

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PRAHA 2019

TOMÁŠ LAUWEREYS

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
ANALÝZA DOPRAVNÍCH DAT
V JIHOZÁPADNÍ ČÁSTI PŘÍJEZDU DO PRAHY

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
Katedra geomatiky

květen 2019

Tomáš LAUWEREYS



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lauwereys Jméno: Tomáš Osobní číslo: 468627

Zadávající katedra: katedra geomatiky

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza dopravních dat v jihozápadní části příjezdu do Prahy

Název bakalářské práce anglicky: Analysis of traffic data in south-western part of Prague

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte a vhodně vizualizujte data dopravy na jihozápadním příjezdu do Prahy. Využijte prostorová data ZABAGED, vhodná otevřená data z IPR, data intenzit dopravy, městské hromadné dopravy, atd.

Seznam doporučené literatury:

Demel, J.: Grafy a jejich aplikace. Praha, Academia, 2002.

Otevřená data IPR Praha, dostupné z www.iprpraha.cz

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 18.2.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou teorie grafu a síťové analýzy v geografických informačních systémech. Je vytvořen pracovní postup editace dat ze serveru společnosti Geofabrik. Dále je popsána tvorba síťového datasetu extenze Network Analyst programu ArcGIS. Výstupem jsou modely pro úpravu dat na vytvoření síťového datasetu. Dále je výstupem aplikace v prostředí ArcGIS Online, která zobrazuje tematické mapy silniční sítě upravené z dat síťového datasetu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Geografický informační systém, teorie grafu, síťová analýza, extenze Network Analyst, analýza trasy, analýza oblasti služeb, síťový dataset, OpenStreetMap

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with a graph theory and network analysis in geographic information systems. The workflow for editing data from the Geofabrik server is created. The workflow includes a description of a creation of new network dataset, which relates to Network Analyst extension from the ArcGIS. The output of the work are models for data modification to create a network dataset. Another output is the application in ArcGIS Online, which displays thematic maps of the road network modified from the data of the network dataset.

KEYWORDS

Geographic information system, graph theory, Network Analyst extension, route, service area, network dataset, OpenStreetMap

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Analýza dopravních dat v jihozápadní části příjezdu do Prahy“ vypracoval pod vedením Doc. Ing. Jiřího Cajthamla, Ph.D. samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Rád bych poděkoval ochotnému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Jiřímu Cajthamlovi, Ph.D. za odborné vedení a také Ing. Tomáši Janatovi, Ph.D. a Ing. Martinovi Landovi, Ph.D. za podnětné připomínky, které pro mě při zpracování této práce byly velmi užitečné a poučné. Také děkuji Růženě Chaloupecké za zapůjčení dat k bakalářské práci ZM 25 ze Zeměměřického úřadu.

Obsah

Úvod	8
Motivace a cíle práce	8
1 Teoretická část.....	10
1.1 Co je to GIS	10
1.2 Použitá data	11
1.2.1 Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) - polohopis.....	11
1.2.2 Projekt OpenStreetMap (OSM)	12
1.2.3 Volba dat pro zpracování dopravní analýzy.....	13
1.3 Teorie grafu	16
1.3.1 Úvod do teorie grafu.....	16
1.3.2 Historie, zavedení teorie grafů.....	16
1.3.3 Definice grafu	17
1.3.4 Orientované a neorientované grafy	20
1.3.5 Základní definice v teorii grafu.....	21
1.3.6 Způsoby zadávání grafů.....	22
1.3.7 Matice popisující graf (matice sousednosti).....	23
1.3.8 Seznamy vrcholů a hran.....	25
1.3.9 Seznam vrcholů a seznamy okolí vrcholů	25
2 Software Esri ArcGIS	26
2.1 Formáty vektorových dat.....	26
2.1.1 Shapefile	28
2.1.2 Geodatabase.....	28
2.1.3 Coverage.....	29
2.2 Síťové modely v software ESRI ArcGIS	29
2.3 O síťovém datasetu	30
2.4 ArcGIS Network Analyst	30
2.4.1 Co je to extenze ArcGIS Network Analyst?	30
2.4.2 Trasa (Route)	31
2.4.3 Oblast služeb (Service area).....	31
2.5 Tvorba síťového datasetu silniční sítě	31
2.5.1 Konektivita	32
2.5.2 Atributy sítě	33

3	Praktická část	34
3.1	Stažení dat	35
3.2	Spuštění a nastavení programu ArcGIS Pro	35
3.3	Nastavení souřadnicového systému.....	35
3.4	Tvorba mapového rámu.....	36
3.5	Transformace a ořez dat podle mapového rámu.....	37
3.6	Editace vrstvy silniční sítě (ModelBuilder).....	38
3.6.1	Spuštění, vstupní a výstupní parametry modelu.....	39
3.6.2	Blok A (Vstupní data).....	40
3.6.3	Blok B (Reklasifikace maxspeed).....	40
3.6.4	Blok C (Editace dat)	41
3.6.5	Blok D (Sub model).....	43
3.6.6	Blok E (Iterace podle feature selection).....	44
3.6.7	Blok F (Export)	45
3.7	Vytvoření geodatabáze	48
3.8	Vytvoření síťového datasetu v ArcMap	48
3.9	ArcGIS Online (Story Map Series)	61
	Diskuze	62
	Závěr	64
	Použité zdroje	65
	Seznam obrázků	69
	Seznam tabulek	71
	Seznam definic	72
	Seznam příloh	73

Úvod

Hlavním tématem teoretické části této bakalářské práce je teorie grafu a jeho aplikace v síťové analýze z pohledu geografických informačních systémů (GIS), která má v dnešní době velký význam. Rovněž zde popisují základní informace pro tvorbu síťového datasetu v softwaru ArcGIS společnosti Esri, které jsou nezbytné pro jeho vytvoření a správné fungování. Dále se zabývám volbou vhodného podkladu dat pro analýzu silniční sítě, kde porovnávám výhody a nevýhody Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) - polohopis a mapu projektu OpenStreetMap.

V praktické části uvádím postup zpracování a vizualizace dopravních dat v zadané lokalitě jihozápadní části příjezdu do Prahy v programu verze ArcGIS 10.5.1 a ArcGIS Pro. Vysvětluji zde, jak fungují mnou vytvořené modely pro přípravu dat síťového datasetu, aby je mohl kdokoliv jiný využít jako základ pro svou práci.

Tato bakalářská práce může sloužit jako návod pro uživatele softwaru ArcGIS, který chce pochopit základní principy tvorby síťového datasetu extenze Network Analyst věnující se této problematice a prakticky je využít.

Motivace a cíle práce

Již řadu let se ve všední den potýkám s problémem tvorby dlouhé kolony v ulici Strakonická (úsek Lahovický most – Barrandovský most, jehož délka je přibližně 5 km). Dříve se kolony tvořily především v pozdějších ranních hodinách mezi 8 a 9 hodinou. Posledních pět let se tvoří již pravidelně kolem sedmé hodiny. Pokud využívám hromadnou dopravu, konkrétně autobus, který musí jet po Strakonické ulici, tak má velmi často z vlastní zkušenosti zpoždění 10 - 45 minut. V případě, že bych využil automobil, který nesmí jet vyhrazeným pruhem pro MHD, IZS, TAXI apod. je zpoždění mnohem větší. Vyhrazený jízdní pruh je dlouhý přibližně 2 km.

Přemýšlel jsem nad tím, jak by se situace mohla řešit. V dnešní době s využitím moderní technologie není problém sbírat data o intenzitě automobilové dopravy v daném místě. Nasbíraná data, která tvoří databázi zaznamenaných vozidel v konkrétním čase a místě, lze vyhodnocovat různými způsoby. Rozhodl jsem se, že bych chtěl data (konkrétně „pouhá“ čísla) vizualizovat do mapy, která může podle mého názoru lépe vystihnout a objasnit problém ve vybrané lokalitě a poukázat tak na problém jiným pohledem. Kromě vizualizace lze provádět na základě těchto dat různé analýzy sítě a hledat tak příčiny vzniku problému, principy a tendence chování dopravy. Nebo také hledat a testovat možná řešení, která mohou pomoci zlepšit stav.

I když myšlenka vizualizace do mapy působí reálně a jednoduše, je poměrně těžké ji realizovat. Z důvodu vyšší náročnosti zpracování jsem se rozhodl stanovit cíle, které mě měli co nejvíce přivést k naplnění mé vize.

- Vybrat vhodná data pro vytvoření síťového datasetu.
- Pochopit a vysvětlit základy teorie grafu a její uplatnění v síťové analýze.
- Zjistit možnosti využití extenze ArcGIS Network Analyst a správně je aplikovat.
- Vytvořit model pro editaci vstupních dat a následnou tvorbu síťového datasetu včetně srozumitelného návodu.
- Vhodně prezentovat výsledky práce v prostředí ArcGIS Online a umožnit uživatelům provádět analýzy v zadané lokalitě na již vytvořeném síťovém datasetu.

1 Teoretická část

Teorie je zaměřena na vysvětlení pojmu geografického informačního systému, teorii grafu, softwaru Esri ArcGIS a volbu dat pro praktickou část.

1.1 Co je to GIS

Geografický informační systém (GIS) je informačním systémem navržený pro práci s daty, která jsou reprezentována prostorovými nebo geografickými souřadnicemi. Jedná se o automatizovaný systém pro sběr dat, jejich uchování, třídění, úpravu, analýzu a následné zobrazení. Geografie je věda zabývající se studiem Zemského povrchu. Popisuje a analyzuje prostorové vztahy mezi fyzikálními, biologickými a humánními jevy, které se vyskytují na Zemském povrchu. Slovo geografie pochází z řeckých slov geo – Země a graphein – psát. Geografický informační systém je tedy informační systém pracující s prostorovými daty. Definicí pro GIS existuje mnoho, proto si uvedeme alespoň dvě.

Definice podle Clause a Schvill 1991: Informační systém je soubor hardware a software na získávání, uchování, spojování a vyhodnocování informací. Informační systém se skládá ze zařízení na zpracování dat, systému báze dat a vyhodnocovacích programů.

Definice podle ESRI: GIS je organizovaný soubor počítačového hardware, software a geografických údajů (naplněné báze dat) navržený pro efektivní získávání, ukládání, upravování, obhospodařování, analyzování a zobrazování všech forem geografických informací.

GIS nám umožňuje hledat odpovědi na otázky:

- Co když?
- Jaký je počet?
- Co je příčinou?
- Kde se nachází?
- Co se nachází na/změnilo od?

Geografický informační systém je využívám například v oblastech státní správy, městských úřadů, školách, životního prostředí, distribučních společností, obchodech, ochrany proti pohromám.

Kapitola byla zpracována podle [1] a [2].

1.2 Použitá data

V následujících podkapitolách se zabývám popisem možných podkladových dat pro praktickou část. Vysvětluji, jaké výhody a nevýhody má Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – polohopis a mapa projektu OpenStreetMap z pohledu využitelnosti pro síťové analýzy. V závěrečné podkapitole vysvětluji, proč jsem si jako podklad vybral data z OpenStreetMap.

1.2.1 Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) - polohopis

Základní báze geografických dat České republiky je komplexní digitální geografický model území České republiky. Spravován je Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. Polohopisnou část tvoří v současné době 125 typů geografických objektů sídel, komunikací, rozvodných sítí a produktovodů, vodstva, územních jednotek a chráněných území, vegetace a povrchu, terénního reliéfu a vybrané údaje o geodetických bodech. Objekty jsou reprezentovány dvourozměrnou vektorovou prostorovou složkou a popisnou složkou, obsahující kvalitativní a kvantitativní informace o objektech. [3]

ZABAGED® je zpřístupněna prostřednictvím prohlížečích služeb a je možné využít také zpoplatněné stahovací služby. Výdejní jednotka je mapový list ZM 10 (18 km²) ve formátu SHP(JTSK), SHP(UTM), SHP(WGS84), DGN7(JTSK), DGN7(UTM), GML(JTSK), DXF(JTSK). V nabídce jsou souřadnicové systémy S-JTSK / Krovak EN, WGS 84, WGS 84 / UTM zone 33N. Celá datová série je aktualizována v pravidelném cyklu. Kromě této plošné

aktualizace probíhá průběžná aktualizace vybraných objektů na základě aktuálních dat od tematických správců. Aktualizované verze jsou publikovány ve čtvrtletním intervalu.

Data digitálních geografických modelů území ČR, které odpovídají přesností a stupněm generalizace měřítku 1 : 50 000 (Data 50), resp. 1 : 200 000 (Data 200), jsou nově od 1. 4. 2019 poskytována jako otevřená data. [4]

Pro tvorbu silničního datasetu je vhodné využít vrstvy kategorie objektu 2. KOMUNIKACE, konkrétně tyto typy objektu:

- 2.01 Silnice, dálnice
- 2.02 Ulice
- 2.05 Křižovatka mimoúrovňová
- 2.06 Křižovatka úrovňová
- 2.08 Most
- 2.10 Podjezd
- 2.14 Tunel
- 2.31 Silnice nevidovaná

V katalogu objektu ZABAGED® je možné dohledat definice jednotlivých typů objektů, jejich geometrické určení a přesnost včetně zdroje dat geometrických a dat popisných. Nechybí ani detailní vysvětlení atributů vrstvy. Většina objektů má úroveň geometrické přesnosti B, popřípadě C. Úroveň B je přiřazena objektům, jejichž poloha je v území jednoznačně určitelná a střední polohová chyba dosahuje hodnoty do 5 m. Úroveň C odpovídá nižší přesnosti s hodnotou střední polohové chyby do 15 m.

1.2.2 Projekt OpenStreetMap (OSM)

Tento projekt využívá kolektivní spolupráci dobrovolníků spolu s koncepcí otevřeného počítačového softwaru s otevřeným zdrojovým kódem. Jeho cílem je tvorba volně dostupných geografických dat a poté jejich vizualizace do podoby topografických map. Pro tvorbu geodat jsou jako podklad využívány záznamy

z přijímačů GPS (Global Positioning System) nebo jiné zpravidla digitalizované mapy. OpenStreetMap (OSM) umožňuje jednoduchou editaci dat, uchovává kompletní historii provedených změn a výsledky tvorby jsou dostupné veřejnosti. Aktuálnost mapy mají na svědomí dobrovolníci a zapojit se může opravdu každý. Například turista, který chodí často na výlety do přírody, může kontrolovat barvy turistických tras nebo stav cest. Změny pak může sám zanést přímo do mapy. Tímto je zajištěna neustálá aktualizace OSM.

OpenStreetMap využívá a vyvíjí vlastní souborový formát pro vektorová geodata, který je postaven na Extensible Markup Language (XML). Referenčním souřadnicovým systémem je WGS 84. Projekt používá topologickou datovou strukturu a data se ukládají do centrální databáze jako uzly, cesty, relace a atributy.

Data OSM lze získat mnoha způsoby. Kromě možnosti exportu dat přímo z webového serveru lze do ArcMap nainstalovat OpenStreetMap Toolbox. Jako webové mapové služby (WMS) si připojit OSM a za pomoci nástrojů v OpenStreetMap Toolbox si data stáhnout jako vektorová. Další možností je si stáhnout data přímo ze serveru společnosti Geofabrik. Server je každý den aktualizován a nabízí ke stažení soubory *.osm.pbf, *.shp.zip a *.osm.bz2 z celého světa. Způsob, jakým jsou data získávána a konvertována je možné se dočíst na webových stránkách serveru společnosti Geofabrik.

Kapitola byla zpracována podle [5], [6] a [7].

1.2.3 Volba dat pro zpracování dopravní analýzy

V této kapitole se zabývám volbou dat mezi polohopisnou složkou ZABAGED® a dostupných datových výpisů projektu OpenStreetMap (OSM) ze serveru společnosti Geofabrik. Abych se rozhodl co nejlépe, bylo zapotřebí všechna data důkladně prozkoumat a vyzkoušet. Do následující tabulky jsem si průběžně zapisoval výhody a nevýhody dat z hlediska využitelnosti pro tvorbu síťového datasetu v programu ArcMap.

Tab. 1: Porovnání ZABAGED® - polohopis a OpenStreetMap (OSM)

ZABAGED® - polohopis	OpenStreetMap (OSM)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Výchozí formáty: <ul style="list-style-type: none"> - *.shp - *.dgn7 - *.gml - *.dxf ▪ Výchozí souřadnicový systém: <ul style="list-style-type: none"> - S-JTSK / Krovak EN - WGS 84 - WGS 84 / UTM zone 33N ▪ Vrstvy obsahují atributy: <ul style="list-style-type: none"> - označení silnice, ulice - třída/typ silnice - dopravní směr - a mnoho dalších, které nejsou potřebné - chybí maximální povolená rychlost ▪ Aktualizace dat: <ul style="list-style-type: none"> - pravidelný cyklus - publikována ve čtvrtletním cyklu ▪ Data spravuje Zeměměřický úřad a jsou placená ▪ Menší riziko chyb v datech ▪ Polohová přesnost dat je obdobná OSM ▪ Každá vrstva má jiné atributy pro třídy/typy silnic. ▪ Silnice jsou rozděleny do několika vrstev shapefile souboru. Některé se navzájem překrývají. Silnice tvoří souvislou síť a je složité ji z vrstev vytvořit. Neexistuje atribut, který by usnadnil propojení vrstev. Jediným řešením je propojení přes geometrii vrstev. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Výchozí formáty: <ul style="list-style-type: none"> - *.osm.pbf - *.shp.zip - *.osm.bz2 ▪ Výchozí souřadnicový systém: <ul style="list-style-type: none"> - WGS 84 ▪ Vrstva obsahuje atributy: <ul style="list-style-type: none"> - označení silnice, ulice - třída/typ silnice - dopravní směr - maximální povolená rychlost - relativní vrstvení vrstvy - zda se jedná o most - zda se jedná o tunel ▪ Aktualizace dat: <ul style="list-style-type: none"> - každý den ▪ Data spravuje komunita a jsou zdarma ▪ Větší riziko chyb v datech ▪ Polohová přesnost dat je obdobná ZABAGED® ▪ Vrstva má stejné atributy pro všechny třídy/typy silnic. ▪ Všechny silnice jsou v jedné vrstvě shapefile souboru.



Obr. 1: Příklad průběhu linií ZABAGED® nad snímkem Ortofota (Pražský okruh)



Obr. 2: Příklad průběhu linií OpenStreetMap nad snímkem Ortofota (Pražský okruh)

Pro vytvoření síťového datasetu jsem si vybral data OpenStreetMap (OSM) z těchto hlavních důvodů:

- silnice tvoří jednu souvislou vrstvu,
- vrstva obsahuje maximální povolené rychlosti,
- silnice obsahují atribut relativní vrstvení (vhodný údaj pro řešení křížení linií => tunel vs. tunel, tunel vs. silnice, silnice vs. most apod.)

1.3 Teorie grafu

Celá kapitola teorie grafu je zpracována podle [8] až [15].

1.3.1 Úvod do teorie grafu

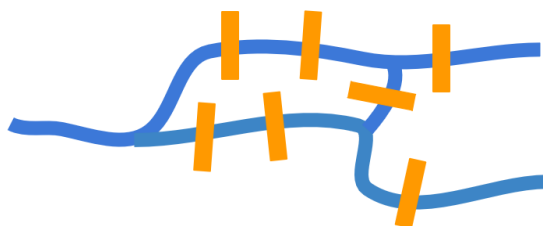
V praxi je často nutné se orientovat v komplikovaných vztazích mezi částmi nějakého celku. Řada z nás si přitom pomáhá obrázky. Části celku kreslíme jednoduše jako body, obdélníky nebo jako kroužky. Vztahy mezi nimi znázorňujeme čarami (plné, čárkované, čerchované) a případně je doplňujeme šipkami. Je tedy zřejmé, že takto lze vyjádřit a nakreslit prakticky jakékoliv vztahy mezi dvojicemi prvků.

