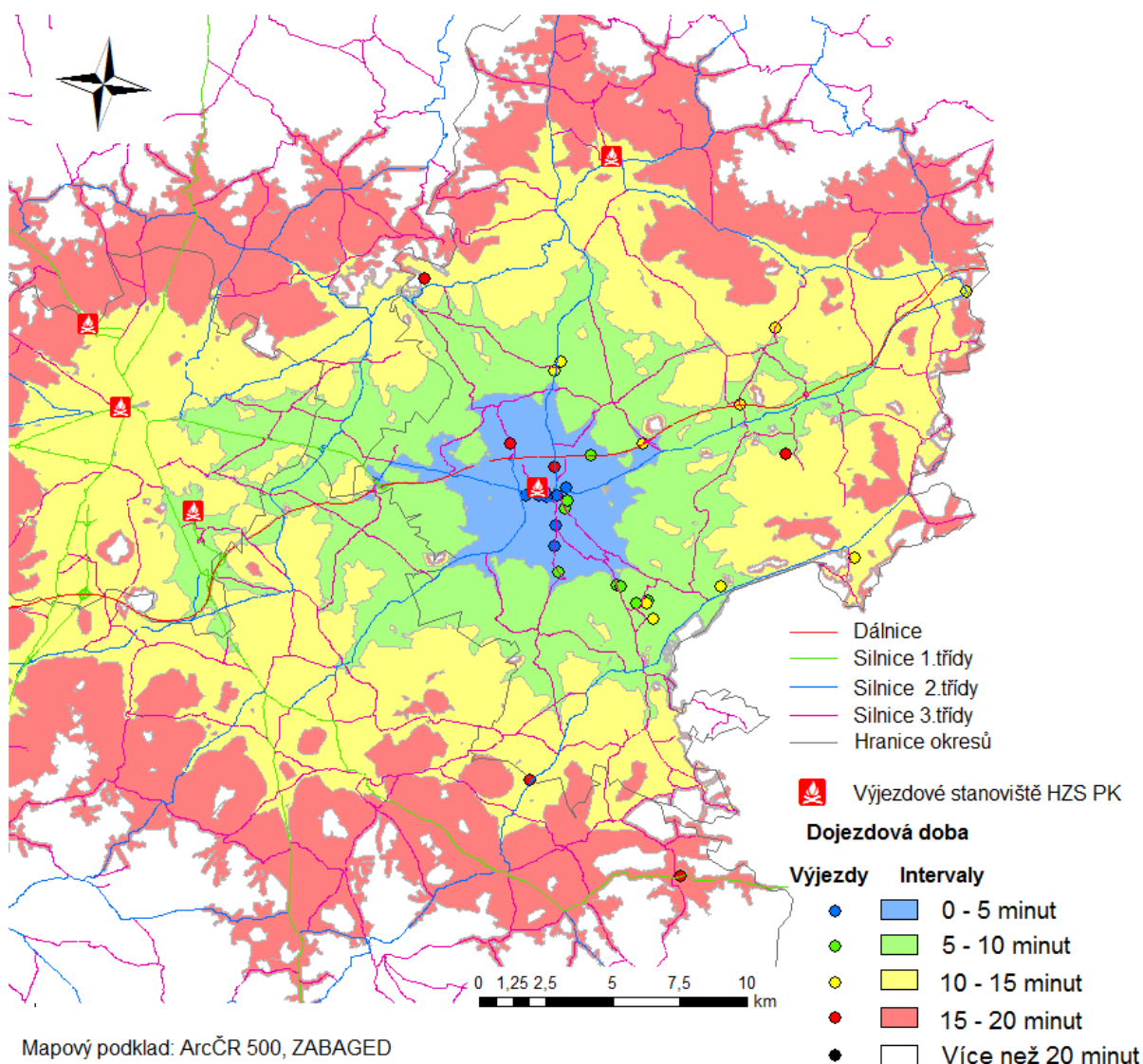


Vyskytující se chyby	
Hrubé chyby	0
Chyby vlivem chybného polohopisu	2
Vychýlené hodnoty (nelze vyloučit)	4

Tabulka 9.3: Nalezené chyby Rokycany – noc

Dosažené výsledky pro výjezdové stanoviště Rokycany - noční doba					
Interval [min.]	Počet výjezdů spadajících do intervalu	Z toho správně	Z toho špatně	Z toho správně [%]	Z toho špatně [%]
0 - 5	15	8	7	53,33	46,67
5 - 10	12	4	8	33,33	66,67
10 - 15	4	2	2	50,00	50,00
15 - 20	2	1	1	50,00	50,00
20+	0	0	0	0,00	0,00
<b>Celkem</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>45,45</b>	<b>54,55</b>
<b>Celkem po vyloučení hrubých chyb</b>	<b>Bez hrubých chyb</b>				
<b>Níže uvedenými opravami bylo dosaženo výsledků:</b>					
<b>Oprava ohodnocení</b>	<b>Beze změny</b>				
<b>Oprava polohopisu</b>	<b>33</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>51,52</b>	<b>48,48</b>

