



Kartografické modelování

VIII – síťové analýzy vzdáleností

jaro 2022

Petr Kubíček

kubicek@geogr.muni.cz

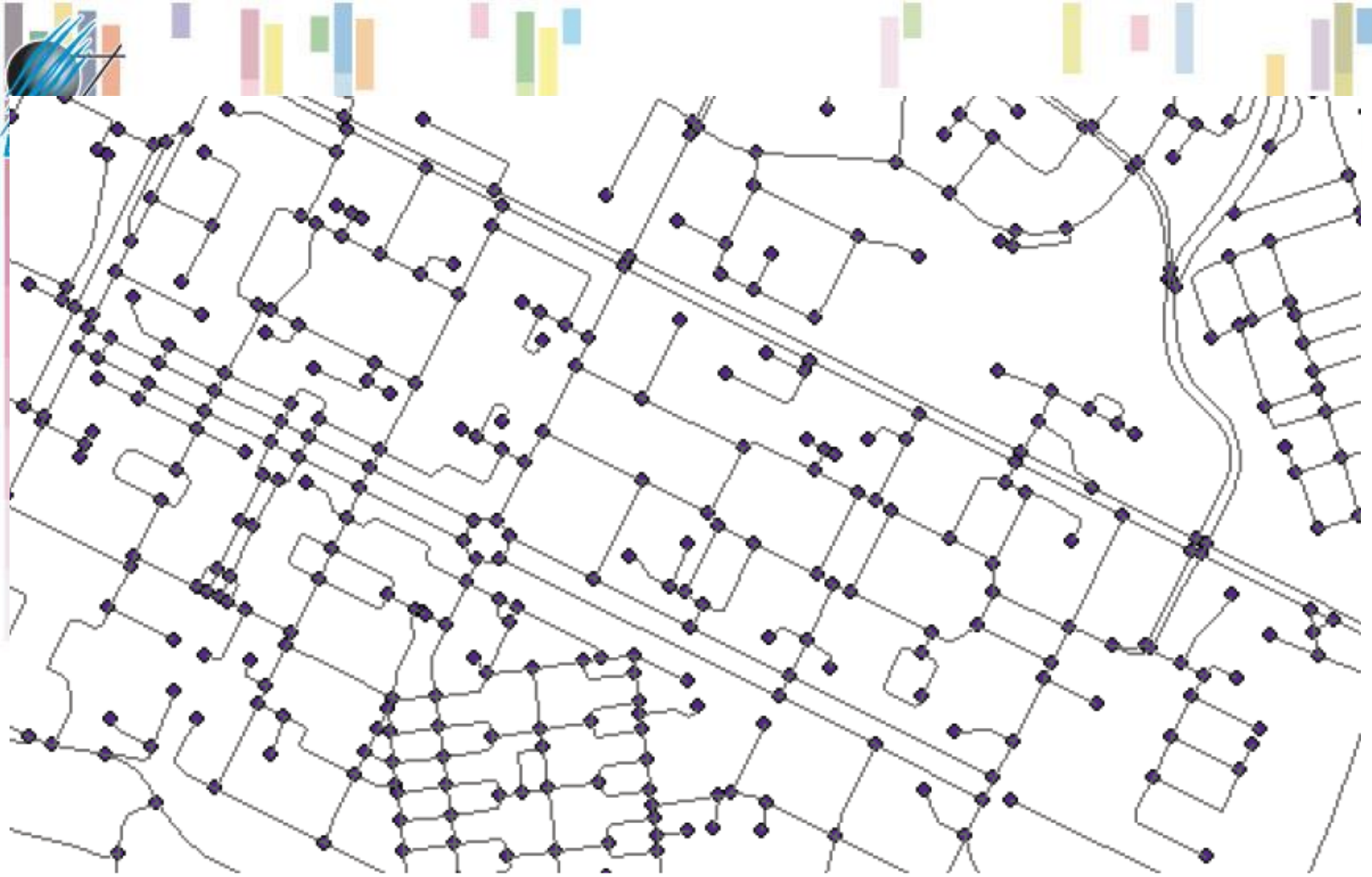
**Laboratory on Geoinformatics and Cartography (LGC)
Institute of Geography
Masaryk University
Czech Republic**