Graf je naším prostředkem k vyjádření vztahů množiny objektů, u které chceme znázornit, že některé prvky jsou spolu propojeny. V této kapitole se zabývám základními pojmy teorie grafů, která je základem pro síťové analýzy v GIS.

1.3.2 Historie, zavedení teorie grafů

Obecně platí, že původ teorie grafů je přiřazen průkopnickému švýcarskému matematikovi a fyzikovi Leonhardu Eulerovi, který provedl mnoho objevů na poli diferenciálního počtu a teorii grafu. V roce 1736 publikoval článek o tom, který je nyní běžně známý jako “Problém sedmi mostů města Královce”.

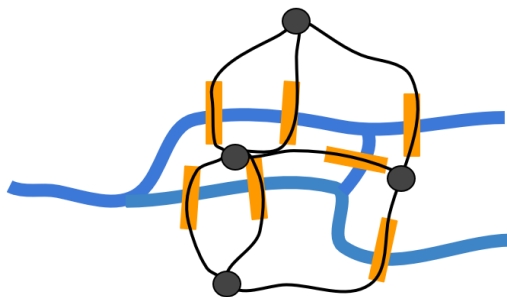
Obr. 3 ilustruje situaci sedmi mostů přes řeku Pregole ve městě Königsberg, nyní Kaliningrad na území Ruska, který vytváří dva ostrovy. Tyto dva ostrovy byly s městem spojeny sedmi mosty.



Obr. 3: Schéma sedmi mostů přes řeku Pregole ve městě Königsberg

Otázkou bylo, zda je možné všechny mosty přejít tak, aby přecházející osoba vstoupila na každý most pouze jednou. A Leonhard Euler jako první dokázal, že to možné není.

Euler vyřešil problém tím, že vynesl ostrůvek a břehy řeky na body a mosty čarami spojujícími tyto body. Na Obr. 4 jsou body a linie znázorněny černě. Leonhard Euler přeformuloval situaci na základě své teorie grafu a dokázal, že ve vytvořeném grafu neexistuje eulerovský tah (tedy náš problém netvoří eulerovský graf). Platí, že pouze eulerovské grafy mají tu vlastnost, že je možné je „nakreslit jedním tahem“. Pokud tedy naše situace eulerovský graf netvoří, dokazuje to, že mosty není možné tímto způsobem přejít.



Obr. 4: Zobrazení ostrova a břehů řeky jako body, mosty jako linie

1.3.3 Definice grafu

Každý graf je tvořen vrcholy a hranami. Hrana nám vždy spojuje dva vrcholy a je buď orientovaná, nebo neorientovaná. U hran orientovaných se vždy rozlišuje počáteční a koncový vrchol. Tvrdíme, že hrana vede z počátečního (**P**) do koncového (**K**) vrcholu (záleží nám na směru). Neorientované hrany bereme jako symetrické spojení dvou vrcholů (nezáleží nám na směru). Zvláštním případem je hrana, která spojuje vrchol se sebou samým, takové hraně říkáme smyčka. Ta může i nemusí být orientovaná. Je zřejmé, že orientovaný graf má všechny hrany orientované, kdežto neorientovaný graf má všechny hrany neorientované. Existují však tzv. smíšené grafy, které mají oba druhy hran. Multigrafem nazýváme graf, ve kterém vedou mezi některými dvěma vrcholy minimálně dvě neorientované, nebo souhlasně orientované hrany.

Jak už bylo vysvětleno výše, grafy jsou vhodným prostředkem pro popis situací, které lze znázornit pomocí konečného množství bodů a vztahů mezi nimi pomocí hran. Graf (G) definujeme jako dvojici dvou množin: vrcholů (V) - **Vertices** (nebo taky jako uzlů) a hran (E) - **Edges**. Vztah incidence ($\varepsilon : E \rightarrow V^2$) nazýváme zobrazením (ε).

Graf (G) je dvojice (V, E) , kde (V) je neprázdná množina vrcholů a (E) značí množinu hran.

$$G = (V, E, \varepsilon)$$

Def. 1: Definice grafu

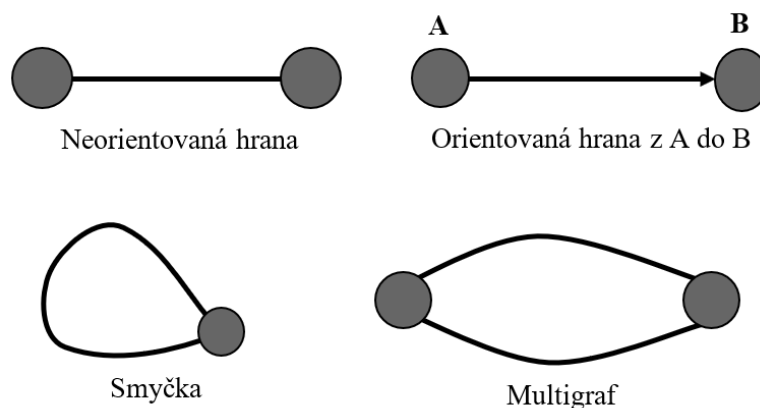
Platí, že množina vrcholů může mít konečný nebo nekonečný počet prvků. Podle toho rozlišujeme grafy dále na konečné a nekonečné. Prvky množiny vrcholů budeme značit velkými písmeny latinky (A, B, C, ... až Z). Prvky množiny hran budeme značit malými písmeny latinské abecedy (a, b, c, ... až z). Každá hrana má vždy oba své konce v některém z vrcholů. Množina hran je tedy podmnožinou sjednocení tří množin: množiny neorientovaných hran, množiny orientovaných hran a množiny vrcholů (tj. smyček). Matematický zápis toho, jak vypadá množina hran jen uvedený níže.

$$E \subseteq V \cup \binom{V}{2} \cup (V \times V)$$

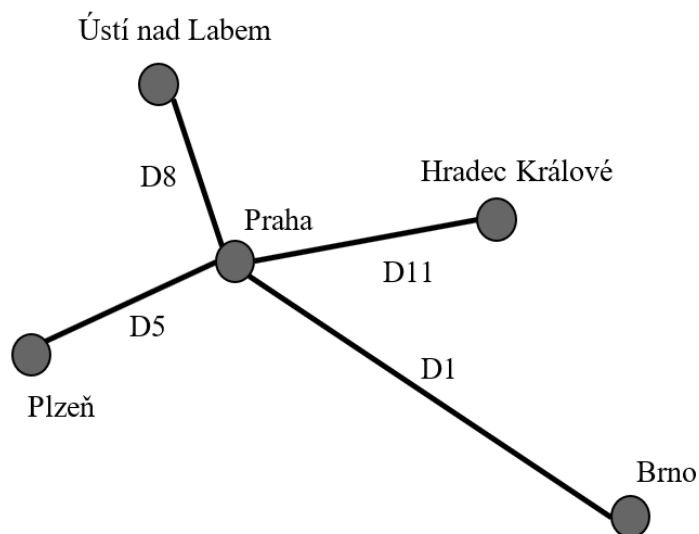
$$\text{kde } \binom{V}{2} = \{(A, B); A \neq B, A \in V, B \in V\}$$

$$\text{a kartézský součin } (V \times V) = \{(A, B); A \in V, B \in V\}$$

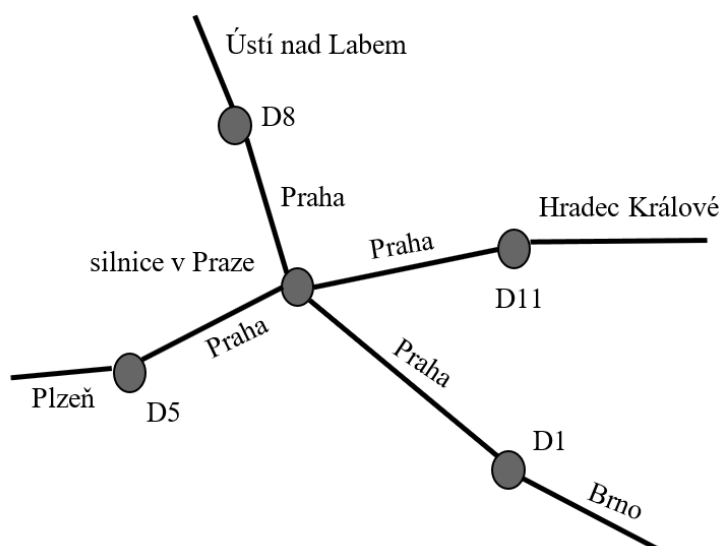
Def. 2: Množina hran jako podmnožina sjednocení tří množin



Obr. 5: Příklady hran



Obr. 6: Silniční síť, kde vrcholy představují města a hrany jsou silnice.



Obr. 7: Silniční síť, kde vrcholy představují silnice a hrany jsou města.

Z uvedených příkladů vyplývá, že můžeme stejnou problematiku vnímat rozdílně, a tedy zpracování grafů nemusí mít nutně vždy stejný výstup a lze ho nakreslit mnoha způsoby. Je ovšem vhodné přemýšlet nad tím, jaký způsob zpracování je příjemnější, logičtější a elegantnější. Obvykle dáváme přednost takovému grafu, kde máme hrany zakresleny pokud možno s co nejmenším počtem průsečíků = vrcholů = uzlů.

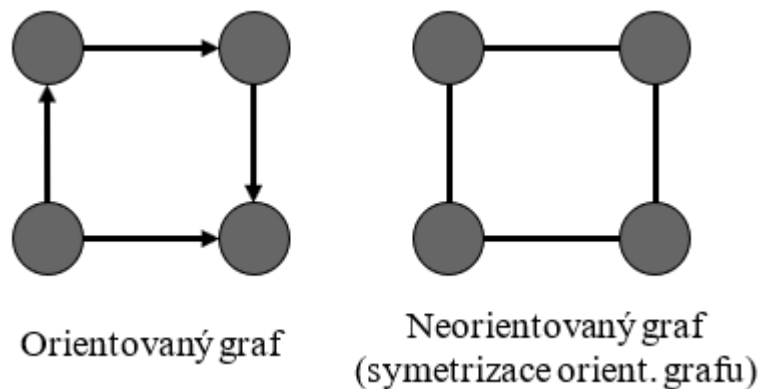
1.3.4 Orientované a neorientované grafy

Orientovaný graf v teorii grafů označujeme takový graf, jehož hrany jsou uspořádané dvojice. Naproti tomu hrany neorientovaného grafu jsou množiny dvouprvkové. Z toho plyne, že hrany orientovaného grafu mají tedy pevně danou orientaci. A proto výrazy (x, y) a (y, x) označují různé hrany. Smyčku bychom označili jako (x, x) .

Je-li $G = (V, E)$ orientovaný graf, lze sestrojít neorientovaný graf $G' = (V, E')$, který je k němu v jistém smyslu ekvivalentní: necht' $\{v_1, v_2\} \in E' \Leftrightarrow (v_1, v_2) \in E \vee (v_2, v_1) \in E$. Z grafu G tedy odstraníme informaci o směru hran a G' se pak nazývá symetrizace grafu G .

Def. 3: Orientovaný a neorientovaný graf, symetrizace grafu

Jedním ze způsobů, jak můžeme grafy znázorňovat, je zakreslení schématu. Vrcholy nám obvykle tvoří body (zakresluje kroužkem), hrany jako čáry (zakresluje pomocí úseček, oblouků a to plnou, čerchovanou či čárkovanou čarou), které spojují příslušné dvojice vrcholů. Máme-li hranu orientovanou, značíme její orientaci šipkou od počátečního (**P**) do koncového (**K**) vrcholu.



Obr. 8: Orientovaný a neorientovaný graf

Orientované grafy se v GIS uplatňují například při analýze silniční sítě, kde je provoz na pozemní komunikaci omezen dopravním značením, které nám určuje, zda můžeme či nemůžeme danou ulicí projet (jednosměrná ulice, obousměrná ulice, případně jiná omezení).

1.3.5 Základní definice v teorii grafu

Základem je orientovaný graf. Neorientovaný graf z předešlé části umíme získat pomocí symetrizace. Níže jsou uvedeny základní definice týkající se teorie grafu.

Je-li dán graf G , pak množinu všech jeho vrcholů budeme značit $V(G)$ a množinu jeho hran $E(G)$. Je-li M libovolná konečná množina, budeme počet prvků množiny M značit $|M|$.

Def. 4: Značení hran a vrcholů

Řekneme, že dva grafy $G = (V, E)$ a $G' = (V', E')$ nazýváme *izomorfní*, jestliže existuje vzájemně jednoznačné zobrazení $f : V \rightarrow V'$ takové, že platí $\{X, Y\} \in E$ právě když $\{f(X), f(Y)\} \in E'$ (případně $(X, Y) \in E$, právě když $(f(X), f(Y)) \in E'$ pro orientované grafy). Zobrazení f nazýváme *izomorfismus*.

Def. 5: Izomorfismus

Posloupnost $(d_G(V_1), d_G(V_2), \dots, d_G(V_n))$ nazýváme *skóre grafu*. V_1, V_2, \dots, V_n jsou vrcholy grafu v libovolném pořadí. Dvě skóre považujeme za stejná, pokud přerovnaním stupňů vrcholů (jejich permutací) jednoho skóre dostaneme skóre druhé.

Def. 6: Skóre grafu

Graf G' nazveme *podgrafem* grafu G , vznikl-li vynecháním některých vrcholů a hran z původního grafu G . Podstatné je to, že podgraf je také grafem. Graf $G' = (V', E')$ je podgrafem grafu $G = (V, E)$, jestliže $V' \subseteq V$ a $E' \subseteq E$.

Def. 7: Podgraf

Úplný (neorientovaný) graf je neorientovaný graf bez smyček, jehož každé dva různé vrcholy jsou spojené hranou. Má-li úplný graf n vrcholů, značíme jej K_n .

Def. 8: Úplný graf

Nechť $G = (V, E)$ je graf. Posloupnost $(X_0, e_1, X_1, e_2, \dots, X_n, e_n)$ nazýváme *sled délky n* , jestliže platí $e_i = \{X_{i-1}, X_i\} \in E$ pro $i = 1, \dots, n$. Pokud jsou uzly X_0 a X_n shodné, nazýváme *sled uzavřeným*. V opačném případě hovoříme o *sledu otevřeném*.

Def. 9: Sled délky, sled uzavřený, sled otevřený

Posloupnost $(X_0, e_1, X_1, e_2, \dots, X_n, e_n)$ v grafu $G = (V, E)$ nazýváme *tah*, jestliže $e_i = \{X_{i-1}, X_i\} \in E$ pro $i = 1, \dots, n$ a $e_i \neq e_j$ pro $i \neq j$.

Def. 10: Tah

Posloupnost $(X_0, e_1, X_1, e_2, \dots, X_n, e_n)$ v grafu G nazýváme *cesta*, jestliže $e_i = \{X_{i-1}, X_i\} \in E$ pro $i = 1, \dots, n$ a $X_i \neq X_j$ pro $i \neq j$.

Def. 11: Cesta

Graf nazýváme *souvislým*, jestliže každé dva jeho vrcholy jsou spojeny cestou.

Def. 12: Souvislý graf

Komponentou souvislosti grafu G nazýváme každý podgraf grafu G , který je souvislý a maximální s touto vlastností.

Def. 13: Komponenta souvislosti grafu

Posloupnost $(X_0, e_1, X_1, e_2, \dots, X_n, e_n)$ pro $n \geq 3$ nazýváme *kružnice délky n*, jestliže $e_i = \{X_{i-1}, X_i\} \in E$ pro $i = 1, \dots, n$ a $X_i \neq X_j$ pro $i \neq j$. Kružnice je tedy uzavřená cesta. U orientovaných grafů nazýváme kružnici *cyklus*.

Def. 14: Kružnice délky, cyklus

Graf bez kružnic nazveme *les*. Je-li navíc souvislý, nazveme jej *strom*.

Def. 15: Les, strom

Nechť graf $G = (V, E, w)$ má hrany ohodnoceny funkcí $w: E \rightarrow \mathbf{R}$. Hodnota $w(uv)$ se nazývá *váhou hrany uv*. *Váha cesty* $p = v_0, v_1, \dots, v_k$ se potom vypočítá jako $w(p) = \sum_{i=1}^{k-1} w(v_{i-1}v_i)$. Jedná se tedy o součet všech vah hran, přes které cesta vede.

Def. 16: Minimální (nejkratší) cesta

1.3.6 Způsoby zadávání grafů

Máme-li graf, který není příliš velký (tj. nemá-li mnoho hran), je pravděpodobně pro každého z nás nejsrozumitelnější obrázek. Něco jiného je to v případě, pokud chceme pracovat s mnohem rozsáhlejšími grafy, které v praxi již nejsme schopni jednoduše zakreslit. Zejména, je-li zapotřebí zadat graf do počítače.

1.3.7 Matice popisující graf (matice sousednosti)

Doposud jsme si všechny grafy popisovali pomocí obrázků (schémat). Grafy lze ovšem popsat pomocí seznamu nebo matic. My se nyní podíváme pouze na maticový zápis, protože se jedná o nejtypičtější způsob zápisu. Důvodem je, že matematicky je tento způsob zápisu velmi elegantní, ale pro praxi méně vhodný pro grafy s relativně málo hranami, neboť matice pak obsahuje značný počet nul. Sami se o tom kousek dále v uvedeném příkladu přesvědčíme.

Nechť G je orientovaný graf. Zvolíme-li (libovolně, ale pevně) pořadí jeho vrcholů v_1, \dots, v_n , můžeme grafu G přiřadit matici sousednosti M_G^+ řádu n předpisem

$$m_{ij}^+ = m^+(v_i, v_j).$$

Pro neorientované grafy definuje matici sousednosti M_G předpisem

$$m_{ij} = m(v_i, v_j).$$

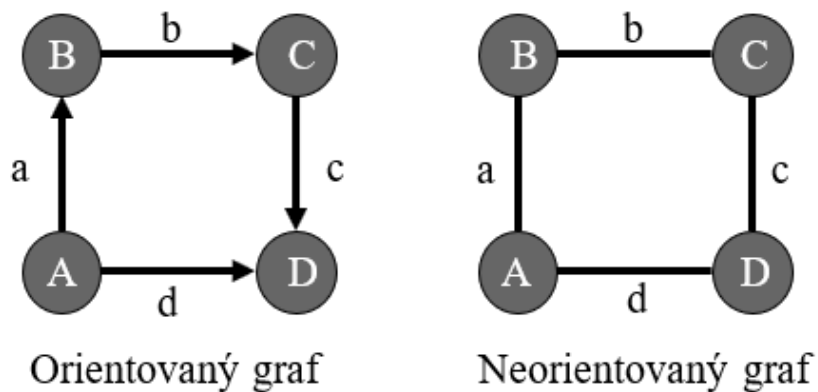
Def. 17: Matice sousednosti

Připomeňme si, co je to matice. Hlavní využití matice spočívá v řešení soustav lineárních rovnic. Pro naše účely nám stačí si představit matici jako tabulku čísel uzavřenou do kulatých závorek. Pozice prvku v matici je velmi důležitá. Vždy totiž zkoumáme, na kterém řádku, a ve kterém sloupci se číslo nachází. Polohu tohoto čísla zapisujeme vždy tvarem (*řádek, sloupec*).

Chceme-li graf zadat maticově, musíme nejprve začít tím, že očíslováme vrcholy. Následně podle počtu vrcholů zvolíme rozměr matice (tj. pro n vrcholů budeme mít matici $n \times n$ prvků.) Pozice (tj. řádek i , sloupec j) nám udává vztah mezi i -tým a j -tým vrcholem. Pokud existuje hrana z vrcholu i do vrcholu j , musíme zapsat do pole (i, j) číslo 1 a v opačném případě číslo 0. Pokud bychom měli více hran z vrcholu i do vrcholu j , tak bychom do pole (i, j) zapsali počet všech hran, které spojují tyto dva vrcholy.