Tabulka 9.4: Výsledky kontroly Rokycany – noc



Obrázek 9.6: Dojezdnost jednotek požární stanice Rokycany – noc

### 9.2.3 Kontrola výsledků pro požární stanici Klatovy – den

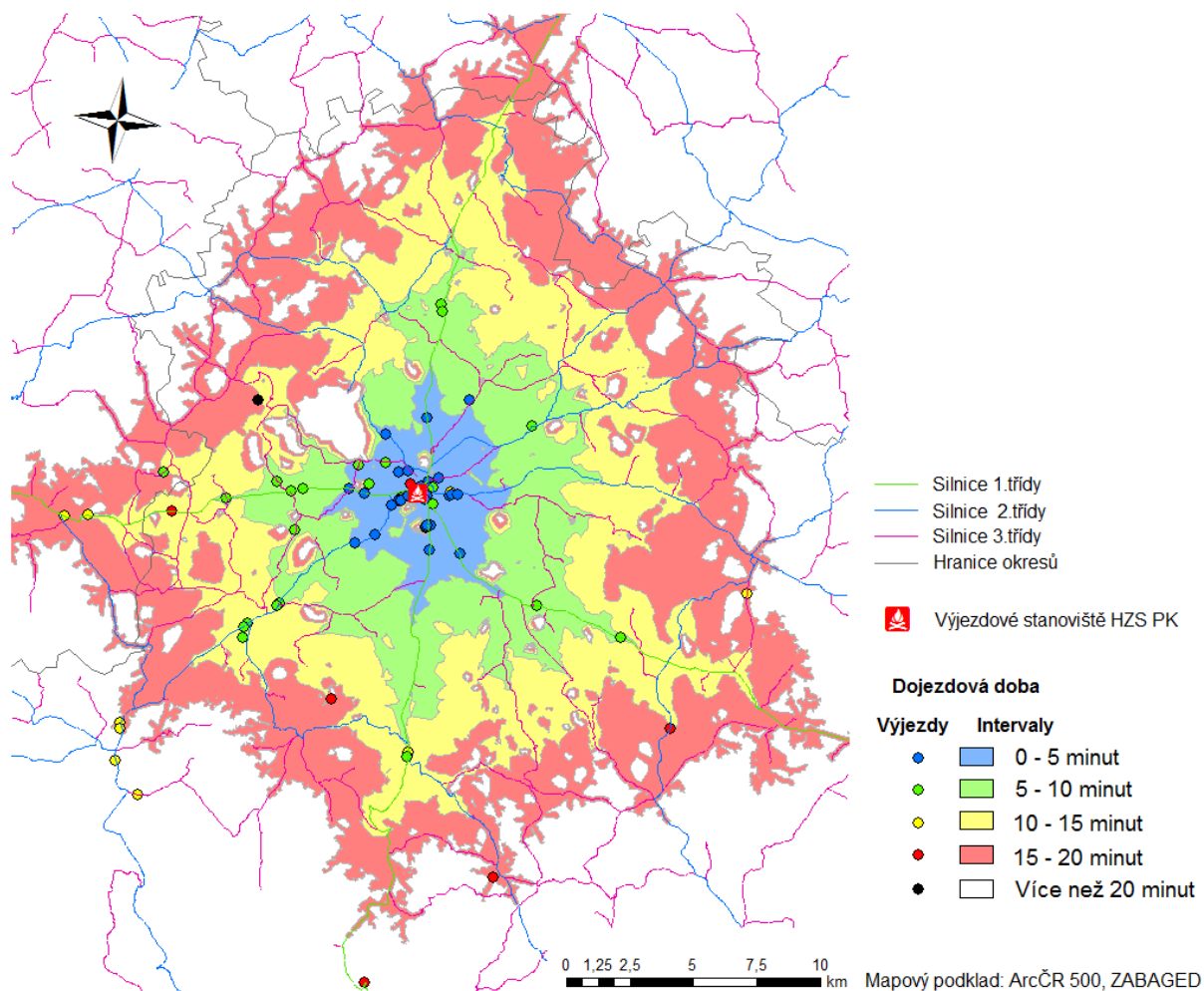
V tomto případě kontrola potvrdila, že intervaly dojezdnosti pro denní dobu jsou určeny dobře. I zde se v kontrolním souboru dat vyskytovaly hrubé chyby a chyby způsobené chybným polohopisem. Nalezené chyby jsou shrnuty v tabulce 9.5. Další zlepšení výsledků přineslo také přehodnocení sítě, které jsem provedl stejným způsobem jako v případě Rokycanska. Kontrolou jsem zjistil silnou lokální deformaci sítě podél silnice 2. třídy číslo 191 mezi obcemi Klatovy a Nýrsko. Reálné dojezdové doby do míst podél této komunikace jsou prokazatelně nižší, než doby stanovené analýzou. Příčiny vzniku deformace mohou být různé. Například nízká frekventovanost komunikace nebo výhodná poloha požární stanice vzhledem ke komunikaci a jejímu směru. Výsledné intervaly dojezdnosti jsou na obrázku 9.7. Číselné výsledky kontroly a oprav jsou uvedeny v tabulce 9.6.

Vyskytující se chyby	
Hrubé chyby	3
Chyby vlivem chybného polohopisu	1
Vychýlené hodnoty (nelze vyloučit)	5

Tabulka 9.5: Nalezené chyby Klatovy – den

Dosažené výsledky pro výjezdové stanoviště Klatovy - denní doba					
Interval [min.]	Počet výjezdů spadajících do intervalu	Z toho správně	Z toho špatně	Z toho správně [%]	Z toho špatně [%]
0 - 5	35	27	8	77,14	22,86
5 - 10	16	13	3	81,25	18,75
10 - 15	8	1	7	12,50	87,50
15 - 20	6	1	5	16,67	83,33
20+	8	3	5	37,50	62,50
<b>Celkem</b>	<b>73</b>	<b>45</b>	<b>28</b>	<b>61,64</b>	<b>38,36</b>
<b>Celkem po vyloučení hrubých chyb</b>	<b>70</b>	<b>45</b>	<b>25</b>	<b>64,29</b>	<b>35,71</b>
<b>Níže uvedenými opravami bylo dosaženo výsledků:</b>					
<b>Oprava ohodnocení</b>	<b>70</b>	<b>47</b>	<b>23</b>	<b>67,14</b>	<b>32,86</b>
<b>Oprava polohopisu</b>	<b>70</b>	<b>46</b>	<b>24</b>	<b>65,71</b>	<b>34,29</b>