Pro neorientované grafy je matice symetrická (tj. číslo na pozici (i, j) je stejné jako číslo na pozici (j, i)). Kdežto u orientovaných grafů nemusí symetrie platit.

Taková situace nastane v případě, že cesta z A do B je pouze v jednom směru z A do B. Grafy bez smyček mají na hl. diagonále (tj. z levého horního rohu do pravého dolního rohu) samé nuly.



Obr. 9: Zadání orientovaného a neorientovaného grafu

(cíl)

	A	B	C	D
A	0	a	0	d
B	0	0	b	0
C	0	0	0	c
D	0	0	0	0

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(start)

Obr. 10: Maticový zápis orientovaného grafu

(cíl)

	A	B	C	D
A	0	a	0	d
B	a	0	b	0
C	0	b	0	c
D	c	0	c	0

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

(start)

Obr. 11: Maticový zápis neorientovaného grafu

Někoho možná napadla otázka, zda existuje jediná interpretace řešeného grafu (tj. zakreslení, zapsání maticového tvaru apod.). Odpověď zní: ne. Záleží totiž na pořadí vrcholů, která může být libovolná. Máme-li tedy n vrcholů, můžeme získat $n!$ (= faktoriál) různých matic. Pokud máme různé matice, můžeme mít i různé zákresy? No jistě, ale stejně jako u výsledných matic musí existovat podobnost mezi zákresy. A tuto podobnost nazýváme izomorfismus grafů, jak již víme z definice.

1.3.8 Seznamy vrcholů a hran

V případě, že bychom chtěli zapsat výše uvedený příklad pomocí seznamu vrcholů a hran, vypadal by zápis takto:

Tab. 2: Zápis seznamu vrcholů a hran

Vrcholy: A, B, C, D
Hrany: (a, A, B), (b, B, C), (c, B, D), (d, A, D)

Je tedy zřejmé, že množina vrcholů je popsána výčtem (tzv. seznamem) prvků a množina hran je popsána seznamem trojic tvořených jménem hrany a jejím počátečním (**P**) a koncovým (**K**) vrcholem. Jednou z výhod tohoto zápisu je univerzálnost a relativní úspornost, dále lze tímto způsobem snadno popisovat i ohodnocené grafy (ohodnocení jednoduše připíšeme k hranám či vrcholům).

1.3.9 Seznam vrcholů a seznamy okolí vrcholů

Tato varianta je úspornější, než předchozí způsob zápisu. Naše množina vrcholů je opět popsána seznamem prvků, ale hrany jsou popisovány tentokrát ve skupinách (tj. pro každý vrchol x je vždy uveden seznam množiny hran $E^+(x)$). Z toho plyne, že každá hrana je popsána pouze svým vlastním jménem a koncovým (**K**) vrcholem, neboť počáteční $x = (\mathbf{P})$ vrchol je pro celou skupinu hran společný.

Tab. 3: Zápis seznamu vrcholů a seznamu okolí vrcholů

A: (a, B), (d, D)
B: (b, C)
C: (c, D)
D: \emptyset

2 Software Esri ArcGIS

Soukromá společnost Esri, založená roku 1969 zakladatelem Jackem Dangermonem v USA se zabývá vývojem softwaru určeného pro práci s GIS. Systém ArcGIS je interoperabilní a respektuje standardy GIS i obecné standardy informačních technologií (IT). [16]

2.1 Formáty vektorových dat

Nejběžnější způsob zobrazení mapy je právě pomocí vektorových dat, které se skládají z bodů, linií a polygonů.

- Každý bod je definován vektorem jeho souřadnic,
- Každá linie je definována sekvencí úseček, které se napojují v mezilehlých uzlech (vrcholech, bodech). Úsečka začíná a končí ve dvou bodech (tj. počáteční a koncový bod),
- Polygon (plocha) je definována jako uzavřená sekvence linií.

Shapefile je datový formát pro ukládání vektorových prostorových dat v GIS. Vyvinula ho firma Esri a poprvé byl představen začátkem 90. let. Je jedním z nejpoužívanějších formátů pro vektorová data. Tento datový formát je v dnešní době zastaralý, ale pro jednodušší typy dat stále dostačující. Shapefile ukládá netopologickou geometrii a atributovou informaci pro prostorové prvky v jedné datové sadě. Například společná hranice dvou polygonů je uložena dvakrát, poprvé jako součást prvního polygonu a podruhé jako součást druhého polygonu. Geometrie prvku je ukládána v podobě vektorových souřadnic. Velkou výhodou shapefile oproti jiným datovým zdrojům je podpora prakticky všemi nástroji GIS. Důvodem, proč shapefile podporují i jiné programy je, že firma Esri uvolnila dokumentaci k tomuto formátu a jeho licence nezakazuje jeho implementaci v softwaru třetích stran.

Výhodou shapefile je např.:

- možnost snadné editace dat,
- rychlá vizualizace geodat,
- snadná projekce do jiných souřadnicových systémů,
- jednoduše pochopitelná struktura,
- podpora v GIS softwarech.

Z dnešního pohledu obsahuje tento formát několik slabých míst jako je např.:

- omezení názvu atributu na deset znaků,
- maximální velikost souboru 2 GB,
- neumožnění uložení topologické informace o vzájemných vztazích mezi prvky geodat,
- možnost uložení souboru pouze jako jeden typ geometrie (bod, linie, polygon),
- neumožnění uložení stromové struktury dat a komplikovanější vazby,
- neuložení dat do jednoho souboru, ale minimálně ve trojici (*.shp + *.dbf + *.shx).

Software ArcGIS používá tyto tři formáty pro vektorová data:

- *.shp – „shapefile“ (geometrie),
- *.dbf – „atributová tabulka“ ve formátu dBase (atributy),
- *.shx – „index“ (propojení geometrie a atributů).

A dále tyto doplňkové soubory:

- *.prj – soubor ukládající informaci o souřadnicovém systému a projekci,
- *.qix, *.sbn a *.sbx – soubory s prostorovými indexy prvků,
- *.atx – atributový index pro dbf soubor,
- *.shp.xml – metadata ve formátu XML pro ArcGIS,
- *.cpg – využití specifikované kódové stránky (jen pro .dbf), pro správnou identifikaci užitých znaků.

Přestože je shapefile tvořen alespoň třemi soubory, v prostředí ArcGIS je zobrazen jako jeden soubor. Kapitola byla zpracována podle [17] až [21] včetně tří následujících kapitol.

2.1.1 Shapefile

Jedná se o hlavní soubor *.shp, kde je každý záznam popisován seznamem lomových bodů v určených souřadnicích. Geometrie každého prostorového prvku je uložena v datasetu a jeho atributy jsou přidružené v databázové tabulce. Dataset je uložen v tzv. shapefile folder a obsahuje vždy jednu prvkovou třídu tzv. shapefile feature class, která může obsahovat pouze jeden typ prvků. Těmi jsou buď body, řetězce linií, polygony, multibody nebo 3D geometrie multipatch. Jeden záznam shape odpovídá jednomu řádku v attributech.

2.1.2 Geodatabase

Databázová tabulka *.dbf obsahuje atributy jednotlivých prvků, kde každý záznam odpovídá jednomu prvku. Jedná se o nativní datovou strukturu softwaru ArcGIS a zároveň je to primární datový formát sloužící pro správu a editaci dat (nejen vektorových) v tomto programu. Základní struktura je podobná struktuře shapefile. Geodatabáze podporuje tvorbu a editaci topologie.

Geodatabáze se dělí do tří typů:

- File geodatabase
- Personal geodatabase
- ArcSDE geodatabase

První a druhý typ geodatabáze je tzv. jednouživatelský, tedy může být v jednom okamžiku editována pouze jedním uživatelem. File geodatabase je mladším typem geodatabáze, která uchovává data v adresářové struktuře oproti Personal geodatabase, která využívá systém Microsoft Access.

Třetí typ ArcSDE geodatabase využívá ke správě prostorové složky dat tzv. middleware, tedy prostředníka mezi databázovým serverem a GIS software ovládajícím uživatelem.

2.1.3 Coverage

Coverage nám propojuje prvek v hlavním souboru se záznamem v atributové tabulce. Jednotlivé geometrické prvky jsou v tomto formátu uloženy v prvkových třídách, které mohou obsahovat body, linie, polygony nebo dokonce anotaci (tj. popisovou informaci – obecný text). Coverage může mít topologii, která určuje vztahy mezi funkcemi.

2.2 Síťové modely v software ESRI ArcGIS

V tomto případě chápeme síť jako systém vzájemně propojených prvků, tj. hran, které spojují uzly (vrcholy, body). Tato síť nám představuje přípustné trasy z jednoho místa A do druhého místa B. Hrany můžeme navíc ohodnotit a stanovit tak další podmínky (omezení) pohybu v síti. Na základě toho jsme schopni dělat různé typy analýz sítě. ArcGIS umožňuje vytvořit čtyři druhy modelů sítě a těmi jsou *geometrická síť*, *síťový dataset*, *multimodální dataset*, *3D dataset*. Program však seskupuje tyto sítě do kategorie *geometrická síť* a *síťový dataset*.

Geometrická síť je vhodná pro reprezentaci běžných inženýrských sítí jako je vodní potrubí, elektrické vedení, plynovody, říční síť, kanalizace apod. Důvodem je, že tyto sítě spadají mezi sítě takové, kde je pohyb pro hraně umožněn jen jedním směrem kvůli vlivu gravitace, tlaku vody a tak podobně. S geometrickou sítí je například možné sledovat prvky sítě proti proudu nebo po proudu od bodu (místa havárie vody) a určit tak, které ventily se uzavřou, pokud praskne potrubí. Také lze nalézt smyčky nebo obvody v síti a odhalit tak, kde může dojít k elektrickému zkratu.

Síťový dataset je vyvinut a upraven pro reprezentaci dopravní sítě, kde je možný pohyb po hraně v obou směrech s rozdílnými pravidly pro každý směr.

Řidič osobního automobilu si může jezdit volně kudykoliv po silnicích, za předpokladu, že dodrží dopravní předpisy o provozu na pozemní komunikaci.

Multimodální dataset je síť tvořená několika druhy dopravy, jakou jsou silnice (auta, autobusy, nákladní automobily), železnice (vlaky, metro, tramvaje), vodní toky, chodníky pro pěší.

Poslední 3D dataset je trojrozměrný, který nám umožňuje modelovat vnitřní cesty budov, dolů, jeskyní atd. Kapitola byla zpracována podle [18], [22] a [23].

2.3 O síťovém datasetu

Jak už bylo popsáno výše, síťový dataset je vhodný pro modelování dopravní sítě. Vzniká v rámci dvou kroků: vytvoření a vybudování. V následujících kapitolách se budu zabývat síťovým datasetem.

2.4 ArcGIS Network Analyst

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.

2.4.1 Co je to extenze ArcGIS Network Analyst?

Jedná se o jedno z mnoha rozšíření, které ArcMap a ArcGIS Pro nabízí. Extenze poskytuje nástroje pro řešení složitých problémů v sítích. Využívá k tomu konfigurovaný datový model dopravní sítě, který umožňuje organizacím využívající toto rozšíření přesně reprezentovat jejich jedinečné síťové požadavky. Transportním firmám umožňuje například snížit kilometry, čímž ušetří za pohonné hmoty, čas a sníží opotřebení vozidel. Obchodníkům umožňuje stanovit lepší strategii pro rozmístění skladu a distribuce zboží zákazníkům, a tím tak přispět k lepšímu obchodnímu rozhodování. Dispečerům umožňuje sledovat živý provoz

a rozhodovat tak, zda není lepší volit jinou trasu pro vozidla, než po které právě jedou. [24] Více o této extenzi je možné se dočíst v nápovědě ArcGIS Desktop [23] a v diplomové práci zde [25].

2.4.2 Trasa (Route)

Tento řešitel hledá nejrychlejší, nejkratší nebo dokonce nejkrásnější trasu v závislosti na impedanci, kterou si vybereme pro řešení. Pokud je impedancí čas, je nejlepší trasa nejrychlejší, pokud vzdálenost, tak je nejlepší trasa nejkratší. Nejlepší trasu lze definovat jako trasu, která má nejnižší impedanci, nebo cenu. Řešitel používá známý Dijkstrův algoritmus.

2.4.3 Oblast služeb (Service area)

Oblast síťových služeb je oblast, která zahrnuje všechny dostupné ulice, stanovené v rámci impedance. Například pětiminutová servisní oblast pro bod na síti zahrnuje všechny ulice, kterých lze dosáhnout do pěti minut z toho místa. Stejně tak kromě času můžeme zkoumat vzdálenost. Soustředěné oblasti služeb ukazují, jak se dostupnost mění s impedancí (5, 10, 15 minut z vybraného bodu). Řešitel je také založen na algoritmu Dijkstra pro průchod sítí. Je schopen generovat linie, polygony obklopující tyto čáry nebo obojí. Polygony jsou generovány tak, že se geometrie řádků, které prochází řešitelem, vytvoří do struktury dat o triangulovaných nepravidelných sítí (TIN).

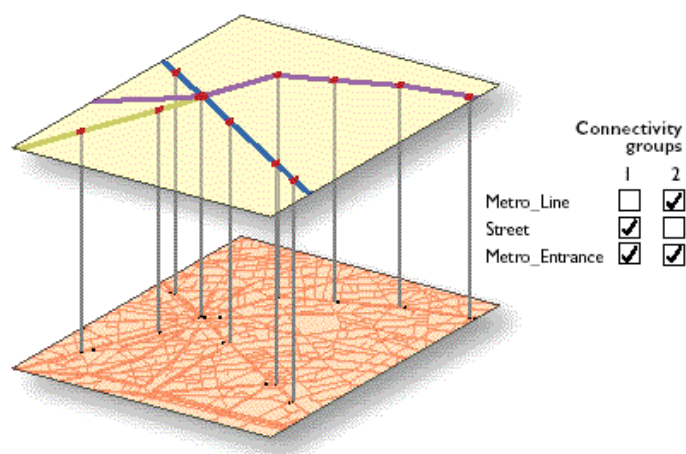
2.5 Tvorba síťového datasetu silniční sítě

Kapitola vysvětluje základní vlastnosti a možnosti vektorových sítí. Vektorové sítě, které představují ohodnocené orientované grafy a lze nad nimi provádět síťové analýzy, jsou tvořeny vzájemně propojenými liniemi. Při tvorbě je zapotřebí nejprve vytvořit topologicky čistou síť liniových prvků. Platí zde podmínka, že se linie smí protínat pouze ve svých koncových bodech. Křížení linií mimo tyto body není povoleno. Kapitola je zpracována podle [26].

2.5.1 Konektivita

Při vytváření síťového datasetu provádíme volby, u kterých musíme zajistit správné vytvoření hran a uzlů pro přesné a skutečné výsledky analýzy sítě. Konektivita je založena na geometrických shodách koncových bodů linií, vrcholů linií, uzlů a pravidel připojení.

Konektivita připojení přiřazuje každý zdroj přesně jedné skupině připojení. Každý zdroj spojení může být přiřazen jedné nebo více skupinám připojení. Skupina může obsahovat libovolný počet zdrojů. Způsob připojení závisí na tom, které skupiny jsou prvky. Tak například dvě hrany vytvořené ze dvou odlišných tříd zdrojových prvků se mohou vzájemně propojit, pokud jsou ve stejné skupině připojení. Jsou-li tedy v oddělených skupinách, hrany se nepřipojí, pokud nejsou spojeny spojením, které je v obou skupinách připojení. Skupiny připojení se využívají zejména k modelování multimodálních sítí (ulice vs. metro). V rámci nastavení konektivity je určováno mimoúrovňové křížení (tzv. neplanární uzly). Vznikat mohou jak mezi různými vrstvami, tak i v rámci jedné vrstvy. Topologické pravidlo konektivity dovoluje křížení linií pouze v jejich koncových uzlech. V případě neplanárního uzlu je zaváděna výjimka, že v místě mimoúrovňového křížení uzel nevzniká.



Obr. 12: Příklad propojení sítě ulic a metra pomocí vstupů do metra [26]

2.5.2 Atributy sítě

Síťové atributy řídí průchodnost sítě. Příkladem jsou jednosměrné ulice, potřebný čas na cestou danou délkou silnice, omezení ulic pro konkrétní vozidla atd. Atributy sítě mají pět základních vlastností:

- **Název** – může být libovolný.
- **Typ použití** – určuje, jak bude atribut použit během analýzy. Je identifikován jako náklad/cena, deskriptor, omezení nebo hierarchie.
- **Jednotky** – nákladového atributu jsou jednotky vzdálenosti nebo času.
- **Typ dat** – může být typu Boolean, integer, float nebo double.
- **Výchozí nastavení** – pokud je nastaven atribut nákladu/ceny, omezení nebo hierarchie, vrstvy síťové analýzy budou nastaveny tak, aby tyto atributy automaticky využívaly. Atribut deskriptor nelze ve výchozím nastavení použít. Ve výchozím nastavení lze v síťovém souboru dat nastavit pouze jeden atribut nákladů.

Síťové atributy lze vytvořit buď přímo v průvodci (New Network Dataset) při tvorbě síťového datasetu nebo v dialogovém okně (Network Dataset Properties) v kartě Atributy. Chceme-li vytvořit síťové atributy, kromě nastavení názvu, typu použití, jednotek, typu dat a výchozího nastavení je nutné v položce Evaluators přiřadit vyhodnocovače, které budou poskytovat hodnoty atributu.

Náklady se využívají k měření a modelování impedancí, jako je například doba cestování (přeprava po silnici, železnici atd.) nebo poptávka. Tento atribut je rozdělen úměrně délkám hran. Pokud by byl nákladem čas cestování, tak délka průchodu celé hrany by odpovídala např. jedné minutě a polovina hrany třiceti vteřinám. Pokud bude hodnota záporná, bude s těmito prvky sítě zacházeno jako s omezenými hodnotami. Síťová analýza mnohdy zahrnuje minimální náklady (tzv. impedanci) během výpočtu trasy (tzv. nalezení nejlepší trasy). Častým případem je nalezení nejrychlejší trasy (minimální doba jízdy) nebo nejkratší trasy (minimální vzdálenost).

Deskriptor je atributem, který popisuje vlastnosti sítě nebo jejích prvků. Na rozdíl od nákladů nejsou deskriptory rozděleny. Tedy hodnota nezávisí na délce hrany (např. počet jízdých pruhů na silnici, omezení rychlosti). Omezení rychlosti není atributem nákladů a nemůže být využito jako impedance.

Omezení mohou být identifikována pro jednotlivé prvky. Během analýzy tedy nelze procházet těmito prvky (např. jednosměrná ulice). Atribut je vždy definován pomocí booleovského typu dat.

Hierarchie je pořadí nebo stupeň přiřazení síťovým prvkům. Například uliční síť může mít hierarchii tříd pro rozdělení od dálniční sítě až po rezidenční ulice. Při hledání nejkratší cesty z jednoho místa do druhého místa lze za pomoci hierarchie modelovat preferenci (např. vyhnout se dálnicím).

3 Praktická část

Pro vypracování praktické části jsem zvolil program ArcGIS Pro verze 2.2.0.12813. Firma Esri vyvíjející tento software uvádí, že se jedná o moderní desktopový GIS, založeným na 64bitové architektuře, podporující vícejádrové procesory i možnosti současných grafických karet. Oproti starší verzi programu ArcMap verze 10.5.1 nepodporuje současná verze ArcGIS Pro možnost vytvoření síťového datasetu. Umožňovat by to měla až verze, která vyjde v polovině roku 2019. Samotné funkce extenze Network Analyst ale podporuje. Z tohoto důvodu je vše zpracováno a popsáno pro verzi ArcGIS Pro s výjimkou tvorby síťového datasetu, který je vytvořen v ArcMap.

V případě postupu podle popisovaných kroků a využívání mnou vytvořených modelů doporučuji nazývat a umísťovat soubory obdobně jako je uvádím v postupu. Měla by tím být zajištěna správná funkčnost uváděných nástrojů a modelů.