Tabulka 9.6: Výsledky kontroly Klatovy – den



Obrázek 9.7: Dojezdnost jednotek požární stanice Klatovy – den

### 9.2.4 Kontrola výsledků pro požární stanici Klatovy – noc

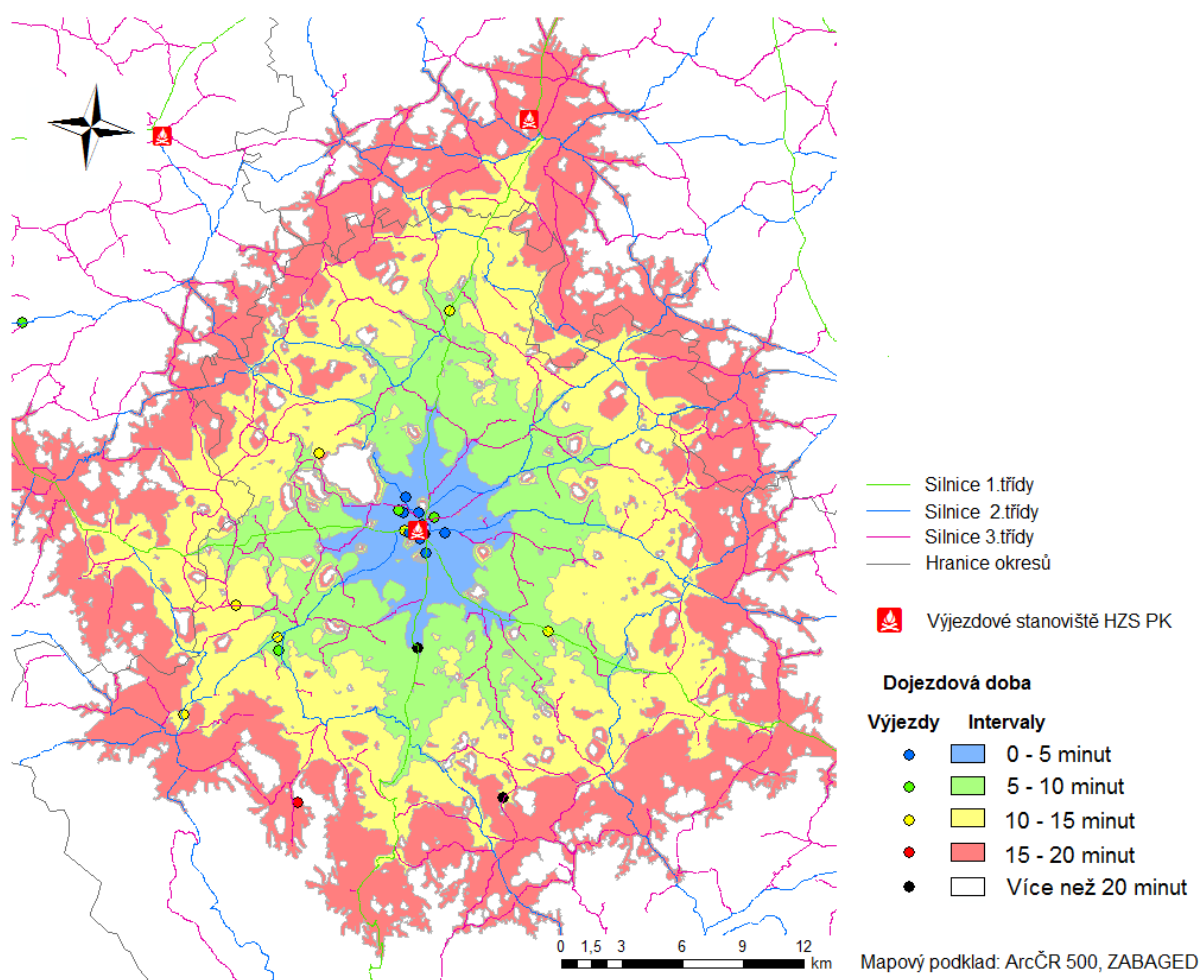
Stejně jako v případě Rokycan, byl i zde problémem nízký počet výjezdů v nočních hodinách. Vyloučením hrubých chyb se jejich počet ještě snížil jak je vidět z tabulky 9.8. Polohy výjezdů jsou navíc po oblasti rozmístěny takovým způsobem, že nebylo možné vysledovat jakékoliv špatné nastavení sítě globálního charakteru. Není zde patrná ani deformace na silnici číslo 191. V tomto případě jsem změnu ohodnocení sítě neprováděl. Výsledné intervaly dojezdnosti jsou vidět na obrázku 9.8.

Vyskytující se chyby	
Hrubé chyby	4
Chyby vlivem chybného polohopisu	0
Vychýlené hodnoty (nelze vyloučit)	4

Tabulka 9.7: Nalezené chyby Klatovy – noc

Dosažené výsledky pro výjezdové stanoviště Klatovy - noční doba					
Interval [min.]	Počet výjezdů spadajících do intervalu	Z toho správně	Z toho špatně	Z toho správně [%]	Z toho špatně[%]
0 - 5	14	9	5	64,29	35,71
5 - 10	4	1	3	25,00	75,00
10 - 15	4	3	1	75,00	25,00
15 - 20	1	1	0	100,00	0,00
20+	4	1	3	25,00	75,00
<b>Celkem</b>	<b>27</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>55,56</b>	<b>44,44</b>
<b>Celkem po vyloučení hrubých chyb</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>60,87</b>	<b>39,13</b>
Níže uvedenými opravami bylo dosaženo výsledků:					
<b>Oprava ohodnocení</b>	<b>Neprovedena</b>				
<b>Oprava polohopisu</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>60,87</b>	<b>39,13</b>

Tabulka 9.8: Výsledky kontroly Klatovy – noc



Obrázek 9.8: Dojezdnost jednotek požární stanice Klatovy – noc

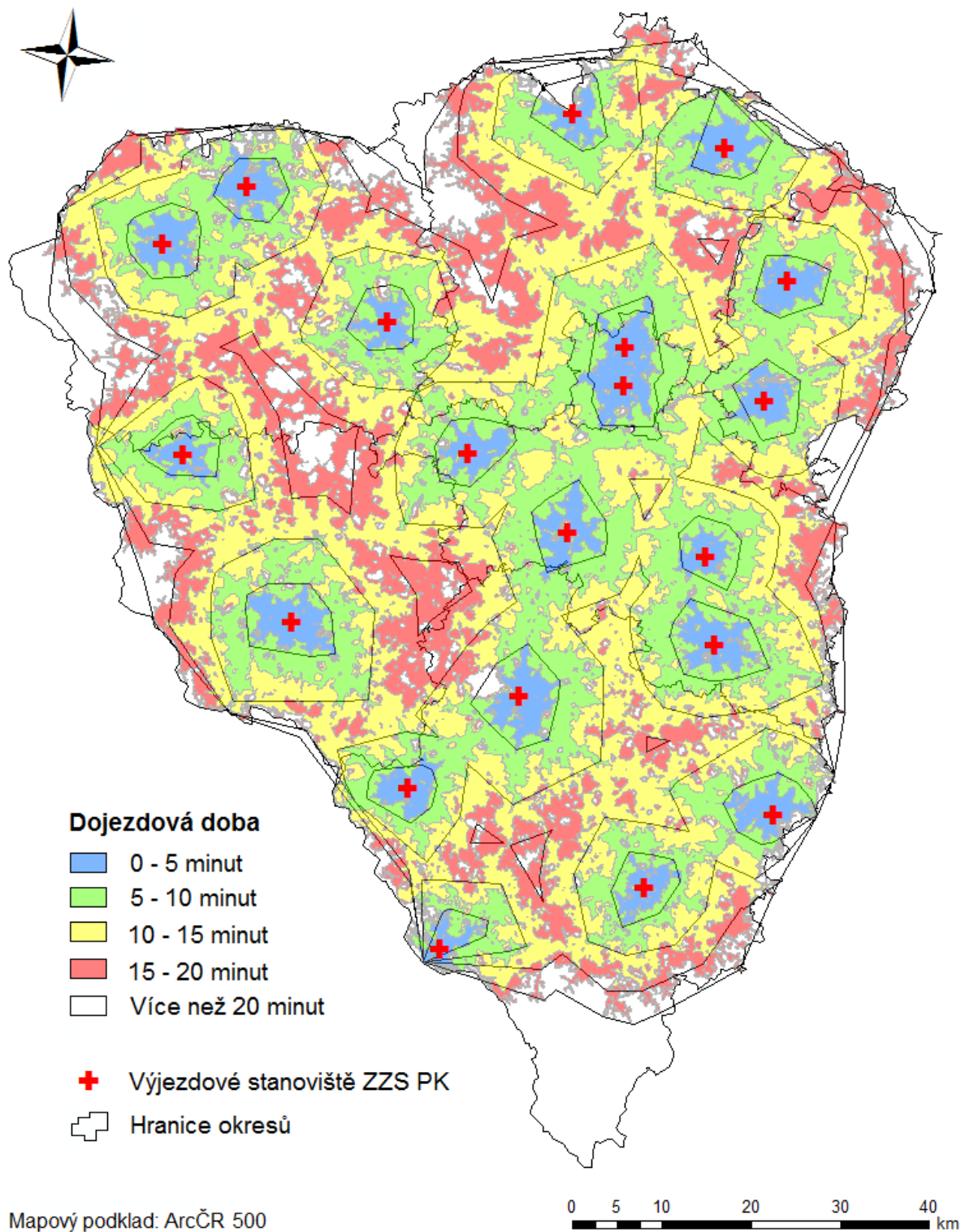
### **9.2.5 Shrnutí výsledků analýzy pro HZS PK**

Porovnáním s reálnými dojezdovými dobami evidovanými HZS PK se ukázalo, že výsledky provedené analýzy pro HZS se dají považovat za správné a že tudíž i ohodnocení sítě komunikací je poměrně dobře nastaveno. Lepších výsledků bylo dosaženo pro denní dobu. Lokální deformace jako ta odhalená na Klatovsku se mohou vyskytovat i na jiných místech kraje. Pro noční dobu je správnost výsledků hůře průkazná z důvodu malého množství dat pro kontrolu. Z tabulek uvedených výše je také patrné, že nejvíce zásahů se odehrává v centrech měst, tedy v intervalu dojezdové doby do pěti minut, který je určen nejpřesněji. U zásahů, u nichž je dojezdová doba větší než pět minut, ale polohou spadají do tohoto intervalu, musely hrát roli i okolnosti, které není možné nijak modelovat. Výsledky kontroly pak mohou být ovlivněny i tímto způsobem. Je také patrné, že pokud je změnou ohodnocení sítě dosaženo lepších výsledků, jedná se o zlepšení pouze lokální. Neprokázalo se, že by ohodnocení sítě pro celý Plzeňský kraj bylo nastaveno špatně. Lze tedy konstatovat, že nad daty ZABAGED je možné dojezdovou dobu určit přesně, nejsem však schopen přesnost výsledků vyjádřit jinak, než procentuelně, viz předchozí kapitola.

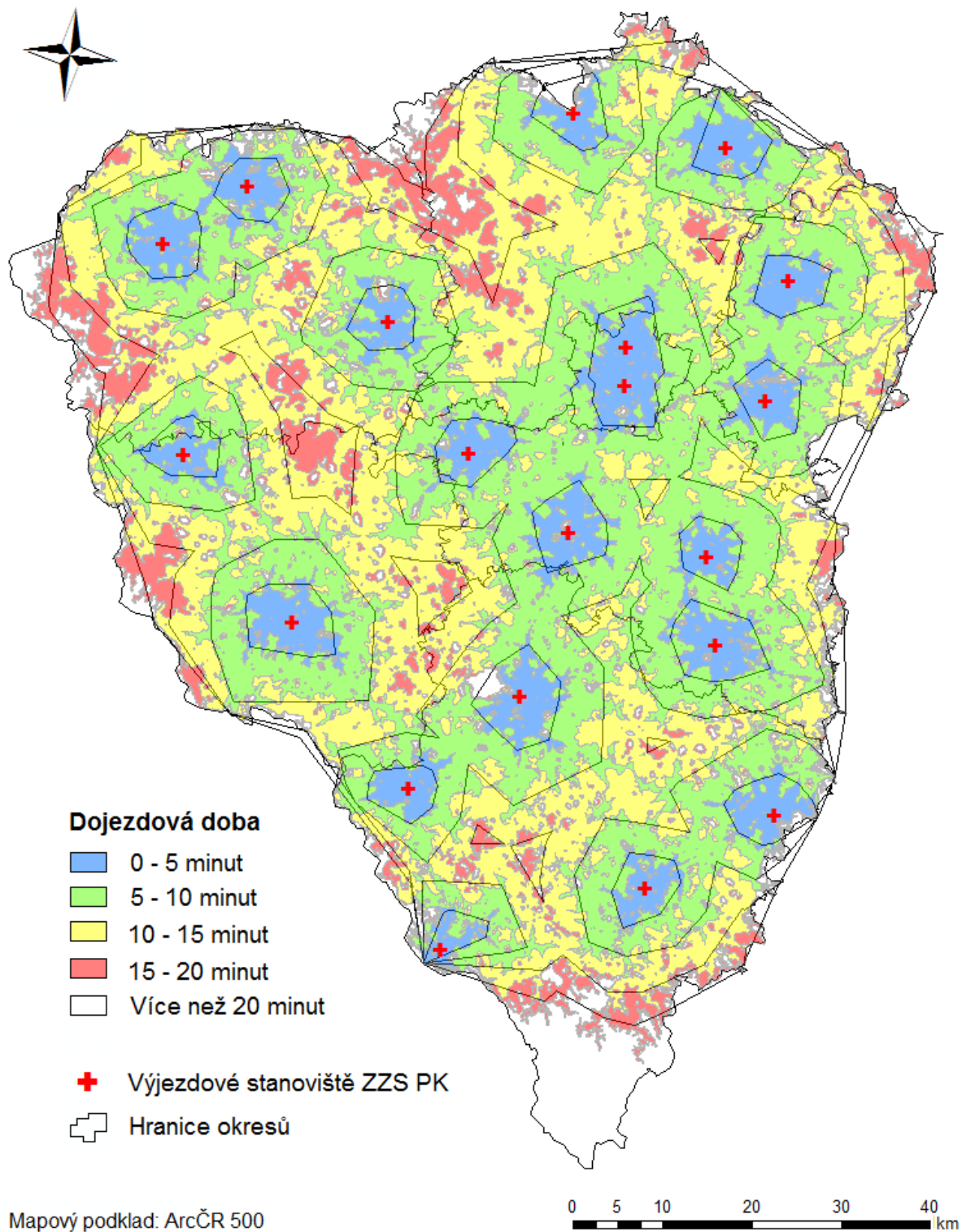
### **9.3 Kontrola a oprava dosažených výsledků analýzy pro ZZS PK**