3.1 Stažení dat

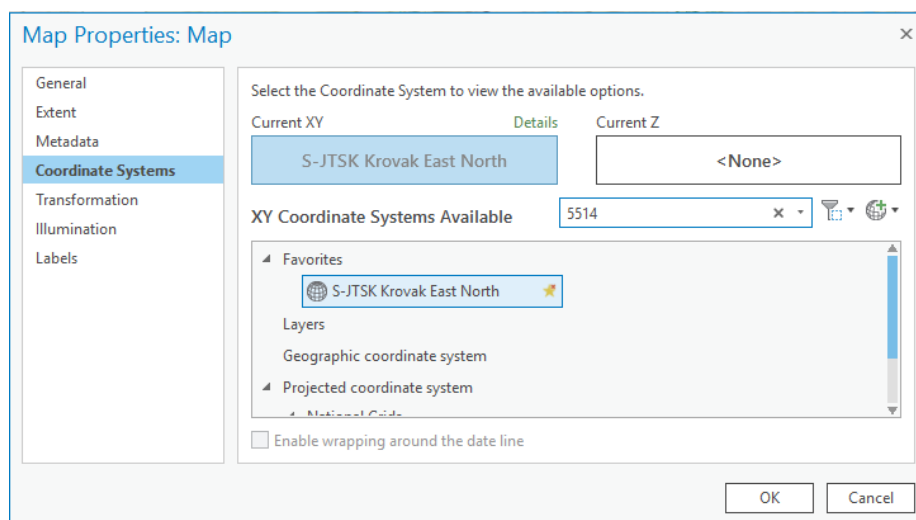
Ze serveru společnosti Geofabrik [7] si stáhneme podkladová data pro naše zadané území *Subregion: Europe => Subregion: Czech Republic* a stáhneme složku *czech-republic-latest-free.shp.zip*, která obsahuje vektorová data v podobě shapefile.

3.2 Spuštění a nastavení programu ArcGIS Pro

Po spuštění programu si založíme nový projekt *Dopravní analýza_BP* a necháme zaškrtnutou možnost *Create a new folder for this project*. V tomto projektu si založíme novou složku *Vstupní_data* a nahrajeme do ní soubory shapefile stažené ze serveru Geofabrik. Při této příležitosti si rovnou založíme i složky *Pracovní_data* a *Výstupní_data*, která se nám budou později hodit.

3.3 Nastavení souřadnicového systému

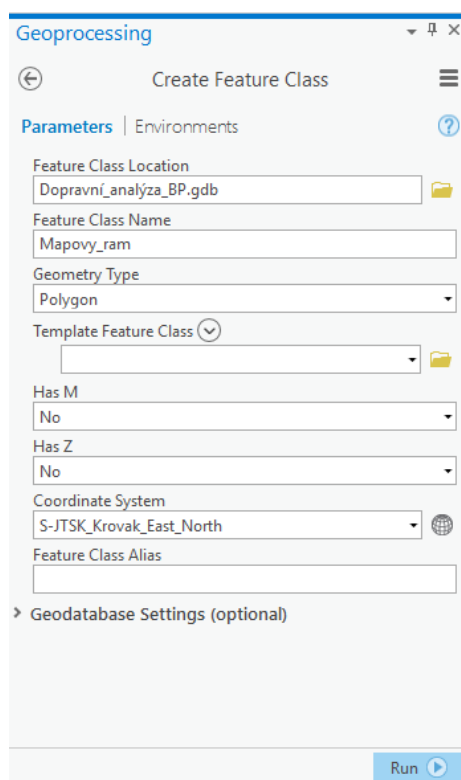
V levém sloupci klikneme pravým tlačítkem na *Map* (hned pod názvem *Drawing Order*) a vybereme poslední možnost *Properties => Coordinate Systems* a do *XY Coordinate Systems Available* napíšeme název/EPSC kód požadovaného zobrazení (v našem případě je kód EPSG = 5514, název *S-JTSK Krovak East North*) a potvrdíme tlačítkem *OK*.



Obr. 13: Okno *Map Properties* s nastaveným souřadnicovým systémem

3.4 Tvorba mapového rámu

Nyní si vymežíme hranici zájmového území, abychom zbytečně nepracovali s velkým množstvím dat celé ČR. Založíme nový shapefile. V horní záložce zvolíme *Analysis => Tools* a vyhledáme funkci *Create Feature Class*. Do *Feature Class Name* vložíme název *Mapovy_ram*. Jako *Geometry Type* vybereme *Polygon* a *Coordinate System* je náš *S-JTSK Krovak East North* a v posledním kroku spustíme tlačítko *Run*.



Obr. 14: Nastavení všech parametrů funkce *Create Feature Class*

V levém sloupci označíme kliknutím vrstvu *Mapovy_ram*, v horní liště klikneme na *Edit => Create (Create Features)* a v pravém okně vybereme funkci *Polygon*, která nám umožní nakreslit mapový rám. V mapě si nalezneme zadanou lokalitu a vytvoříme mapový rám, který bude tvořit hranici pro naše území. Vytvořený obrazec potvrdíme tlačítkem *Finish (F2)* a uložíme editaci pomocí tlačítka v horní liště *Save (Save Edits) => Yes*. V levé liště klikneme levým tlačítkem na ikonu obdélníku vrstvy *Mapovy_ram* a v kartě *Symbology => Black Outline (2pt)*, čímž se nám zprůhlední území a zůstane ohraničená pouze hranice.

Rozměr i umístění obrazce odpovídá přibližně 20 čtvercům (kladu mapových listů) základní mapy České republiky středního měřítka 1 : 25 000. Jako tip uvádím možnost si připojit WMS služby, připojit si klady mapových listů a obkreslit je. Ve složce projektu => *Pracovní_data* si založíme novou složku *Mapový_rám* a do ní uložíme shapefile *Mapovy_ram* (klikneme pravým tlačítkem na požadovanou vrstvu => *Data* => *Export Features*, kde vybereme složku *Mapový_rám* a spustíme funkci pomocí *Run*).

3.5 Transformace a ořez dat podle mapového rámu

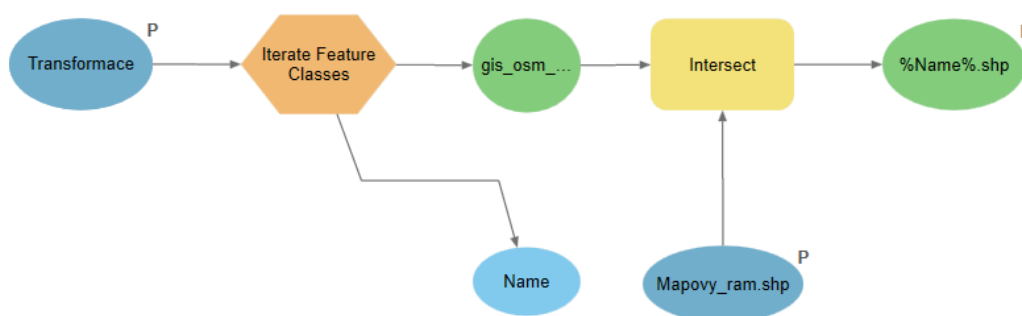
Stažená data jsou v souřadnicovém systému EPSG: 4326 (GCS WGS 1984), a proto je zapotřebí transformovat do stejného souřadnicového systému jako je základní nastavení, tedy EPSG 5514 (S-JTSK Krovak East North). V případě, že bychom nechtěli data transformovat, mohli bychom nastavit souřadnicový systém na GCS WGS 1984.

Nejprve začneme transformací vstupních dat: *Analysis* => *Tools (Geoprocessing)* => *Batch Project*. To nám umožní transformovat více souborů najednou a nemusíme je tak zadávat postupně. Do *Input Features Class or Dataset* vložíme všechny vrstvy ze složky *czech_republic_latest_free* umístěné ve složce *Vstupní_data*, které chceme transformovat. Pro budoucí vytvoření síťového datasetu chceme transformovat alespoň vrstvu *gis_osm_roads_free_1*, ale vzhledem k tomu, že chceme vytvořit i mapový podklad lokality, neobejdeme se bez ostatních vrstev. Pro *Output Workspace* vytvoříme novou složku *Transformace* ve složce *Pracovní_data* a jako *Output Coordinate System* volíme opět *S-JTSK_Krovak_East_North*. Transformace všech osmnácti vrstev zabere počítači přibližně 1 hodinu.

Nyní se přesuneme k ořezu vrstev: *Analysis* => *Tools (Geoprocessing)* => *Intersect*. V parametrech do *Input Features* můžeme vložit všechny vrstvy a nechat je oříznout podle mapového rámu. Zde ovšem narazíme na problém a mohli bychom se dopustit chyby. Funkce *Intersect* vypočítá geometrický průnik

vstupních prvků a vlastnosti/části funkcí, které se překrývají ve všech vrstvách/třídách funkcí se zapíše do třídy výstupních funkcí. Problém tedy spočívá v tom, že nám to v atributové tabulce udělá pěkný nepořádek. Z toho plyne potřeba tuto funkci vyvolat n -krát, kde n odpovídá počtu vrstev. Vždy musíme vybrat jednu vrstvu, kterou chceme ořezat a jako ořezovou vrstvu volíme vždy *Mapovy_ram*. ModelBuilder nabízí funkci *Iterate Feature Classes*, která nám ulehčí práci. Vytvořil jsem model *Intersect*, který ořeže všechny vrstvy podle *Mapovy_ram*. Jak správně nastavit vstupní a výstupní parametry modelu je možné se dočíst v nápovědě (metadatech) samotného modelu. Před spuštěním modelu je zapotřebí vytvořit ve složce *Pracovní_data* novou složku *Ořez*.

Cílová cesta pro nalezení modelu *Intersect* je následující: ...*Dopravní_analýza_BP\Dopravní_analýza_BP.tbx\Intersect*. Ořez všech vrstev testovaného území zabere počítači přibližně 3 minuty.



Obr. 15: Model - Intersect

3.6 Editace vrstvy silniční síť (ModelBuilder)

Před vytvořením síťového datasetu je zapotřebí se důkladně seznámit s vrstvami shapefile, které do něj vstupují. Je zapotřebí zkontrolovat správnost topologie a pochopit vnitřní vztahy vrstvy, jak jsou vytvořeny. Po důkladném zkoumání, pokusech a různých editacích jsem objevil určité nedostatky vrstvy *gis_osm_roads_free_1.shp*.

Pro jednodušší a pohodlnější editaci dat této vrstvy jsem vytvořil model *Main model*, který odstraňuje nedostatky a zároveň připravuje tuto vrstvu pro budoucí síťový dataset. Model jsem testoval na území v rámci mapového rámu (přibližně 36548 ha odpovídá 0,5 % z celkové plochy ČR) a fungoval spolehlivě. Očekávám, že bude stejně dobře fungovat s daty této vrstvy v rámci celého území ČR.

V následujících dvou kapitolách vysvětluji, co je zapotřebí nastavit, aby bylo možné model spustit a zároveň vysvětluji, jak tento model funguje.

3.6.1 Spuštění, vstupní a výstupní parametry modelu

Vytvoříme složky *Editace_silniční_sítě* a *Komunikace_pro_Network_Dataset* ve složce *Pracovní_data*. Do *Editace_silniční_sítě* nám bude model ukládat pomocné soubory a do složky *Komunikace_pro_Network_Dataset* uloží všechny výstupní shapefile soubory, které budou sloužit jako podklad pro vytvoření budoucího síťového datasetu.

Vstupním parametrem je vrstva *gis_osm_roads_free_1.shp* a code block *Reklasifikace layer*.

Výstupními parametry jsou *uzle_X.shp* a *vyska_vrstvy_silnice_X.shp*, kde *X* odpovídá výšce komunikaci.

Model je rozdělen do čtyř skupin značenými *Blok A*, *Blok B*, *Blok C* a *Blok D*, který obsahuje další model nazvaný *Sub model* včetně dalších dvou bloků (*Blok E*, *Blok F*). Skupiny jsou dále rozděleny do podskupin a mají svůj vlastní název, který charakterizuje prováděný proces v modelu.

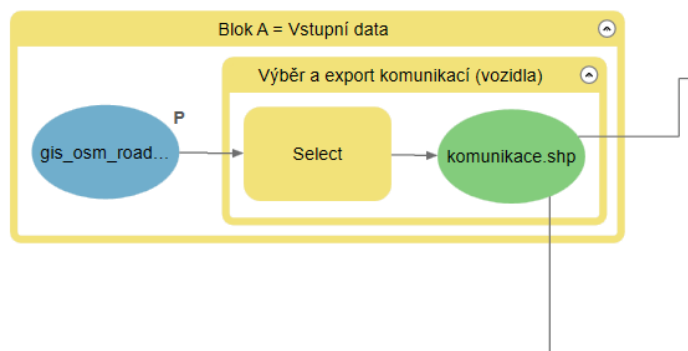
V *Main model* jsou umístěné nástroje, které potřebujeme spustit pouze jednou, kdežto v *Sub model* spouštíme za pomoci iterace nástroje vícekrát. Model zpracovává data přibližně 6 minut.

3.6.2 Blok A (Vstupní data)

Vstupním parametrem je vrstva silniční sítě *gis_osm_roads_free_1.shp*. Vrstva zahrnuje všechny druhy silnic od dálnic až po štěrkové cesty, cyklostezky, chodníky atd. Vzhledem k tomu, že nás zajímá pouze druh komunikace, po které může jezdit automobil, je zapotřebí využít funkci *Select*. Zadáme SQL výraz a vybereme tak všechny prvky, které neodpovídají atributu *fclass* uvedené níže v kódu.

Tab. 4: SQL výraz pro výběr komunikace

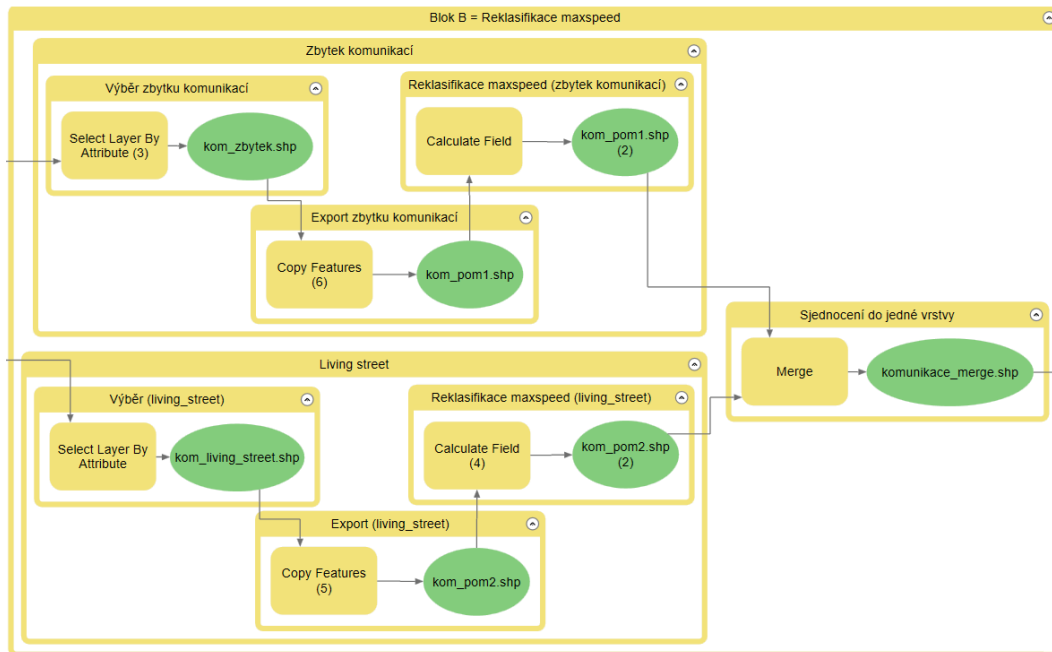
```
fclass <> 'bridleway' And fclass <> 'cycleway' And fclass <> 'footway' And fclass
<> 'path' And fclass <> 'steps' And fclass <> 'track' And fclass <> 'track_grade1'
And fclass <> 'track_grade2' And fclass <> 'track_grade3' And fclass <>
'track_grade4' And fclass <> 'track_grade5' And fclass <> 'pedestrian' And fclass
<> 'unknown'
```



Obr. 16: Model – Main model - Blok A (vstupní data)

3.6.3 Blok B (Reklasifikace maxspeed)

Z neznámého důvodu vrstva *gis_osm_roads_free_1.shp* nemá v atributu *maxspeed* pokaždé uvedené rychlosti u silnic první třídy a níže, nacházející se nejčastěji v obci. Třída *living_street* má kromě správné rychlosti 20 km/h jak předepisuje zákon č. 361/2000 Sb. v ojedinělých případech rychlost vyšší než je 20 km/h, nebo žádnou. Blok B řeší reklasifikaci rychlosti pro jednotlivé třídy tak, aby odpovídala rychlost ve třídě *living_street* 20 km/h a v ostatních případech byla rovna 50 km/h. Model reklasifikuje třídu *living_street* a zbytek komunikací odděleně, čímž vzniknou dvě vrstvy, které funkce *merge* spojí do jedné.



Obr. 17: Model – Main model - Blok B (Reklasifikace maxspeed)

Nedostatkem reklasifikace ostatních komunikací je, že u některých silnic I. - III. třídy je ve skutečnosti vyšší povolená rychlost, než model sám přímo implementuje. Jedná se o silnice, které ve stažených datech ze serveru společnosti Geofabrik v atributu *maxspeed* mají hodnotu 0 km/h a zároveň jsou mimo obec. Jedním z možných řešení by bylo využít vrstvu zástavby obcí, kde bychom vyhledali komunikace, které jsou mimo obce a těm bychom přiřadili v atributu *maxspeed* vyšší rychlost. Stále nám však budou chybět povolené rychlostní limity na úsecích, kde je omezení na nižší rychlost.

3.6.4 Blok C (Editace dat)

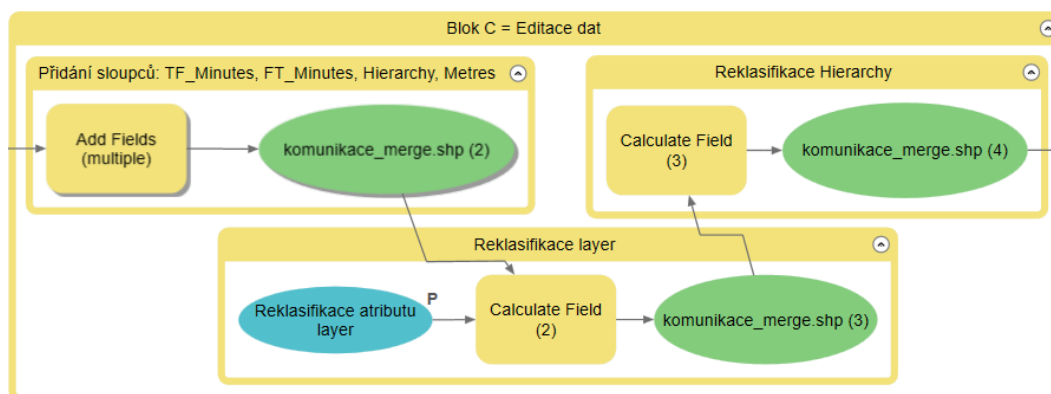
Abychom si ušetřili práci v průběhu sestavování síťového datasetu, upraví nám blok vrstvu *komunikace_merge.shp* následujícím způsobem. Do vrstvy přidá s datovým typem *Double* pomocí funkce *Add Fields (multiple)* sloupce (atributy) *TF_Minutes*, *Ft_Minutes*, *Hierarchy* a *Metres*. Následuje reklasifikace atributu *layer* viz Tab. 5 (levý sloupec).