Ředitelství ZZS PK mi data pro kontrolu nebylo schopno poskytnout z důvodu zavádění nového informačního systému. Rozhodl jsem se tedy výsledky aspoň porovnat s daty použitých ve [28]. Jedná se o datové vrstvy obsahující pětiminutové intervaly dojezdové doby ZZS v Plzeňském kraji ve formě generalizovaných polygonů. Zdrojem dat byl Krajský úřad Plzeň.

Na obrázcích 9.9 a 9.10 jsou vidět rozdíly, plynoucí jednak z odlišné metody generování polygonů a také z odlišného nastavení parametrů sítě. Není ovšem možné tvrdit, že mnou určené intervaly lépe vyjadřují realitu. Správnost výsledků analýzy by prokázala pouze kontrola podle reálných dojezdových dob.



Obrázek 9.9: Porovnání výsledků analýzy dojezdnosti vozů ZZS PK pro denní dobu s daty krajského úřadu



Obrázek 9.10: Porovnání výsledků analýzy dojezdnosti vozů ZZS PK pro noční dobu s daty krajského úřadu



## 10. Závěr

Cíle stanovené v úvodu práce se mi podařilo splnit. Teoretická část práce je uvedena definicemi základních pojmů, přehledem geografických datových reprezentací a porovnáním jejich výhod při použití v GIS. Dále jsou popsány geografické vektorové datové modely, které jsem rozdělil z několika hledisek. Hlavním bodem pak je přehled nejpoužívanějších vektorových datových formátů pro geografická data. O některých z těchto formátů se mi nepodařilo dohledat všechny informace. Vytvořený přehled je tedy ne vždy zcela homogenní, co se uvedených informací týče.

V praktické části práce jsem nejprve vytvořil model sítě komunikací pro Plzeňský kraj. K tomu jsem použil vybrané objekty ZABAGED, které jsem si pro účel tvorby modelu roztrídil do vrstev. Pro vytvořený model jsem nastavil pravidla pro pohyb po komunikacích a vytvořil ohodnocení. Ohodnocení vyjadřuje časovou náročnost překonání jednotlivých úseků komunikací. Čas potřebný k překonání nějakého úseku je ovlivňován nejrozličnějšími faktory, respektive je těmito faktory ovlivňována rychlost jízdy. V práci jsou vyjmenovány všechny důležité faktory, které mají na rychlost jízdy vliv. Ty, jejichž vliv bylo možné konkrétně vyjádřit, byly při tvorbě ohodnocení zohledněny. Jedná se o druh dopravního prostředku, druh a stav komunikace, zakřivení komunikace a dopravní situace (různá hustota dopravy přes den a v noci). Vytvořený model sítě komunikací je ovlivněný chybami, které se vyskytovaly ve vstupních datech, tedy v ZABAGED. Ta obsahuje množství chyb v attributech a polohopisu způsobené neaktuálností dat a chybnou editací. Tyto chyby například způsobují, že v některých místech se vyskytují hluchá místa (místa jen zdánlivě vozem nedostupná), do kterých nemůže být určena dojezdová doba. Opravil jsem pouze nejzávažnější z nalezených chyb.

Nad vytvořeným modelem sítě jsem provedl analýzu dojezdnosti jednotek Integrovaného záchranného systému, konkrétně vozidel Hasičského záchranného sboru a Zdravotnické záchranné služby. Dojezdnost jsem určil pro denní a noční dobu zvlášť. Výsledkem analýzy jsou oblasti (polygony) určující místa, do kterých by se vozidla příslušných jednotek měla být schopna dostat v nastaveném čase (časovém intervalu). Časové intervaly jsem zvolil 5, 10, 15 a 20 minut. Oblasti jsem určil pro dvacet výjezdových stanovišť ZZS PK a šestnáct výjezdových stanovišť profesionálních jednotek HZS PK.

Výsledné oblasti jsem, v případě analýzy pro HZS PK, porovnal s reálnými dojezdovými časy. Kontrola prokázala, že výsledky analýzy lze považovat za správné. Chyby zjištěné při kontrole měly charakter omylu nebo byly způsobeny chybami v modelu sítě komunikací, případně byly způsobeny okolnostmi, které nejsem schopen v analýze postihnout. Zjistil jsem také, že v síti komunikací se mohou vyskytovat lokální deformace, které silně ovlivňují dojezdovou dobu. V případě analýzy pro ZZS PK se mi nepodařilo získat obdobná data pro kontrolu. Výsledek bylo možné pouze porovnat s výstupem obdobné analýzy, která byla provedena krajským úřadem Plzeň. Výsledky analýzy byly převzaty z [28]. O správnosti výsledků analýzy pro ZZS PK nelze na základě pouhého porovnání rozhodnout.

Lepších výsledků by bylo možné dosáhnout především použitím kvalitnějších a aktuálních vstupních dat. Aktuálnost dat je poměrně problematická, vzhledem k rychlosti výstavby

nových komunikací a periodě aktualizace ZABAGED. Dále by k dosažení preciznějších výsledků mohlo přispět větší množství dat pro kontrolu, u kterých by zároveň byly známy další detaily o charakteru zásahů a okolnostech výjezdů. Význam by mělo nepochybně také praktické určení časové náročnosti průjezdu vytipovaných hlavních tahů a komunikací. Zajímavý by mohl být opačný postup, tedy určování oblastí dojezdnosti podle reálných dojezdových dob a následné modelování sítě.