Relativní vrstvení vrstvy *komunikace_merge.shp* nabývá hodnot od -5 do 5. V naší zpracovávané lokalitě pouze od -3 do 3. Interval zjistíme, když se podíváme do atributové tabulky a seřadíme si hodnoty podle atributu *layer*. Záporné hodnoty představují tunely, nula rovinu a kladné hodnoty mosty. Čím více jde hodnota do extrému, tím je vrstva níže respektive výše. Reklasifikace původní hodnotě přičte v našem případě tři jednotky. Tento krok provádíme z toho důvodu, abychom mohli ukládat výsledné vrstvy tak, aby neobsahovaly v názvu záporný znak. V případě, že by území obsahovalo jiný interval (např. od -5 do 5), je zapotřebí nejnižší vrstvě (tedy -5) přiřadit hodnotu 0. Vrstvě -4 bychom přiřadili hodnotu 1. Takto bychom postupovali až k vrstvě 5, které by příslušela hodnota 10.

Tab. 5: Python kód reklasifikace atributu *layer* a *Hierarchy*

Reklasifikace atributu <i>layer</i>	Reklasifikace atributu <i>Hierarchy</i>
<pre>def Reclass(layer): if layer == -5: return 1000 if layer == -4: return 1001 if layer == -3: return 0 if layer == -2: return 1 if layer == -1: return 2 if layer == 0: return 3 if layer == 1: return 4 if layer == 2: return 5 if layer == 3: return 6 if layer == 4: return 1009 if layer == 5: return 1010</pre>	<pre>def Reclass(fclass): if fclass == 'motorway': return 1 if fclass == 'trunk': return 1 if fclass == 'motorway_link': return 1 if fclass == 'trunk_link': return 1 if fclass == 'primary': return 2 if fclass == 'secondary': return 2 if fclass == 'tertiary': return 2 if fclass == 'primary_link': return 2 if fclass == 'secondary_link': return 2 if fclass == 'tertiary_link': return 2 if fclass == 'unclassified': return 3 if fclass == 'residential': return 3 if fclass == 'living_street': return 3 if fclass == 'service': return 3</pre>

Využívání hierarchie má pomoci urychlit proces a snížit tak časy hledaného řešení. Úrovně jsou definovány po sobě jdoucí celá čísla, počínaje od jedné. Nejnižší číslo (u nás 1) představuje nejvyšší úroveň hierarchie. Síť se nám rozdělí do tří úrovní hierarchie, kde silnicím typu dálnice přiřadíme hodnotu 1, hlavním silnicím hodnotu 2 a místním komunikacím hodnotu 3.



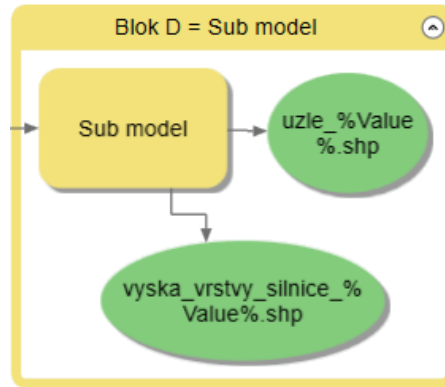
Obr. 18: Model – Main model - Blok C (Editace dat)

3.6.5 Blok D (Sub model)

Pokud nějaký pracovní postup vyžaduje opakování, pak nástroje, které se mají spouštět opakovaně, musí být separovány od nástrojů, které se v rámci postupu mají spustit pouze jednou. V našem případě jsem všechny opakovaně spouštěné nástroje umístil do modelu *Sub model*. Model by fungoval i v případě, kdyby iterátor byl umístěn přímo v *Main model*. V takovém případě by se iterovalo vše, čímž by se značně prodloužil čas zpracování.

Vstupním parametrem je vrstva *komunikace_merge.shp (5)*.

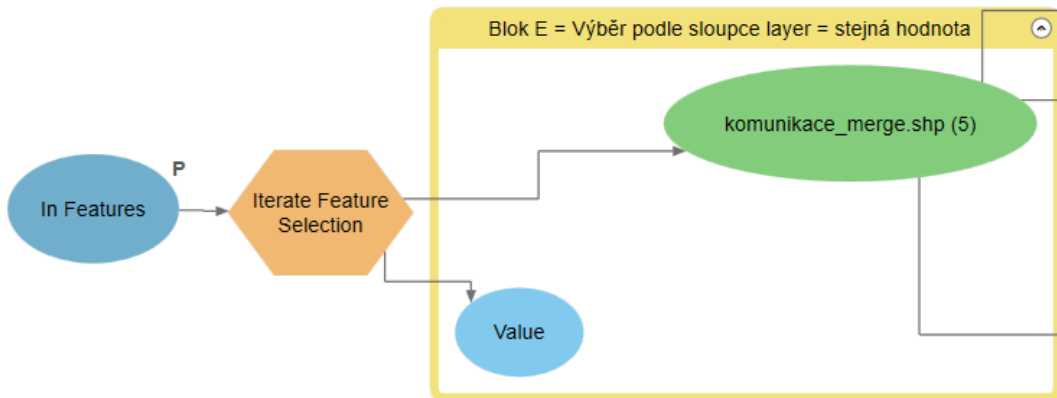
Výstupními parametry jsou *uzle_X.shp* a *vyska_vrstvy_silnice_X.shp*, kde X odpovídá hodnotě iterace a zároveň představuje relativní vrstvení jednotlivých částí komunikace. Čím vyšší hodnota, tím je vrstva umístěna výše.



Obr. 19: Model – Main model - Blok D (Sub model)

3.6.6 Blok E (Iterace podle feature selection)

Funkce *Iterate Feature Selection* iteruje nad vlastnostmi ve třídě vlastností. Počet spuštění iterátoru závisí na atributu *layer*, který obsahuje vrstva *komunikace_merge.shp (5)*. Vrstva je zároveň povinným parametrem vloženým v *In Features* a celého *Sub model*.



Obr. 20: Model – Sub model - Blok E (Výběr podle sloupce layer = stejná hodnota)

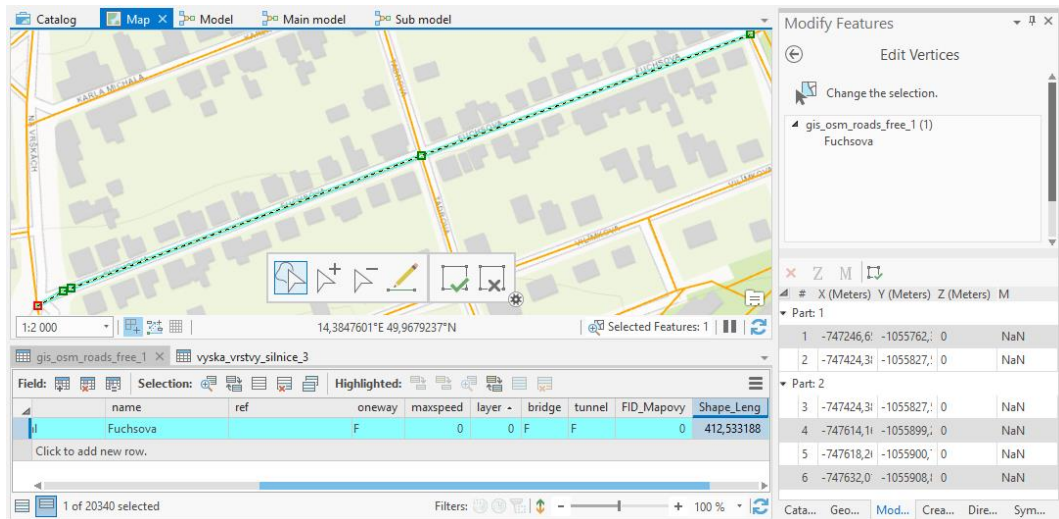
3.6.7 Blok F (Export)

Poslední blok je rozdělen do dvou částí *Export výškových vrstev komunikace* a *Export koncových uzlů komunikace*.

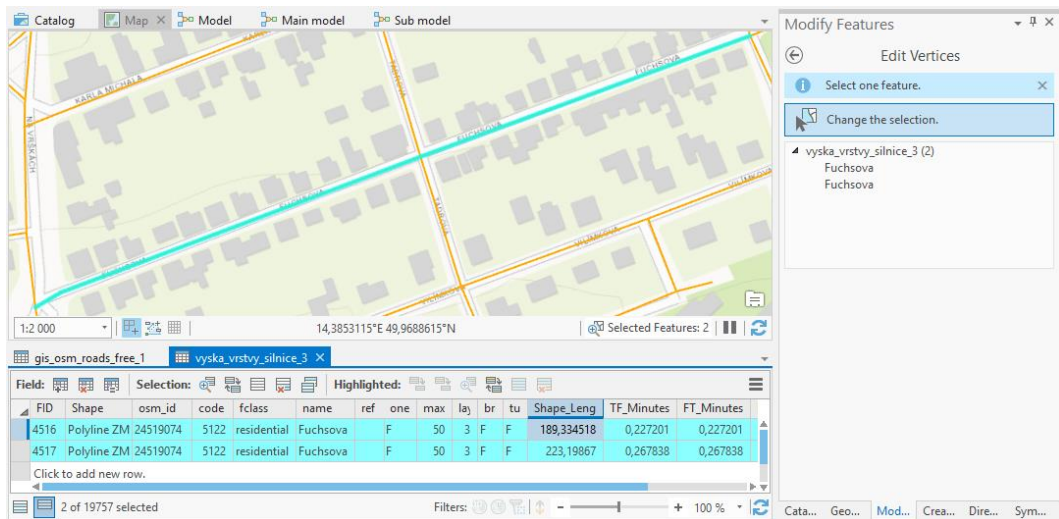
Pro vznik vrstvy shapefile *vyska_vrstvy_silnice_%Value%.shp* je nutné provést následující kroky. Ve vrstvě *gis_osm_roads_free_1.shp* odpovídá jeden záznam v atributové tabulce linii, která je mnohdy složena z více linií. Z hlediska tvorby síťového datasetu to nevádí, protože ten si dokáže vytvořit uzly v místech, kde dochází ke křížení linií. Pro náš případ je to ovšem problém, protože hned následující kroky ve skupině *Export výškových vrstev komunikace* počítáme geometrii těchto linií a další atributy, které jsou na hodnotách geometrie závislé. Pokud bychom nerozdělili složenou linii na jednotlivé linie, vypočítala by se hodnota celkové délky linie a potřebný čas pro průjezd touto linií.

Kdybychom následně vytvořili síťový dataset, rozdělil by nám linii na jednotlivé linie a v datech by byly uloženy původní informace o celkové délce a času. Jediný rozdíl by byl v přiřazeném identifikačním čísle. Při navigování by nám následně hlásila navigace špatné vzdálenosti a délky (větší, než jsou ve skutečnosti).

Z tohoto důvodu je rozdělena linie v místech, kde dochází křížení ve stejném relativním vrstvení. A až poté je vypočítána funkcí *Calculate Geometry Attributes* geodetická délka (zohledňuje vlastnosti daného zobrazení) linie v metrech. Následně je vypočten podle vzorce $!Shape_Leng! / ((!maxspeed! * 1000) / 60)$ čas v minutách potřebný pro překonání linie tam *TF_Minutes* a zpět *FT_Minutes*. Před samotným exportem nové vrstvy dojde k očištění atributové tabulky od nepotřebných atributů.



Obr. 21: Příklad složené linie před úpravou (ulice Fuchsova)

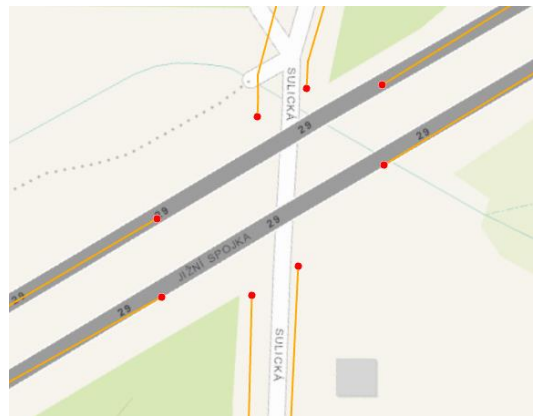


Obr. 22: Příklad jednotlivých linií po úpravě (ulice Fuchsova)

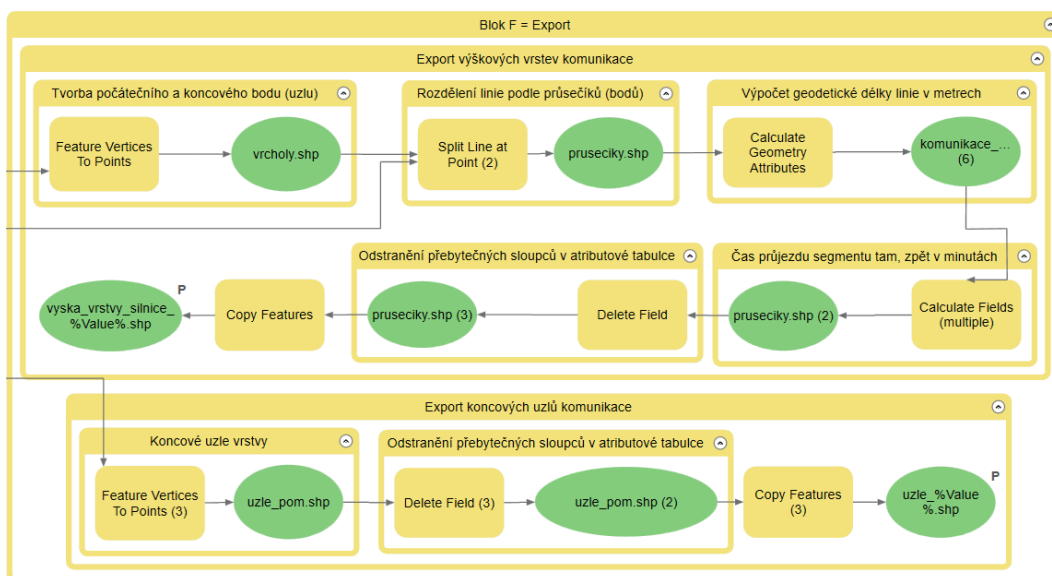
Vrstva *uzle_%Value%.shp* vzniká následujícím způsobem. Funkce *Feature Vertices To Points* nalezne pro konkrétní relativní vrstvu *Dangling vertex*. Jedná se o vrcholy, které jsou volně visící a nenavazuje na ně další linie. Vždy se jedná buď o konec komunikace, anebo to jsou konce, kde navazuje o stupeň nižší či vyšší relativní vrstva. V ojedinělých případech je rozdíl dva stupně. Tyto uzly jsou důležité pro napojení sítě v síťovém datasetu. Při exportu nové vrstvy je opět očištěna atributová tabulka.



Obr. 23: Příklad volně visících vrcholů, které značí konec komunikace



Obr. 24: Příklad volně visících vrcholů, na které navazují další dvě vrstvy

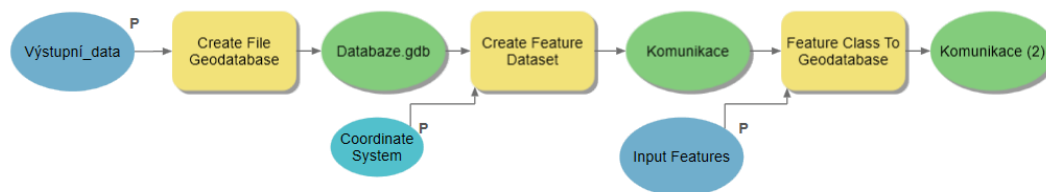


Obr. 25: Model – Sub model - Blok F (Export)

3.7 Vytvoření geodatabáze

Model *Geodatabase* je posledním modelem v této práci. Model vytvoří podle funkce *Create File Geodatabase* soubor *Databaze*. Povinným atributem tohoto nástroje je volba umístění nově vytvořené databáze v cílové cestě ...*Dopravní_analýza_BP*\Výstupní_data. Funkce *Create Feature Dataset* s povinným parametrem *Coordinate Systém* EPSG 5514 (S-JTSK Krovak East North) vytvoří dataset v databázi s názvem *Komunikace*. Poslední funkcí je *Feature Class To Geodatabase*, do které vstupuje poslední povinný parametr *Input Features*. Tedy všechny nově vytvořené vrstvy shapefile uložené v cestě ...*Dopravní_analýza_BP*\Pracovní_data*Komunikace_pro_Network_Dataset*.

Výstupem modelu je geodatabáze obsahující všechny uzly a výšky vrstev silnice v ...*Dopravní_analýza_BP*\Výstupní_data.

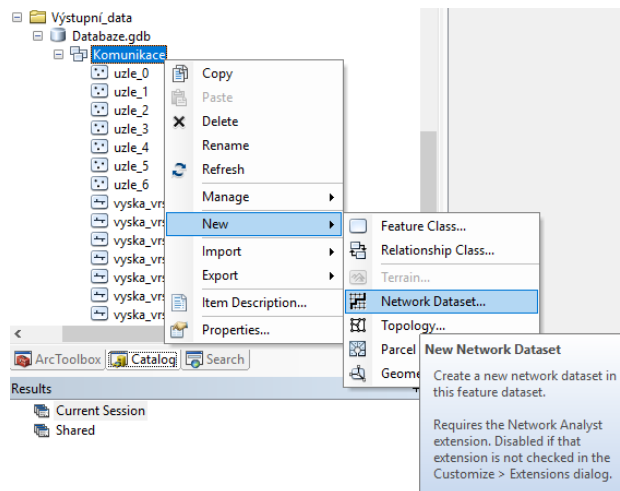


Obr. 26: Model – Geodatabase

3.8 Vytvoření síťového datasetu v ArcMap

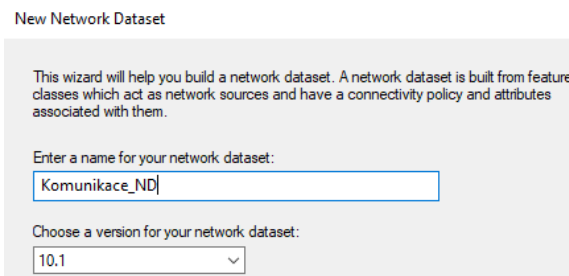
Po spuštění programu a založení nového výkresu si připojíme složku ...*Dopravní_analýza_BP*. Abychom mohli vytvořit síťový dataset, je zapotřebí zapnout extenzi *Network Analyst*. V horní liště zvolíme *Customize => Extensions*, zaklikneme extenzi *Network Analyst* a zavřeme pomocí tlačítka *Close*.

Nyní nalezneme složku *Výstupní_data*. V této složce rozklikneme do maxima vytvořenou databázi *Databaze*. Pravým tlačítkem myši klikneme na *Komunikace => New => Network Dataset....*



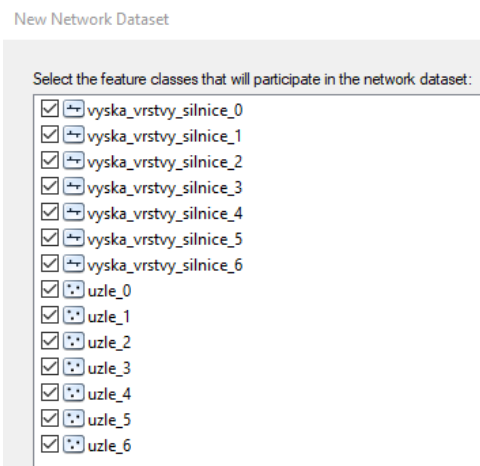
Obr. 27: Založení nového síťového datasetu

Zobrazí se nám dialogové okno, do kterého musíme zadat název datasetu. V našem případě ponecháme *Komunikace_ND* a klikneme na tlačítko *Další*.