## Seznam použité literatury a zdrojů

[1]ARCTUR, D. - ZEILER, M. *Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling*.

Redlands(California): ESRI, c1999-2004. ISBN 1-58948-021-X.

[2]ORMSBY, T. - ALVI, J. *Extending ArcView GIS*.

Redlands(California): ESRI, c1999. ISBN 1-879102-05-6.

[3]TUČEK, J. *Geografické informační systémy: principy a praxe*.

1. vydání. Praha: Computer Press, c1998. ISBN 80-7226-091-X.

[4]Glossary Digimap Ltd, Guernsey [online].

Digimap Ltd, 2007. [cit. 26.10.2008] Dostupné z: [www.digimap.gg/glossary](http://www.digimap.gg/glossary).

[5]NCGIA Core Curriculum in GISci [online].

[cit. 30.10.2008] Dostupné z: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/>.

[6]Data model - Wikipedia, the free encyclopedia [online].

Poslední změna 27.12.2008. [cit. 4.1.2009]

Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Data_model).

[7]Glossary of Terms for Migration Issues [online].

SAS Institute Inc., c2008. [cit. 26.10.2008]

Dostupné z: <http://support.sas.com/rnd/migration/resources/glossary.html>.

[8]BUCKEY, D. J. VECTOR AND RASTER – ADVANTAGES AND DISADVANTAGES [online]. [cit. 24.10.2008]

Dostupné z: [http://bgis.sanbi.org/gis-primer/page\\_19.htm](http://bgis.sanbi.org/gis-primer/page_19.htm).

[9]KRÁLOVEC, V. *Geografické databáze společnosti ESRI*.

Západočeská univerzita v Plzni, 2007.

[10]DXF Reference [online].

Autodesk inc., c2008. [cit. 5.11.2008]

Dostupné z: [http://images.autodesk.com/adsk/files/acad\\_dxf.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/acad_dxf.pdf).

[11]Formát DGN [online].

GISoft, c1995-2008. [cit. 5.11.2008]

Dostupné z: <http://www.gissoft.cz/Bentley/DGN>.

[12]dgnlib.h File Reference [online].

[cit. 5.11.2008] Dostupné z: [http://dgnlib.maptools.org/libhtml/dgnlib\\_8h.html](http://dgnlib.maptools.org/libhtml/dgnlib_8h.html).

[13]Microstation DGN [online].

[cit. 6.11.2008] Dostupné z: [http://www.gdal.org/ogr/drv\\_dgn.html](http://www.gdal.org/ogr/drv_dgn.html).

[14]RENDER.CZ [online].

[cit. 8.11.2008] Dostupné z: <http://www.render.cz/cad/index.phtml?id=70>.

- [15]Club Autodesk [online].  
Autodesk club, c2008. [cit. 8.11.2008] Dostupné z:  
<http://www.autodeskclub.cz/Club/Article.aspx?article=e7fbf422-7215-4cd0-9921-752fd5671fdd>.
- [16]Sbírka příkladů AutoCAD Map 3D 2008 [online].  
XANADU a.s., c2009. [cit. 11.12.2008] Dostupné z:  
[http://www.cadforum.cz/cadforum/Vyuka-Map/files/k\\_1\\_1.htm](http://www.cadforum.cz/cadforum/Vyuka-Map/files/k_1_1.htm).
- [17]Bentley Map a Oracle Spatial [online].  
Bentley Systems ČR s.r.o., c2009. [cit. 11.12.2008] Dostupné z:  
<http://www.bentley.com/cs-CZ/Products/Bentley+Map/Oracle-Spatial.html>.
- [18]MYSIS systémová příručka [online].  
GEPRO s.r.o., c2004. [cit. 11.12.2008] Dostupné z:  
[http://www.geos-veseli.cz/reference/prirucka\\_referencni\\_7.pdf](http://www.geos-veseli.cz/reference/prirucka_referencni_7.pdf).
- [19]LONGLEY, P. A. - GOODCHILD, M. F. - MAGUIRE, D. J. - RHIND, D. W.  
*Geographic Information Systems and Science*.  
Chichester (England): Wiley and Sons, Ltd., c2001. ISBN 0-471-89275-0.
- [20]CAJTHAML, J. *Jak publikovat mapy na internetu?* [online].  
[cit. 8.11.2008] Dostupné z: [http://projekty.geolab.cz/gacr/a/files/cajt\\_brno06.pdf](http://projekty.geolab.cz/gacr/a/files/cajt_brno06.pdf).
- [21]File format OCAD 9 [online].  
OCAD AG, c2006. [cit. 23.11.2008 ] Dostupné z:  
<http://www.ocad.com/docs/OCAD9Format.txt>.
- [22]Appendix J: MapInfo Data Interchange Format [online].  
Directions Media, c2009. [cit 3.1.2009] Dostupné z:  
[http://www.directionsmag.com/mapinfo-1/mif/Mif\\_j.htm](http://www.directionsmag.com/mapinfo-1/mif/Mif_j.htm).
- [23]Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification [online].  
W3C, c1994-2008. [cit. 12.11.2008] Dostupné z:  
<http://www.w3.org/TR/SVG11/index.html#minitoc>.
- [24]GML Application Schemas [online].  
Poslední změna 30.10.2008. [cit. 12.12.2008] Dostupné z:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/GML\\_Application\\_Schemas](http://en.wikipedia.org/wiki/GML_Application_Schemas).
- [25]Český úřad zeměměřický a katastrální – Základní báze geografických dat ZABAGED [on-line].  
ČÚZK. [cit. 4.12.2008] Dostupné z:  
[http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU\\_ZABAGED](http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED).
- [26]Kartografie a Geoinformatika – multimediální učebnice [on-line].  
[cit. 4.12.2008] Dostupné z:  
<http://www.geogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/obsah.php?show=77>.
- [27]The Interop Glossary [online].  
[cit 4.12.2008] Dostupné z: <http://www.universal-interop-council.org/glossary>.