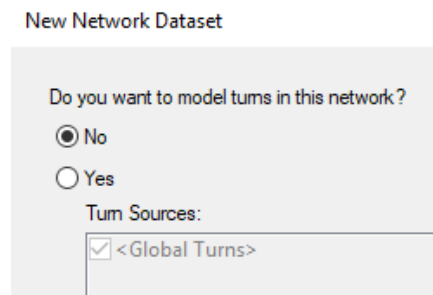
Obr. 28: Volba názvu síťového datasetu

Přes tlačítko *Select All* vybereme všechny třídy funkcí a klikneme na *Další*.



Obr. 29: Volba vstupujících tříd funkcí do síťového datasetu

V další kartě zvolíme, že nechceme vytvořit otočky.

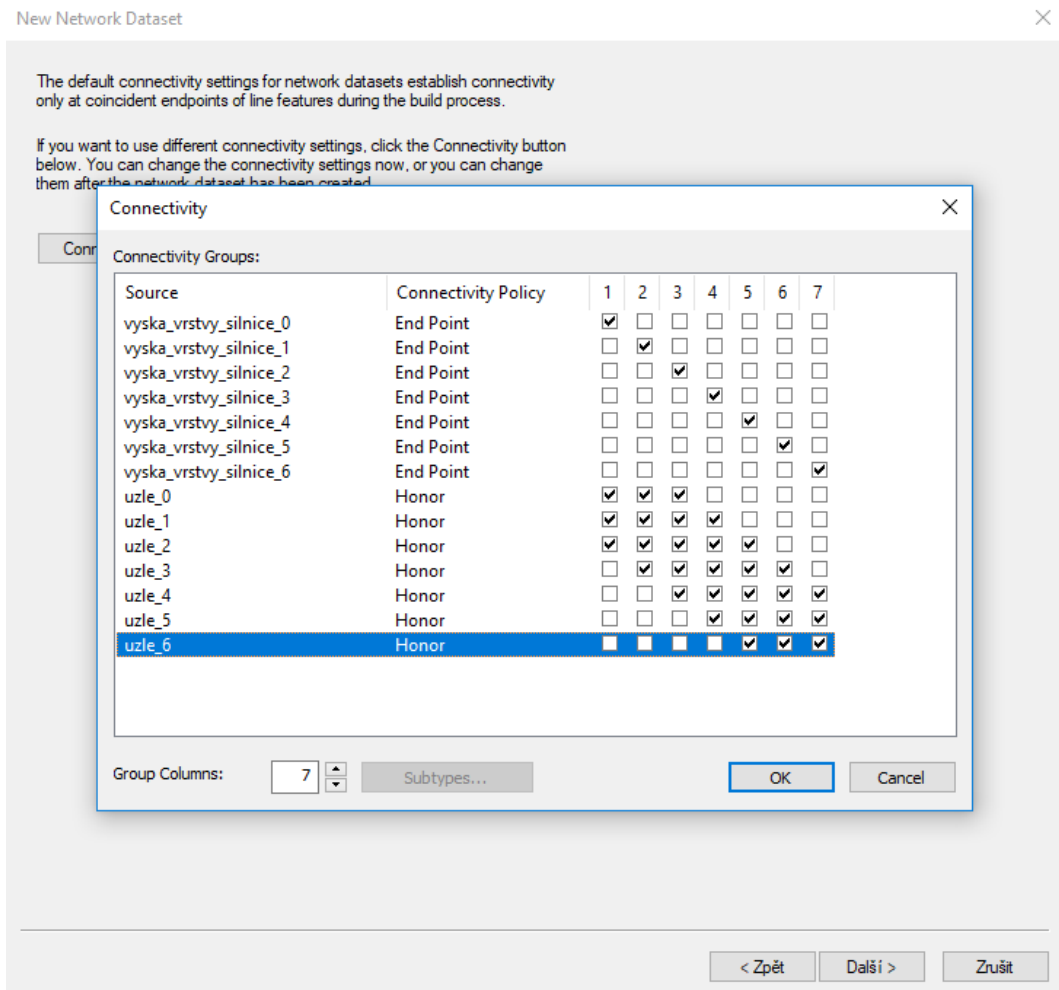


Obr. 30: Zadání pravidel otočení

Na řadu přichází nastavení konektivity. Klikneme na možnost *Connectivity...*, přepíšeme dole vlevo v *Group Columns* hodnotu 1 na 7, protože máme právě tolik relativních vrstev. Konektivita je založena na geometrických shodách koncových bodů linií, vrcholů linií a uzlů. Prohlédneme-li si nastavení níže na obrázku, tak zjistíme, že každá vrstva *vyska_vrstvy_silnice_X* je umístěna v jiné skupině. To z toho důvodu, že při generování síťového datasetu se vytvoří uzly (průsečíky) tam, kde dochází ke křížení linií (ve skutečnosti se tam nachází křižovatka). Zároveň jsou vytvořeny uzly i na konci linií, kde navazuje o stupeň nižší či vyšší relativní vrstva. Tímto se nám vygenerují správná křížení komunikací a nedojde tak k situaci, kdy by nás navigace nutila při odbočování skákat z mostu na zem na vedlejší komunikaci.

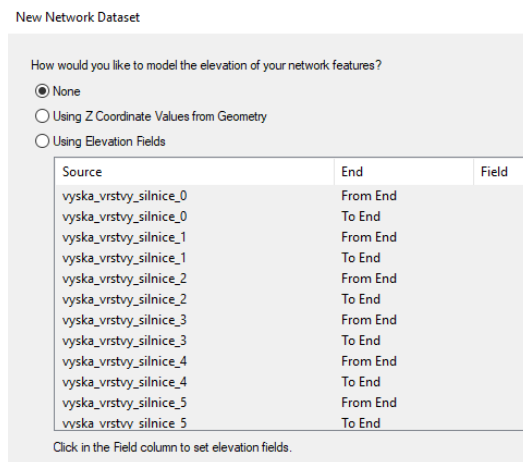
Celou síť spojují koncové uzly z *vyska_vrstvy_komunikace_X* a uzly s označením *uzle_X*, které jsou vždy ve skupině se stejnou vrstvou a pokud to lze, tak jsou umístěny i o dva stupně níže či výše relativní vrstvy. Konkrétně *vyska_vrstvy_komunikace_1* je umístěna ve skupině 2 a propojují ji *uzle_0*, *uzle_1*, *uzle_2* a *uzle_3* s *vyska_vrstvy_komunikace_0*, *vyska_vrstvy_komunikace_2* a *vyska_vrstvy_komunikace_3*.

Princip je obdobný situaci, kdy máme trasu metra a síť ulic. Předpokládejme, že nemůže dojít ke křížení ulice s trasou metra. Každou síť vygenerujeme zvlášť a propojíme ji vestibuly metra (vstup z ulice a nástupiště metra).



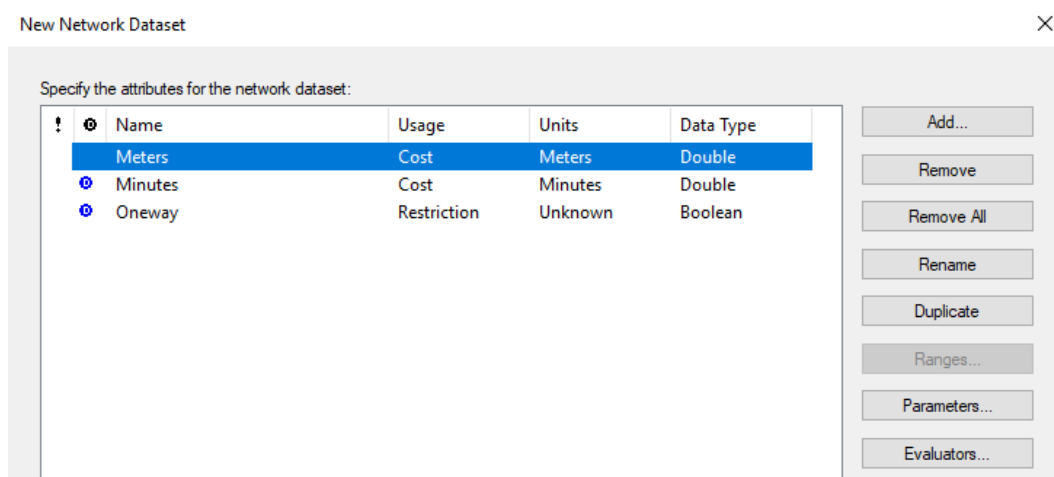
Obr. 31: Nastavení konektivity

Nastavení konektivity potvrdíme tlačítkem *OK* a *Další*. V následujícím kroku jsme dotázáni, zda chceme modelovat nadmořskou výšku. Pro náš případ zvolíme *None* a potvrdíme pomocí tlačítka *Další*.



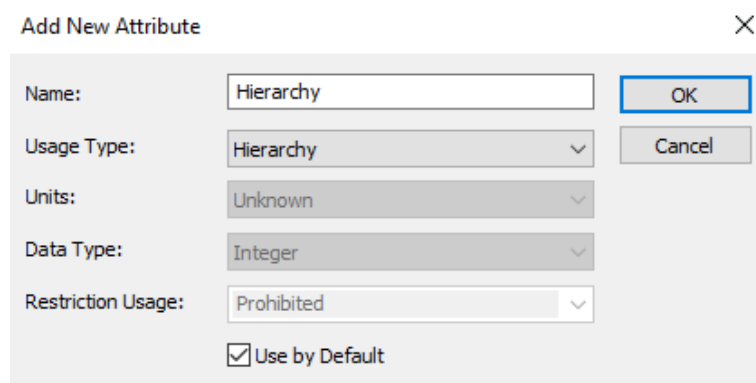
Obr. 32: Nastavení užití nadmořské výšky

Další dvě karty specifikují atributy a režimy cestování, které definují, jak se chodec, automobil, nákladní automobil nebo jiný dopravní prostředek bude pohybovat po síti. Díky modelu *Main model* máme už tři atributy přednastavené. Atribut *Meters* je atributem vzdálenosti, který určuje náklady na základě vzdálenosti. Atribut *Minutes* určuje náklady na základě času. Posledním atributem je atribut *Oneway*, který stanovuje omezení pro vozidla, aby jezdila pouze v povolených směrech.



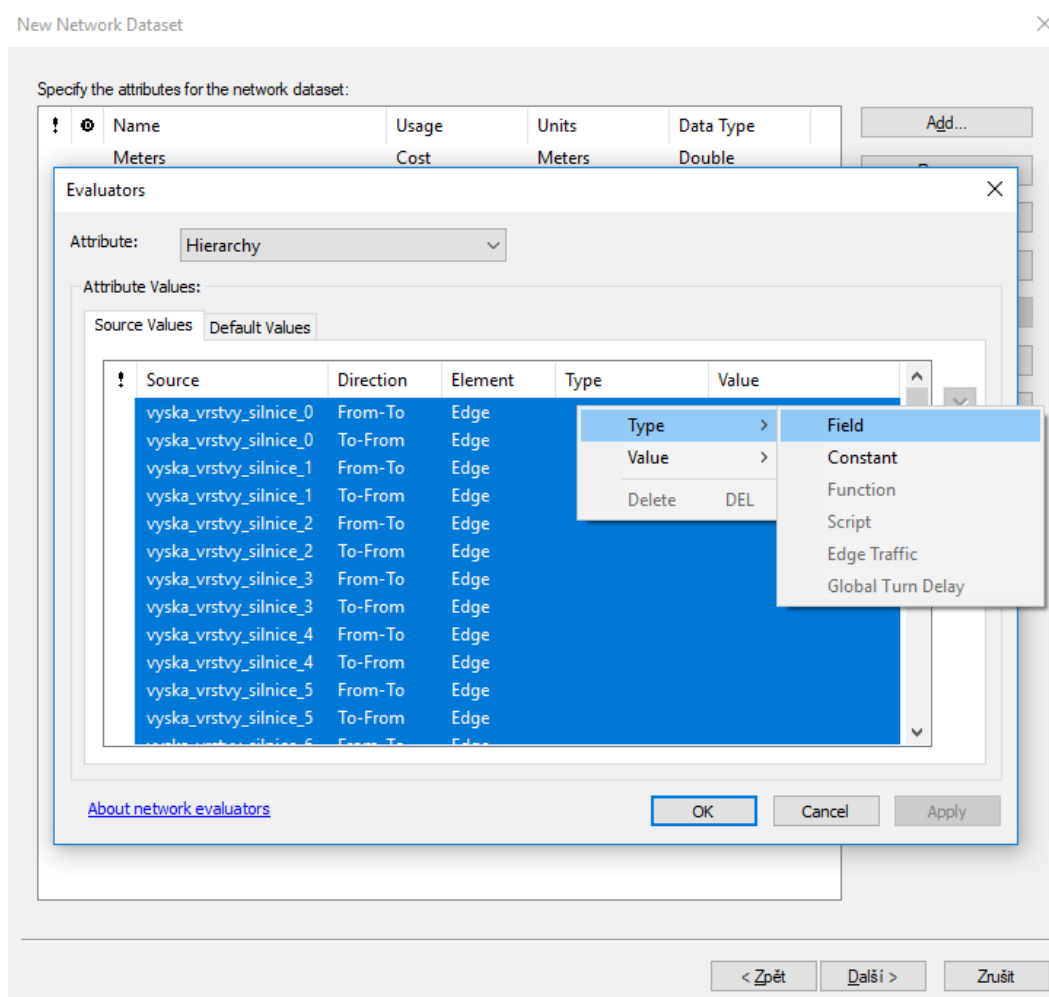
Obr. 33: Předvyplněná tabulka hodnotami ze sloupců atributové tabulky vytvořené v *Main model*

Naše data obsahují informace o hierarchii. Abychom je mohli využít, klikneme na tlačítko *Add...* a do textového pole napíšeme *Hierarchy* a potvrdíme *OK*.



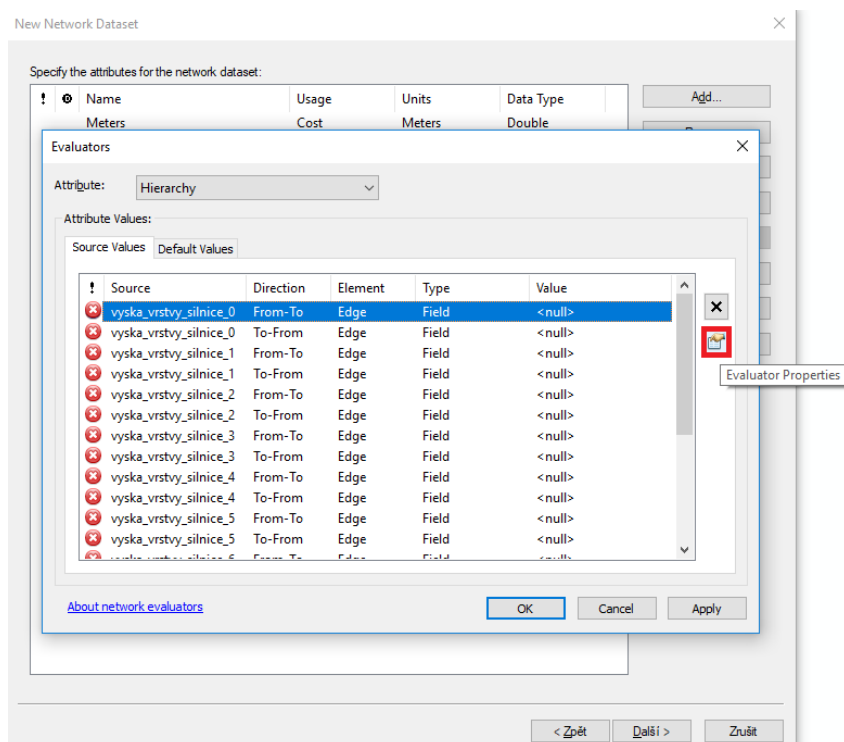
Obr. 34: Přidání nového atributu *Hierarchy*

V záložce atributu si označíme nově vytvořený atribut *Hierarchy* a klikneme na tlačítko *Evaluators*.... Klikneme na zdroj *vyska_vrstvy_silnice_0*, stiskneme klávesu *shift* a opět levým tlačítkem klikneme na poslední zdroj *vyska_vrstvy_silnice_6*. Tímto krokem označíme hromadně všechny zdroje *vyska_vrstvy_silnice_X* a pravým tlačítkem klikneme do označeného prostoru a zvolíme *Type => Field* jako je níže na uvedeném obrázku.



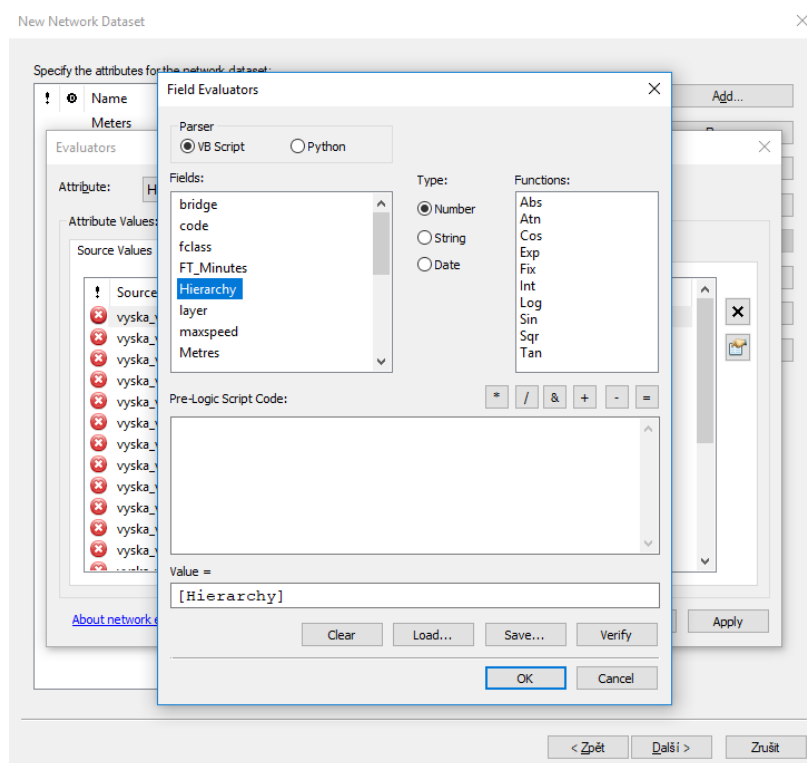
Obr. 35: Editace atributu *Hierarchy* v *Evaluators*

Označíme si první zdroj *vyska_vrstvy_silnice_0* a klikneme na ikonu *Evaluator Properties*, který je zvýrazněný v červeném rámečku dále na obrázku.