- [28]ŘEHÁK, T. *Analytické možnosti GIS nad rastrovými daty*. Diplomová práce, [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2007. [cit. 2.1.2007] Dostupné z: [http://www.gis.zcu.cz/studium/dp/2008/Rehak\\_Analyticke\\_moznosti\\_GIS\\_nad\\_rastrovymi\\_daty\\_dp.pdf](http://www.gis.zcu.cz/studium/dp/2008/Rehak_Analyticke_moznosti_GIS_nad_rastrovymi_daty_dp.pdf).
- [29]Úvod do GIS [online].  
[cit. 28.10.2008] Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm>.
- [30]Unit 39 – The TIN model [online].  
The University of British Columbia, 2008. [cit. 12.11.2008] Dostupné z: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u39.html>.
- [31]ArcGIS Desktop Help 9.2 [online].  
ESRI. [cit. 29.10.2008] Dostupné z: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>.
- [32]GIS Dictionary – ESRI Support [online].  
ESRI. [cit. 14.11.2008] Dostupné z: <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.gisDictionary.gateway>.
- [33]LAKE, R. *GML Introduction* [online].  
[cit. 6.1.2009] Dostupné z: <http://www.w3.org/Mobile/posdep/GMLIntroduction.html>.
- [34]Český úřad zeměměřický a katastrální - Výměnný formát ISKN v textovém tvaru [online]. ČÚZK. [cit. 15.2.2009] Dostupné z: [http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=10&MENUID=10015&AKCE=DOC:10-VF\\_ISKNTEXT](http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=10&MENUID=10015&AKCE=DOC:10-VF_ISKNTEXT).
- [35]Český úřad zeměměřický a katastrální - Struktura a výměnný formát digitální katastrální mapy a souboru popisných informací katastru nemovitostí České republiky a dat BPEJ verze 1.3 [online].  
ČÚZK. [cit. 15.2.2009] Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=10&MENUID=10015&AKCE=DOC:10-STARYVF1>.
- [36]ROOT.CZ - Načítání a zobrazení souborů ve formátu DXF [online].  
[cit. 18.2.2009] Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/nacitani-a-zobrazeni-souboru-ve-formatu-dxf/>.
- [37][online].  
[cit. 6.1.2009] Dostupné z: <http://www.cdesign.cz/text/Ar.asp?ARI=400>.
- [38]VINAŘOVÁ, M. *GIS - prvopočátky, současnost a vize do budoucna* [online].  
[cit. 8.1.2009] Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xvinarov.htm>.
- [39]Zdravotnická záchranná služba Plzeňského kraje [online].  
ZZS PK, c2008. [cit. 22.2.2009] Dostupné z: <http://www.zzspk.cz/zzspk-uvod>.
- [40]Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje - IZS a jednotky požární ochrany [online].  
[cit. 22.2.2009] Dostupné z: <http://www.firebrno.cz/zs-a-jednotky-pozarni-ochrany>.

[41]SLADKÝ, J. *Nalezení optimálního spoje MHD využitím grafových algoritmů*. Bakalářská práce, [online].

Západočeská univerzita v Plzni, 2007. [cit. 23.1.2008] Dostupné z:

[http://www.gis.zcu.cz/studium/dp/2007/Sladky\\_Nalezeni\\_optimalniho\\_spoje\\_MHD\\_vyuziti\\_m\\_grafovych\\_algoritmu\\_BP.pdf](http://www.gis.zcu.cz/studium/dp/2007/Sladky_Nalezeni_optimalniho_spoje_MHD_vyuziti_m_grafovych_algoritmu_BP.pdf).

[42]Simple Feature Access - Part 1: Common Architecture [online].

OGC, c1994 – 2009. [cit. 25.2.2009] Dostupné z:

<http://www.opengeospatial.org/standards/sfa>.

[43]Geografický projekt v systéme MGE [online].

[cit. 2.3.2009] Dostupné z: <http://joe.fns.uniba.sk/prace/pista/MGE.htm>.

[44]Český úřad zeměměřický a katastrální - Seznam objektů a atributů ZABAGED a prozatímní výměnný formát ZABAGED [online].

ČÚZK. [cit. 4.12.2008] Dostupné z:

[http://www.cuzk.cz/dokument.aspx?prareskod=998&menuid=0&akce=doc:30-zu\\_zab\\_str](http://www.cuzk.cz/dokument.aspx?prareskod=998&menuid=0&akce=doc:30-zu_zab_str).

[45]DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*.

Praha: Academia, c2002. ISBN 80-200-0990-6.

[46]SLADKÝ, J. *Optimalizace dat pro analýzu nad sítí v prostředí ESRI geodatabáze* [online].

Západočeská univerzita v Plzni, 2007. [cit. 12.1.2009] Dostupné z:

[http://www.gis.zcu.cz/studium/pdb/referaty/2007/Sladky\\_SitovaDataVGDB/index.html#d0e188](http://www.gis.zcu.cz/studium/pdb/referaty/2007/Sladky_SitovaDataVGDB/index.html#d0e188).

[47]PRŮCHOVÁ, J. *Součinnost IZS při mimořádných událostech*. Závěrečná práce.

Národní centrum ošetřovatelských a nelékařských zdravotnických oborů Brno, 2007.

[48]Hasičský záchranný sbor Plzeňského kraje [on-line].

HZS PK, c2008. [cit. 10.5.2009] Dostupné z: <http://www.hzspk.cz/>.

[49]OpenJUMP [online].

[cit. 24.5.2009] Dostupné z: <http://www.openjump.org/wiki/show/HomePage>.

[50]O jayzce KML – Uživatelská příručka aplikace Google Earth [online].

Google, c2009. [cit. 24.5.2009] Dostupné z:

[http://earth.google.com/intl/cs/userguide/v4/ug\\_kml.html](http://earth.google.com/intl/cs/userguide/v4/ug_kml.html).