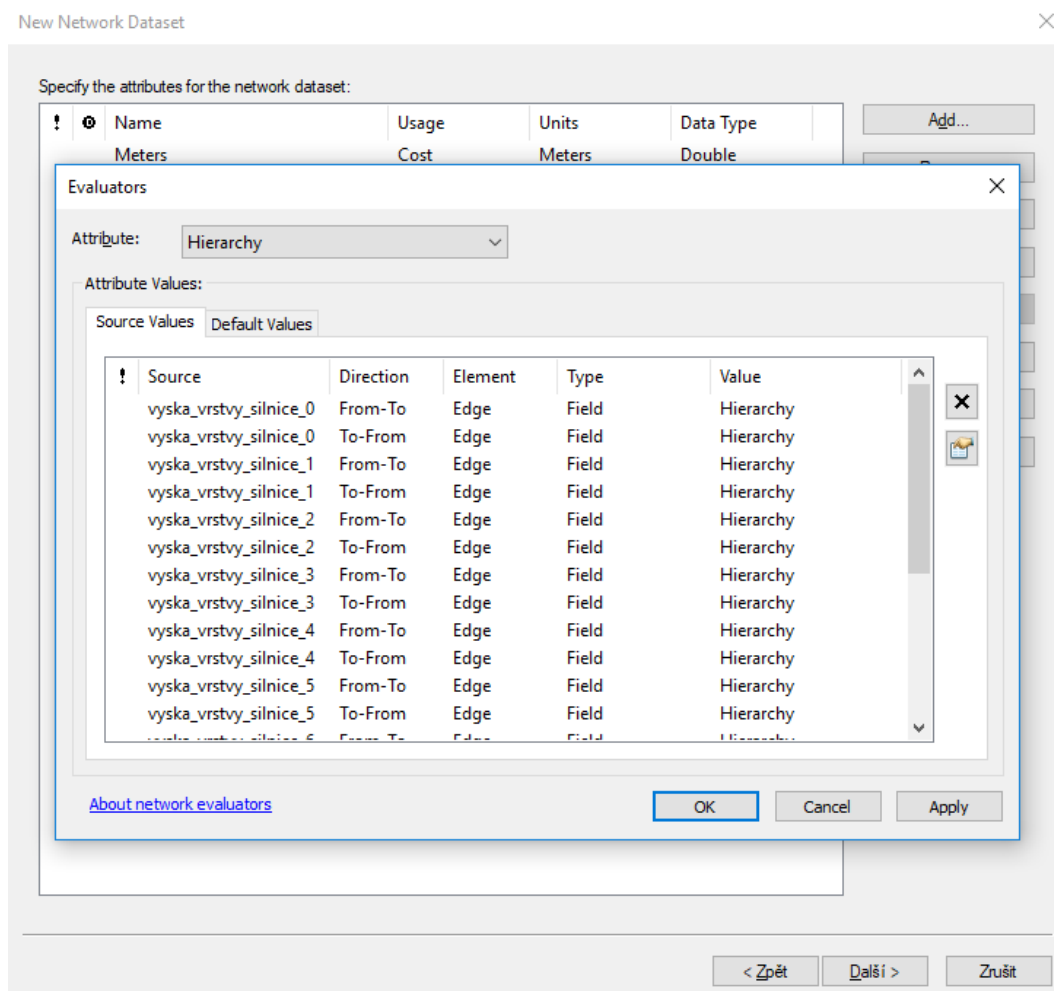
Obr. 36: Otevření Evaluator Properties v Evaluators

Ve Field Evaluators => Fields dvakrát klikneme na Hierarchy a potvrdíme OK.



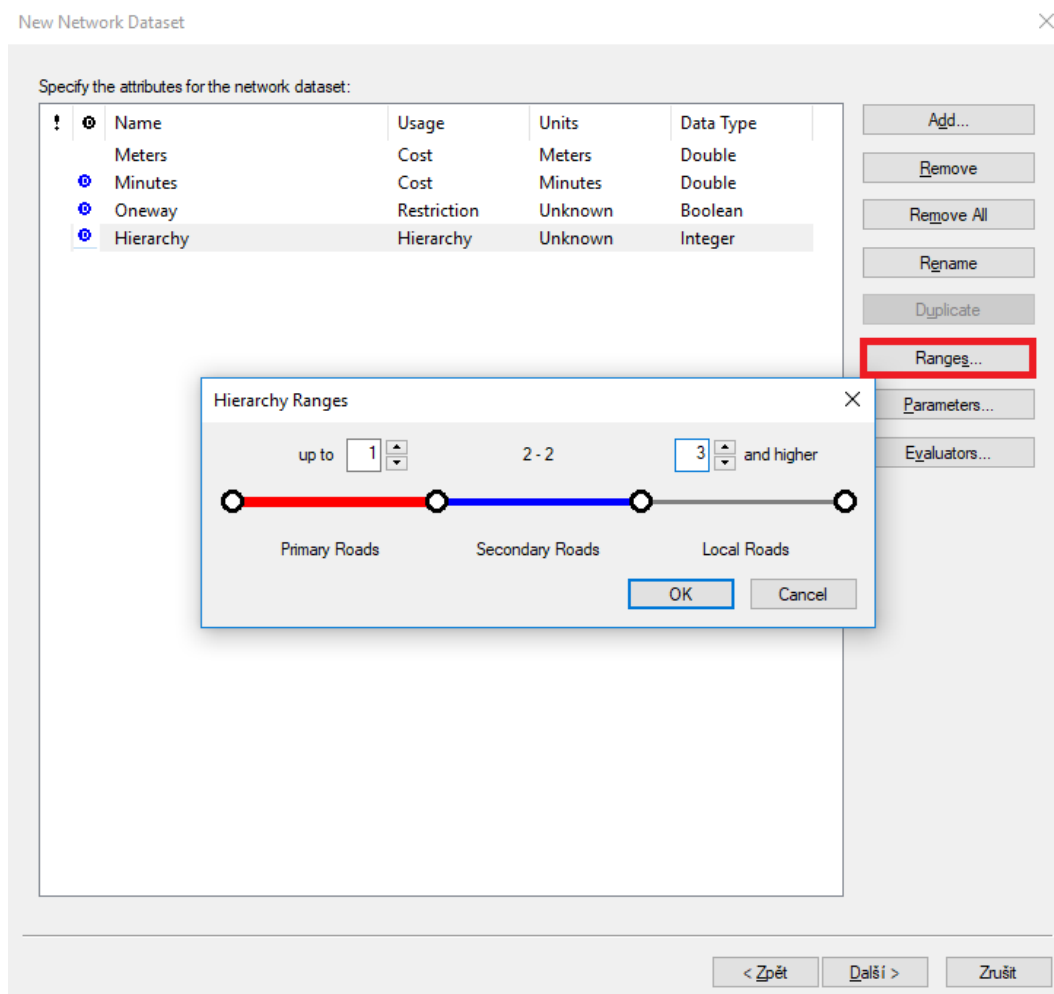
Obr. 37: Přiřazení sloupce Hierarchy ve Field Evaluators

Tento postup zopakujeme pro všechny zdroje *vyska_vrstvy_silnice_X*.
 Výsledný stav by měl odpovídat obrázku níže. V případě, že je všechno v pořádku,
 klikneme na *Apply* => *OK*.



Obr. 38: Výsledné nastavení zdrojů ve Evaluators

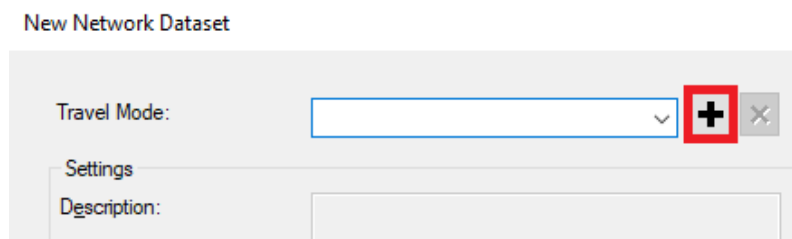
Ponecháme označený atribut *Hierarchy* a klikneme na *Rangers...* (červený rámeček v následujícím obrázku) a upravíme intervaly tak, aby *Primary Roads* = 1, *Secondary Roads* = 2, *Local Roads* = 3. Následně potvrdíme *OK* a zvolíme *Další*.



Obr. 39: Nastavení intervalu v kartě *Hierarchy Ranges*

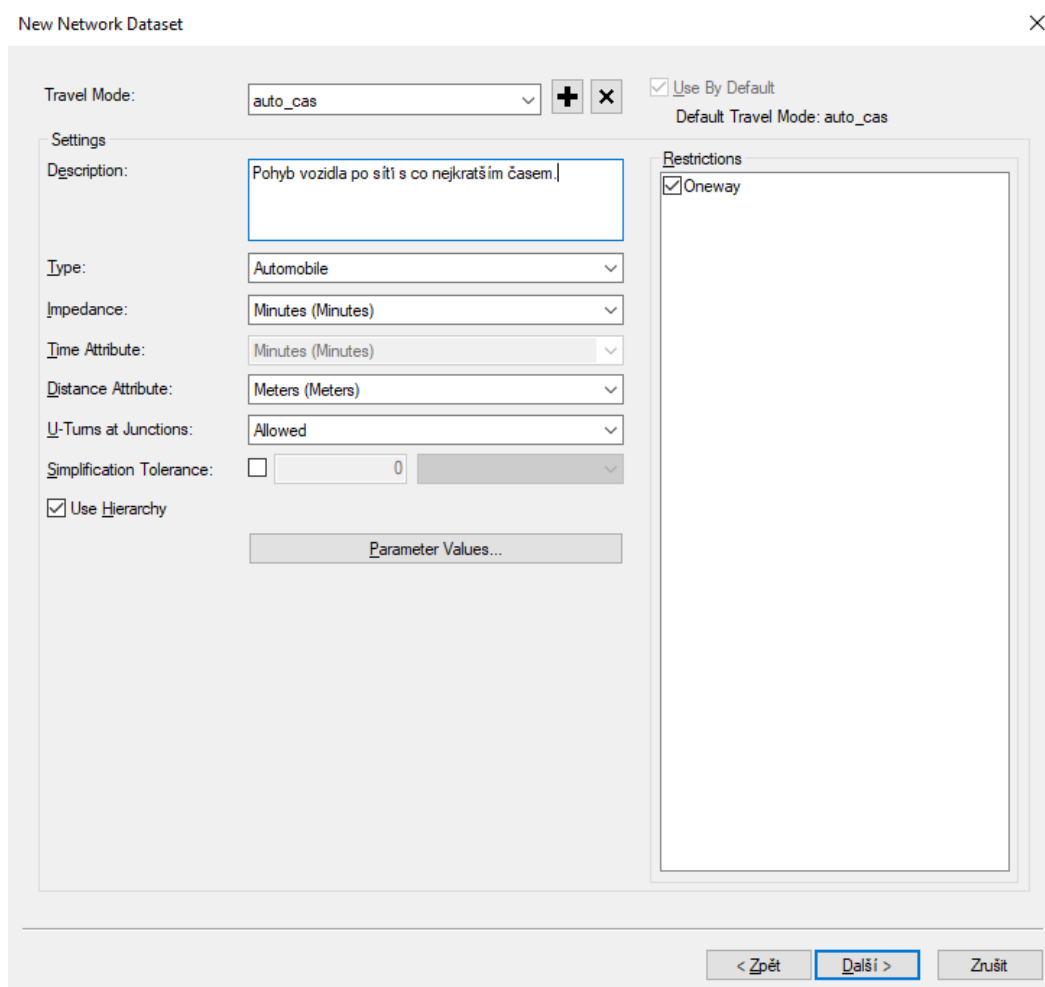
Vzhledem k tomu, že sestavujeme silniční síť, budeme se po ni pohybovat autem. Karta režim cestování *Travel Mode* nám umožňuje si nastavit režimy. Pokaždé, když provedeme analýzu sítě, zvolíme si předem nakonfigurovaný režim cestování. V našem případě to budou dva. Auto, které se chce z místa A do B dostat co nejrychleji, anebo chce urazit co nejkratší vzdálenost na své trase.

Klikneme na tlačítko přidat (červeně zvýrazněné na následujícím obrázku) a zobrazí se nám dialogové okno *Add New Travel Mode*. Do pole *Name* napíšeme *auto_cas* a potvrdíme *OK*.



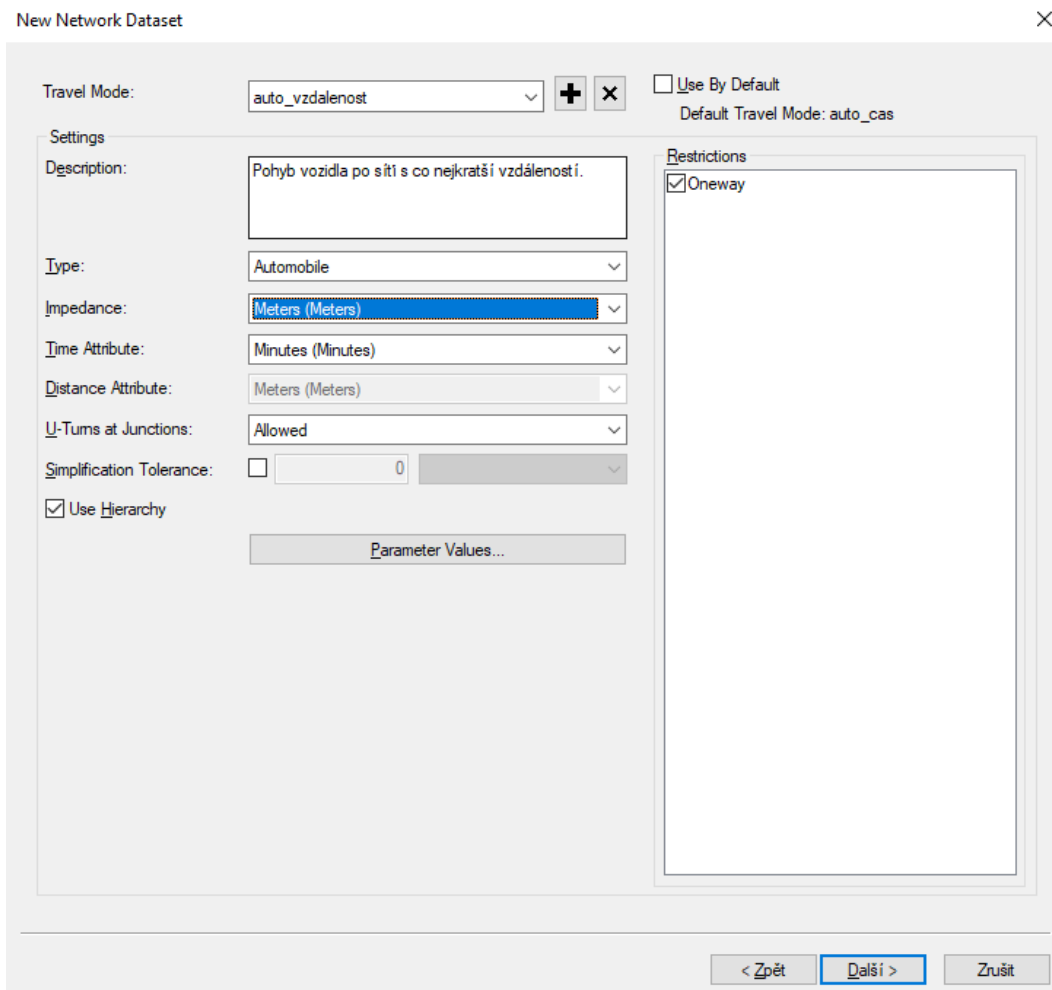
Obr. 40: Tlačítko Add New Travel Mode

Vše necháme předvyplněné a pokud chceme, můžeme vyplnit pole *Description*.



Obr. 41: Nastavení cestovního režimu pro auto s co nejkratší dobou jízdy

Nyní opět klikneme na dialogové okno *Add New Travel Mode*, do *Name* napíšeme *auto_vzdalenost* a v *Copy From* vybereme *<Network Defaults>*. Pokud chceme, můžeme opět vyplnit pole *Description*. Zde ovšem nesmíme zapomenout změnit *Impedance* na *Meters (Meters)*. Potvrdíme *OK*.



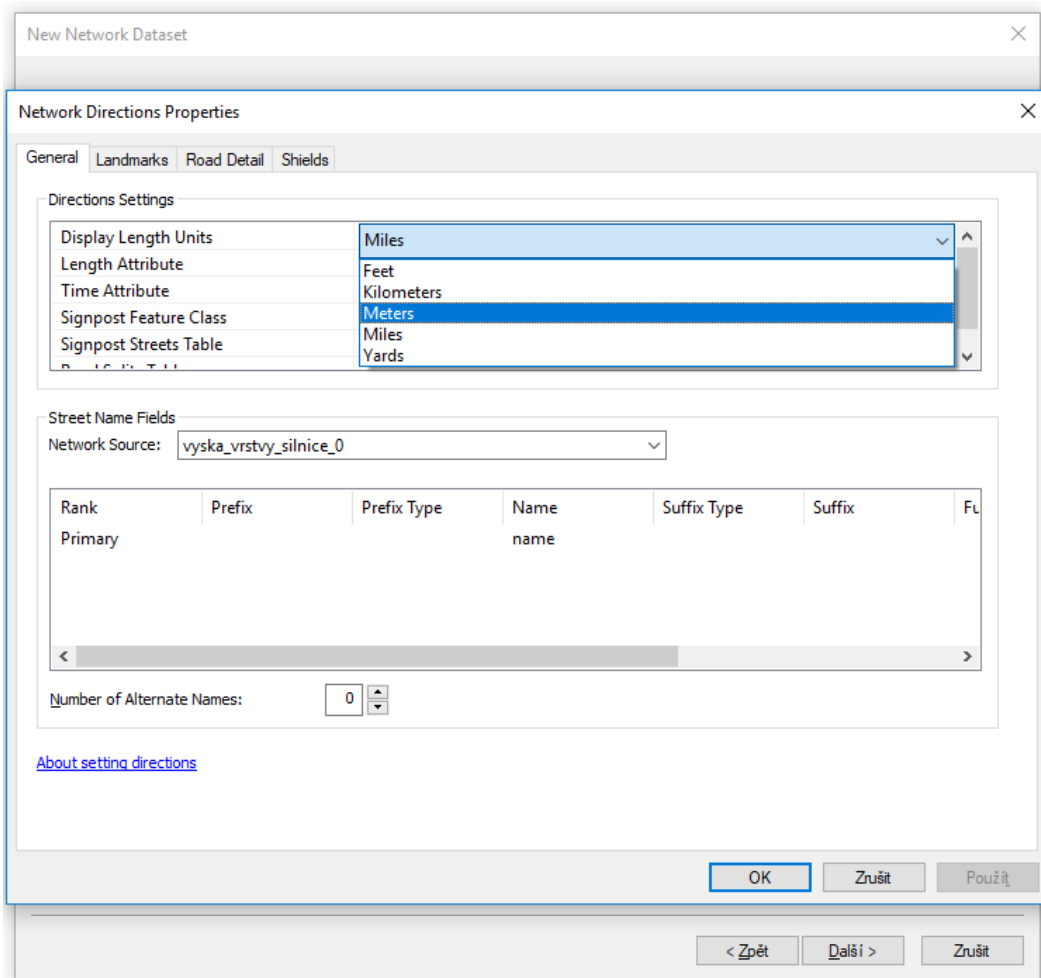
The screenshot shows the 'New Network Dataset' dialog box with the following settings:

- Travel Mode:** auto_vzdalenost
- Settings:**
 - Description:** Pohyb vozidla po síti s co nejkratší vzdáleností.
 - Type:** Automobile
 - Impedance:** Meters (Meters)
 - Time Attribute:** Minutes (Minutes)
 - Distance Attribute:** Meters (Meters)
 - U-Turns at Junctions:** Allowed
 - Simplification Tolerance:** 0
 - Use Hierarchy
- Restrictions:**
 - Oneway

Buttons at the bottom: < Zpět, Další >, Zrušit.

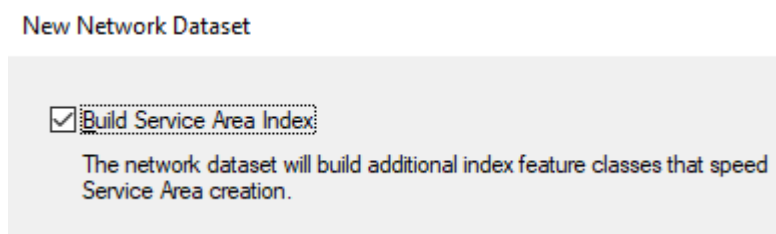
Obr. 42: Nastavení cestovního režimu pro auto s co nejkratší vzdáleností

V předposledním kroku vybereme možnost *Yes*, že chceme nastavit směr jízdy apod. Bude se nám to hodit při navigování auta. Ještě musíme v *Directions...* v kartě *General* bloku *Directions Settings* v *Display Length Units* přepnout *Miles* na *Meters* viz obrázek níže. Klikneme na *Použít => OK => Další*.