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Přechod od reálného objektu k datovému formátu

Obrázek 2.2: Rastrová datová reprezentace

Obrázek 2.3: Polygon s dírou

Obrázek 2.4: Hierarchie prvků vektorové datové reprezentace

Obrázek 2.5: Dělení vektorových datových modelů

Obrázek 3.1: Typy geodatabází

Obrázek 5.1: Orientovaný a neorientovaný graf

Obrázek 6.1: Spádová území operačních středisek a výjezdová stanoviště ZZS PK

Obrázek 6.2: Rozmístění jednotek HZS PK

Obrázek 8.1: Rozdělení vrstvy Komunikace

Obrázek 8.2: Dálniční obchvat v blízkosti NC Olympia - původní stav

Obrázek 8.3: Dálniční obchvat v blízkosti NC Olympia – náprava

Obrázek 8.4: Koterovská třída – chybně zakreslený průběh křížení

Obrázek 8.5: Koterovská třída – náprava

Obrázek 8.6: Čerpací stanice v Plzni Liticích – chybné zakreslení průběhu podjezdu

Obrázek 8.7: Čerpací stanice v Plzni Liticích – náprava

Obrázek 8.8: Okolí tunelu pod vrchem Valík – neaktuální průběh komunikace

Obrázek 8.9: Okolí tunelu pod vrchem Valík – náprava

Obrázek 8.10: Hraniční přechod Rozvadov – absence komunikací

Obrázek 8.11: Hraniční přechod Rozvadov – náprava

Obrázek 8.12: Modelování mimoúrovňového křížení komunikací pomocí nastavení endpoint connectivity

Obrázek 9.1: Dojezdnost jednotek HZS PK – den

Obrázek 9.2: Dojezdnost jednotek HZS PK – noc

Obrázek 9.3: Dojezdnost jednotek ZZS PK – den

Obrázek 9.4: Dojezdnost jednotek ZZS PK – noc

Obrázek 9.5: Dojezdnost jednotek požární stanice Rokycany – den

Obrázek 9.6: Dojezdnost jednotek požární stanice Rokycany – noc

Obrázek 9.7: Dojezdnost jednotek požární stanice Klatovy – den

Obrázek 9.8: Dojezdnost jednotek požární stanice Klatovy – noc

Obrázek 9.9: Porovnání výsledků analýzy dojezdnosti vozů ZZS PK pro denní dobu s daty krajského úřadu

Obrázek 9.10: Porovnání výsledků analýzy dojezdnosti vozů ZZS PK pro noční dobu s daty krajského úřadu



## **Seznam tabulek**

Tabulka 3.1: Prvkové třídy Coverage

Tabulka 3.2: Struktura shapefile

Tabulka 3.2: Struktura geodatabáze

Tabulka 8.1: Atributy liniových vrstev vytvořené v rámci přípravy dat

Tabulka 8.2: Rychlost jízdy nastavená pro jednotlivé typy komunikací

Tabulka 8.3: Rychlosti jízdy po komunikacích pro vozy HZS PK

Tabulka 9.1: Nalezené chyby Rokycany – den

Tabulka 9.2: Výsledky kontroly Rokycany – den

Tabulka 9.3: Nalezené chyby Rokycany – noc

Tabulka 9.4: Výsledky kontroly Rokycany – noc

Tabulka 9.5: Nalezené chyby Klatovy – den

Tabulka 9.6: Výsledky kontroly Klatovy – den

Tabulka 9.7: Nalezené chyby Klatovy – noc

Tabulka 9.8: Výsledky kontroly Klatovy – noc

## **Seznam příloh**

Příloha A – Obsah přiloženého DVD

Příloha B – Sjednocení vrstev ZABAGED

## Přílohy

### A Obsah přiloženého DVD

-- Obsah DVD Diplomová práce Jakub Sladký --

Obrázky – obrázky použité v práci

Přílohy – přílohy v digitální podobě

Statistika – kontrola výsledků analýzy pro HZS PK podle reálných dojezdových dob

Výsledky-shapefiles – výsledky analýz a kontrolní data v digitální podobě

Jakub Sladký Síťové analýzy v GIS pro složky IZS DP 2009 – text práce

### B Sjednocení vrstev ZABAGED

<b>Původní vrstva</b>	<b>Konečný název prvku v datasetu</b>
ProduktovodPotrubi	rozvodne_site_linie
AkvaduktShybka	
ElektrickeVedení	
KotovanyBod	vyskove_polohove_body
BodTihovehoPole	
BodVyskovehoPole	
BodPolohovehoPole	
OsamelyBalvanSkala	terenni_relief_body
VstuDoJeskyne	
SkupinaBalvanu_b	
PataTerennihoTvaru	terenni_relief_linie
Stupen	
SkupinaBalvanu	
SesuvPudy	
Rokle	
SkalniUtvary	
StozarElektrickehoVedeni	Rozvodne_site_bod
KrizovatkaMimourovnovaUBM	komunikace_body
Hranicniprechod	
Propustek_b	
Most_b	
ZeleznicniZastavka	
StozarLanoveDrahy	
KrizovatkaUrovnova	
UzlovyBod	
Lavka_b	
Podjezd_b	
ZeleznicniPrejezd	

ZeleznicniTrat	komunikace_linie	
Vlecka		
LanovaDraha...		
PoulicniDraha...		
Silnice		
Ulice		
Cesta		
Pesina		
Privoz		
Tunel		
LyzarskyMustek		
DopravnikoviPas		
Most		
Lavka		
Podjezd		
Propustek		
ParkovisteOdpocivka		zastavba_plochy
Kolejiste		
Letiste		
Intravilan		
HaldaOdval		
Skladka		
Hrbitov		
Elektrarna		
RozvodnaTransformovna		
JamaPovrchovaTezbaLom		
UcelovaZastavba		
PrecerptavaciStanice		
KulnaSklenikFoliovnik	zastavba_linie	
ChladiciVez		
ValcovaNadrzZasobnik		
Silo		
RozvalinaZricenina		
HradbaVal		
Zed		
DoplukovaLinie		
ObvodLetistniDrahy		
OsaLetistniDrahy		
BudovaBlokBudov_b		zastavba_body
NastvbaNaBudove...		
UstiSachtyStoly		
TezniVez		
TovarniKomin		
ValcovaNadrz		
Silo		
VodojemVezovy		
VetrnyMotor		
Mohyla...		
KrizSloup...		
BudovaBlokBudov	zastavba_budovy	

LesniPudaSeStromy	lesy
LesniPudaSKosodrevinou	
LesniPudaSKrovinatymPorostem	
OrnaPuda	vegetace_plochy
Chmelnice	
OvocnySadZahrada	
LoukaPastvina	
OkrasnaZahradaPark	vegetace_linie
LesniPrusek	
LiniovaVegetace	vegetace_bod
OsamelyStromLesik	vodstvo_body
Raseniliste_b	
Vodopad_b	
AkvaduktShybka_b	
Pristaviste_b	
ZdrojPodzemnichVod	
VodniPlocha	vodstvo_plochy
UsazovaciNadrzOdkaliste	
PlavebniKomora	vodstvo_linie
Brod	
PrehradniHrazJez	
BazinaMocal	
Brehovka	
VodniTok	