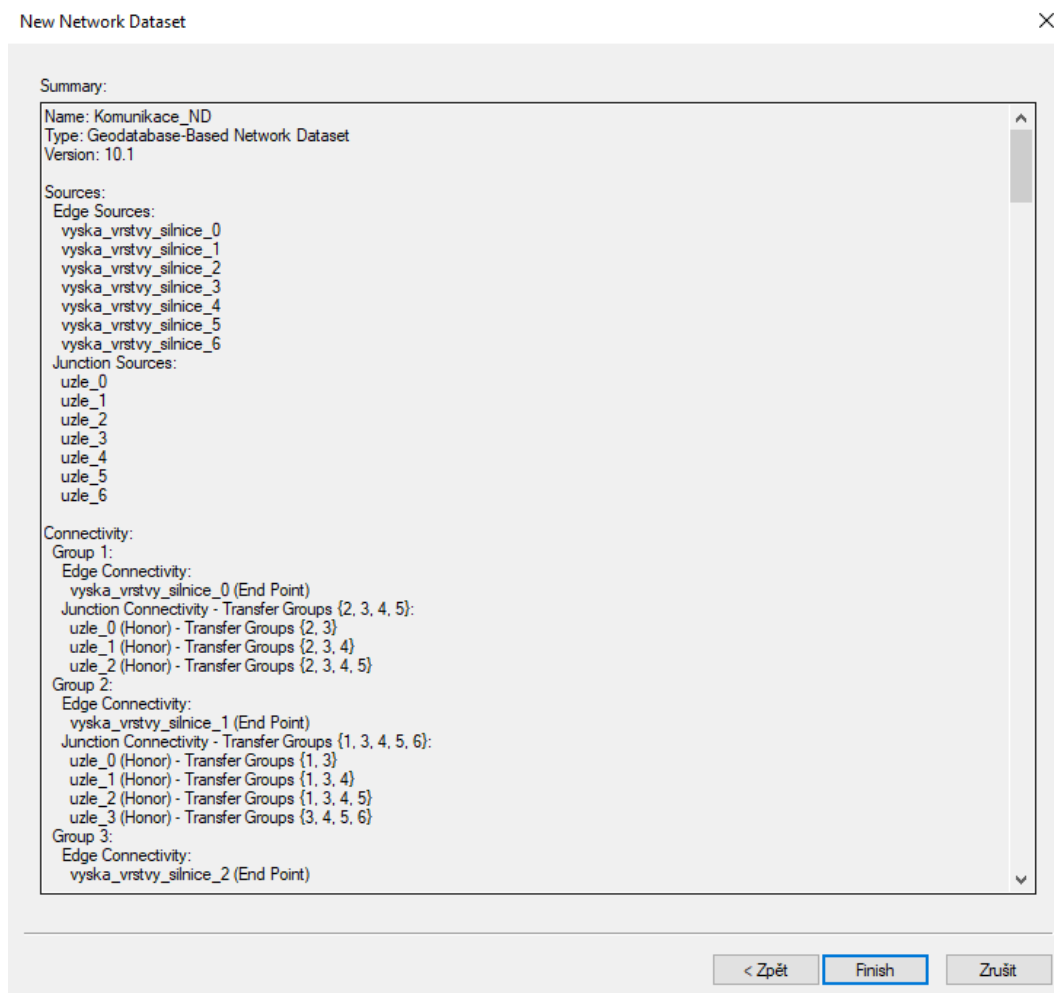
Obr. 43: Nastavení jednotek vzdálenosti na metry

V posledním kroku zaškrtneme možnost *Build Service Area Index*. Index oblasti služeb obecně poskytuje vylepšení analýzy snížením doby zpracování a zlepšením kvality výstupních polygonů.



Obr. 44: Zaškrtnutí možnosti *Build Service Area Index*

Před potvrzením tlačítkem *Finish* máme možnost si překontrolovat vše, co jsme si doposud nastavili. V případě, že jsme spokojeni a nechceme se vracet k úpravám, potvrdíme nastavení přes *Finish*.



Obr. 45: Shrnutí nastavení síťového datasetu

Po chvilce čekání na nás vyskočí dotaz *The new network dataset has been created. Would you like to build it now?* Potvrdíme ho tlačítkem *Ano*. Dále na nás vyskočí dotaz, zda chceme zobrazit v mapě všechny použité třídy prvků. Tímto končí vybudování síťového datasetu.

3.9 ArcGIS Online (Story Map Series)

Kategorie Story Map Series v ArcGIS Online nám umožňuje prezentovat tematickou sérii map ve webovém rozhraní. Sérii tematických map můžeme přirovnat tištěnému atlasu. Story Map Series nám nabízí tyto layouty: Tabbed layout, Bulleted layout a Side Accordion layout. Tabbed layout má umístěné mapy prostřednictvím záložek horizontálně v horní části aplikace. Bulleted layout je podobný Tabbed layout. Hlavní rozdíl spočívá ve stylu záložek, které jsou označeny číselně. Poslední Side Accordion layout zobrazuje mapy prostřednictvím záložek umístěných na pravé nebo levé straně webové aplikace. Textové okno obsahuje záložky, mezi kterými je nutné přepínat. Záložky zobrazují název motivu, což pomáhá k lepší orientaci.

Vytvořená aplikace je k dispozici po rozkliknutí [ZDE](#) nebo po načtení QR kódu uvedeného níže.



Obr. 46: QR kód odkazující na webovou aplikaci

Diskuze

V této části uvádím některé problémy, na které jsem v průběhu zpracování narazil a popisuji, jak se práce vyvíjela. Zabývám se i vlastním hodnocením práce, uvádím alternativní možnosti postupu a tipy řešení.

Na začátku bylo zapotřebí se zorientovat v problematice teorie grafu, síťových analýz a stavu řešení dopravy v zadané lokalitě. V průběhu podzimu 2018 jsem uvažoval nad směřováním a užitečností práce. Zjistil jsem, že se touto problematikou zabývá velmi malé množství bakalářských i diplomantských prací. Tato skutečnost zásadně ovlivnila směřování práce. Aby bylo možné vytvořit propracovanější analýzu, bylo zapotřebí najít vhodný zdroj dat a upravit ho.

V rámci bakalářské práce jsem zvládl vytvořit základní síťový dataset, který umí hledat nejkratší, resp. nejrychlejší cestu a zobrazit dostupnost v síti z hlediska vzdálenosti i času. ArcGIS ovšem umožňuje pracovat i se živými, popř. historickými daty provozu. V případě toho rozšíření je možné dělat sofistikovanější analýzy sítě. Představme si, že se chceme dostat z jednoho místa do druhého. V případě využití historických dat můžeme tak například zjistit, že je pro nás ve většině případech výhodnější trasa B v ranních hodinách, než trasa A. Ve večerních hodinách to může být pro změnu trasa A. To by například umožnilo se zamyslet, zda by nebylo výhodné zavést nový autobusový spoj, který by jezdil v ranních hodinách trasou B. Využití možnosti práce s daty intenzity dopravy je samozřejmě mnohem více. K tomu je ovšem zapotřebí získat potřebná data. V případě zadaného území spadá polovina oblasti do Středočeského kraje a polovina do Pražského kraje. Tím pádem některé silnice spravuje Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a. s. (TSK HMP), jiné Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD) a i mnohé další instituce, které je zapotřebí oslovit a požádat o data.

Zaujala mě společnost CEDA Maps a. s., která spravuje vlastní databázi vektorových mapových podkladů Česka a Slovenska. Participuje na tvorbě celoevropské bezševé navigační databáze vytvářené nadnárodní společností TomTom. Společnost dodává data řadě výrobců navigací. Kdybych chtěl zkusit

dělat síťovou analýzu jiným způsobem, pravděpodobně bych oslovil tuto společnost.

V nedávné době jsem objevil bakalářskou práci německé studentky Evy Zimmermannové, která se v roce 2010 zabývala automatickou přípravou dat pro analýzu sítě v ArcGIS z dat OpenStreetMap. V rámci své práce vytvořila prototypovou aplikaci, která je navržena tak, aby generovala dopravní sítě pro jakýkoliv stát. [27]

Z neznámého důvodu vrstva `gis_osm_roads_free.shp` ze serveru společnosti Geofabrik neobsahuje u všech silnic maximální povolenou rychlost. V samotných mapách OpenStreetMap je maximální povolená rychlost uvedena včetně dalších omezení, která také chybí v této vrstvě. V důsledku toho neodpovídají prováděné analýzy sítě zcela skutečnosti.

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zpracování analýzy dopravních dat v jihozápadní části příjezdu do Prahy. Byly stanoveny dílčí cíle, které pomohli směřovat zpracování práce k hlavnímu cíli.

V rámci práce jsem provedl úvahu nad výběrem vhodných dostupných dat pro vytvoření síťového datasetu. Vysvětlil jsem základy teorie grafu a popsal, jak se prakticky využívají v síťových analýzách. Vytvořil jsem modely, které editují vstupní data tak, aby bylo možné z nich vytvořit funkční síťový dataset. Podrobně jsem popsal postup zpracování upravených dat ze serveru společnosti Geofabrik pocházejících z OSM. Vytvořený projekt v ArcGIS Pro obsahující všechna data, vytvořené modely a síťový dataset z praktické části lze stáhnout [ZDE](#). V prostředí ArcGIS Online (odkaz [ZDE](#)) prezentuji tematické mapy silniční sítě, která vychází z upravených dat síťového datasetu.



Obr. 47: QR kód odkazující na webovou aplikaci

Vizí do budoucna je se dále zabývat síťovou analýzou. Rád bych vylepšil dataset tak, aby pracoval i s reálnými daty intenzity dopravy.

Použité zdroje

- [1] BŘEHOVSKÝ, Martin a Karel JEDLIČKA, ŠÍMA, Jiří, ed. ÚVOD DO GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ [online]. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/ugi/e-skripta/ugi.pdf>
- [2] *Liberecký kraj: Co je GIS?* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://gis.kraj-lbc.cz/co-je-gis>
- [3] *Geoportál ČÚZK: ZABAGED® - polohopis - úvod* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1apfyusymrr0xuvv1uho1rhh\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(1apfyusymrr0xuvv1uho1rhh))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)
- [3] *Geoportál ČÚZK: Data50 a Data200 jako otevřená data* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ldx12oen2mkx34k33ztrrdh\)\)/Default.aspx?mode=News&head_tab=sekce-02-gp&newsTyp=id&newsID=2891](https://geoportal.cuzk.cz/(S(ldx12oen2mkx34k33ztrrdh))/Default.aspx?mode=News&head_tab=sekce-02-gp&newsTyp=id&newsID=2891)
- [4] In: *Wikipedia: OpenStreetMap* [online]. 2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>
- [5] WEAIT, Richard. *OpenStreetMap Blog: OpenStreetMap data license is ODbL* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://blog.openstreetmap.org/2012/09/12/openstreetmap-data-license-is-odbl/>
- [6] *OpenStreetMap.cz* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://openstreetmap.cz/>
- [7] *GEOFABRIK downloads: OpenStreetMap Data Extracts* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://download.geofabrik.de/>

- [8] MAŠTEROVÁ, Ludmila. *Teorie grafů* [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/fyddw/BP_L._Masterova.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav matematiky a statistiky. Vedoucí práce RNDr. Pavel Šišma, Dr.
- [9] DEMEL, Jiří. *Grafy a jejich aplikace*. Praha: Akademie věd České republiky, 2002. ISBN 80-200-0990-6.
- [10] KAINZ, Wolfgang. *The Mathematics of GIS* [online]. 2.1. Universitätsstraße 7, A-1010 Vienna, Austria, 2010 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://homepage.univie.ac.at/Wolfgang.Kainz/Lehrveranstaltungen/15th_Nordic_Summer_School/The_Mathematics_of_GIS_Draft.pdf
- [11] *Historie teorie grafů a jejich aplikace* [online]. Mendelova univerzita v Brně [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=22289
- [12] In: *Wikipedia: Sedm mostů města Královce* [online]. 2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sedm_most%C5%AF_m%C4%9Bsta_Kr%C3%A1lovce
- [13] JIROVSKÝ, Lukáš. *TEORIE GRAFŮ: Matematická definice grafu* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/matematicka-definice-grafu.php>
- [14] In: *Wikipedia: Orientovaný graf* [online]. 2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Orientovan%C3%BD_graf

- [15] TESAŘÍK, Vladislav. *Tvorba navigace v rámci budov MU* [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/qskmv/dp.pdf>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Mgr. Martin Vytrhlík.
- [16] In: *Wikipedia: Esri* [online]. 2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Esri>
- [17] *Školení Úvod do (Open Source) GIS: Vektorová data* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://webgama.fsv.cvut.cz/user/landa/gismentors/open-source-gis/_build/html/formaty/vektor.html
- [18] SLADKÝ, Jakub. *Síťové analýzy v GIS pro složky IZS* [online]. Plzeň, 2009 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://kgm.zcu.cz/studium/ZaverecnePrace/2009/Sladky__Sitove_analyzy_v_GIS_pro_slozky_IZS__DP.pdf. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky. Vedoucí práce Ing. Karel Jedlička.
- [19] *ESRI Shapefile Technical Description* [online]. USA, 1998 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>
- [20] *ArcGIS for Desktop: What is a coverage?* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/coverages/what-is-a-coverage.htm>
- [21] TEKNOMO, Kardi. *Revoledu: GIS Vector Data* [online]. 2015 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://people.revoledu.com/kardi/tutorial/GIS/GISVectorData.htm>

- [22] *ArcGIS for Desktop: What are geometric networks?* [online]. 2016 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/geometric-networks/what-are-geometric-networks-.htm>
- [23] *ArcGIS Desktop: What is the ArcGIS Network Analyst extension?* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst-.htm>
- [24] *Esri: ArcGIS Network Analyst* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-network-analyst/overview>
- [25] PANTŮČKOVÁ, Tereza. *SÍŤOVÉ ANALÝZY V GIS* [online]. Praha, 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2013_DP_Pantuckova_Sitove_analyzy_v_GIS.pdf. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, obor geoinformatika. Vedoucí práce Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
- [26] *ArcGIS Resource Center: Network dataset concepts* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//004700000008000000>
- [27] ZIMMERMANN, Eva. *OpenStreetMap in ArcGIS:: Automatisierte Datenaufbereitung für Netzwerkanalysen* [online]. Kranzberg, 2010 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.peterseva.de/Bachelor-Thesis/Bachelor-Thesis.pdf>. Bachelor-Thesis. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Fakultät für Geomatik, Fachbereich Kartographie und Geomatik. Vedoucí práce Prof. Dr. Anne Rauner.

Seznam obrázků

Obr. 1: Příklad průběhu linií ZABAGED® nad snímkem Ortofota (Pražský okruh).....	15
Obr. 2: Příklad průběhu linií OpenStreetMap nad snímkem Ortofota (Pražský okruh).....	15
Obr. 3: Schéma sedmi mostů přes řeku Pregole ve městě Königsberg	16
Obr. 4: Zobrazení ostrova a břehů řeky jako body, mosty jako linie	17
Obr. 5: Příklady hran	18
Obr. 6: Silniční síť, kde vrcholy představují města a hrany jsou silnice.	19
Obr. 7: Silniční síť, kde vrcholy představují silnice a hrany jsou města.	19
Obr. 8: Orientovaný a neorientovaný graf	20
Obr. 9: Zadání orientovaného a neorientovaného grafu	24
Obr. 10: Maticový zápis orientovaného grafu	24
Obr. 11: Maticový zápis neorientovaného grafu	24
Obr. 12: Příklad propojení sítě ulic a metra pomocí vstupů do metra	32
Obr. 13: Okno Map Properties s nastaveným souřadnicovým systémem	35
Obr. 14: Nastavení všech parametrů funkce Create Feature Class.....	36
Obr. 15: Model - Intersect.....	38
Obr. 16: Model – Main model - Blok A (vstupní data)	40
Obr. 17: Model – Main model - Blok B (Reklasifikace maxspeed).....	41
Obr. 18: Model – Main model - Blok C (Editace dat).....	43
Obr. 19: Model – Main model - Blok D (Sub model)	44
Obr. 20: Model – Sub model - Blok E (Výběr podle sloupce layer = stejná hodnota)	44
Obr. 21: Příklad složené linie před úpravou (ulice Fuchsova)	46
Obr. 22: Příklad jednotlivých linií po úpravě (ulice Fuchsova)	46
Obr. 23: Příklad volně visících vrcholů, které značí konec komunikace	47
Obr. 24: Příklad volně visících vrcholů, na které navazují další dvě vrstvy	47
Obr. 25: Model – Sub model - Blok F (Export).....	47
Obr. 26: Model – Geodatabase	48
Obr. 27: Založení nového síťového datasetu	49
Obr. 28: Volba názvu síťového datasetu.....	49

Obr. 29: Volba vstupujících tříd funkcí do síťového datasetu.....	49
Obr. 30: Zadání pravidel otočení	50
Obr. 31: Nastavení konektivity	51
Obr. 32: Nastavení užití nadmořské výšky	51
Obr. 33: Předvyplněná tabulka hodnotami ze sloupců atributové tabulky vytvořené v Main model	52
Obr. 34: Přidání nového atributu Hierarchy	52
Obr. 35: Editace atributu Hierarchy v Evaluators.....	53
Obr. 36: Otevření Evaluator Properties v Evaluators	54
Obr. 37: Přiřazení sloupce Hierarchy ve Field Evaluators	54
Obr. 38: Výsledné nastavení zdrojů ve Evaluators.....	55
Obr. 39: Nastavení intervalu v kartě Hierarchy Ranges	56
Obr. 40: Tlačítko Add New Travel Mode.....	57
Obr. 41: Nastavení cestovního režimu pro auto s co nejkratší dobou jízdy	57
Obr. 42: Nastavení cestovního režimu pro auto s co nejkratší vzdáleností	58
Obr. 43: Nastavení jednotek vzdálenosti na metry	59
Obr. 44: Zaškrtnutí možnosti Build Service Area Index	59
Obr. 45: Shrnutí nastavení síťového datasetu	60
Obr. 46: QR kód odkazující na webovou aplikaci.....	61
Obr. 47: QR kód odkazující na webovou aplikaci.....	64

Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání ZABAGED® - polohopis a OpenStreetMap (OSM)	14
Tab. 2: Zápis seznamu vrcholů a hran.....	25
Tab. 3: Zápis seznamu vrcholů a seznamu okolí vrcholů	25
Tab. 4: SQL výraz pro výběr komunikace	40
Tab. 5: Python kód reklasifikace atributu layer a Hierarchy.....	42

Seznam definic

Def. 1: Definice grafu.....	18
Def. 2: Množina hran jako podmnožina sjednocení tří množin	18
Def. 3: Orientovaný a neorientovaný graf, symetrizace grafu	20
Def. 4: Značení hran a vrcholů.....	21
Def. 5: Izomorfismus.....	21
Def. 6: Skóre grafu	21
Def. 7: Podgraf	21
Def. 8: Úplný graf	21
Def. 9: Sled délky, sled uzavřený, sled otevřený	21
Def. 10: Tah.....	22
Def. 11: Cesta.....	22
Def. 12: Souvislý graf	22
Def. 13: Komponenta souvislosti grafu.....	22
Def. 14: Kružnice délky, cyklus.....	22
Def. 15: Les, strom.....	22
Def. 16: Minimální (nejkratší) cesta	22
Def. 17: Matice sousednosti	23

Seznam příloh

Obsah DVD:

Složka Dopravní_analýza_BP obsahující:

- Dopravní_analýza_BP.gdb
- ImportLog
- Index
- Pracovní_data
 - Editace_komunikace
 - *shapefile soubory*
 - Komunikace_pro_Network_Dataset
 - *shapefile soubory*
 - Mapový_rám
 - *shapefile soubory*
 - Ořez
 - *shapefile soubory*
 - Transformace
 - *shapefile soubory*
- Vstupní_data
 - czech_republic_latest_free
 - *shapefile soubory*
- Výstupní_data
 - Databaze.gdb
 - *shapefile soubory*
- Dopravní_analýza_BP.aprx
- Dopravní_analýza_BP.tbx
 - Geodatabase
 - Intersect
 - Komunikace
 - Main model
 - Sub model