Analýzy nad vektorovou sítí

- **Analýzy sítí jsou významnou oblastí aplikace GIS.**
- **V podstatě se jedná opět o hledání nejkratší vzdálenosti (nejmenšího nákladu), ale s tím rozdílem, že sítě jsou vektorovou reprezentací.**
- **Sít' tvoří (orientovaný) ohodnocený graf, skládající se z uzlů (průsečíků) a hran (linií).**

- Před využíváním síťových analýz je nutné vytvořit všechny datové struktury, které jsou pro pozdější analýzy nutné – tedy vytvořit síť.
- Postup tvorby sítě:
 - Je třeba **získat liniovou vrstvu**, nad kterou budou analýzy prováděny (ulice, rozvody, kanalizace).
 - Tato data musí být **topologicky čistá** (hlavně musí splňovat **konektivitu a znalost směru**) – nutná a v zásadě postačující podmínka pro analýzy sítí.
 - Následně lze síti přiřadit **pravidla**, která určují, **jak je možné se pohybovat mezi jednotlivými uzly**.
 - Přiřazení dalších **atributů** pro **výstupy** z analýz (zejména **itineráře**) – přidání jmen ulic, významných bodů (adres), názvy křižovatek, ...



Dopravní síť města Ostrava (Horák a kol. 2015)
Kartografické modelování



Pravidla pohybu po síti

Pravidla uzlová a hranová:

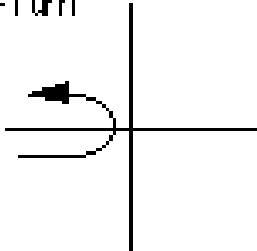
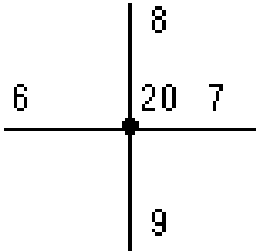

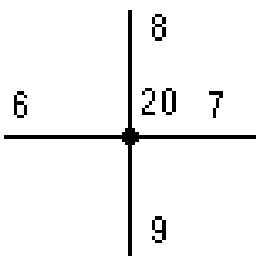

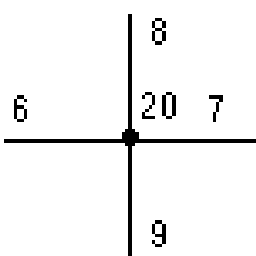
- **Uzlová pravidla** definují směr pohybu uzlem.
 - Například, pokud budu mít uliční síť, na některých křižovatkách není povoleno odbočení doleva či doprava.
 - Náklady na odbočení v různých směrech.
- **Hranová pravidla** definují směr a rychlost pohybu po hraně.
 - Ulice mohou být jednosměrné, uzavřené, s nadefinovanou maximální a průměrnou rychlostí.
- **Pravidla mohou definovat pro různé druhy dopravy, pro různou denní dobu, ... atd.**
- **Monomodální x multimodální síť.**

Hranová pravidla

- **technická**
 - počet pruhů;
 - šířka vozovky;
 - typ povrchu vozovky;
 - maximální povolená výška pro vozidla.
- **dopravní**
 - typ komunikace;
 - funkční kategorizace (např. třída komunikace);
 - maximální povolená rychlost;
 - reálná rychlost průjezdu;
 - jednosměrný provoz;
 - **impedance** = odpor (typicky **náklady** pro **projetí** danou **hranou** v různých směrech či jednotkové náklady, nemusí být shodné v různých směrech – např. cesta do kopce a z kopce).

Uzlová pravidla

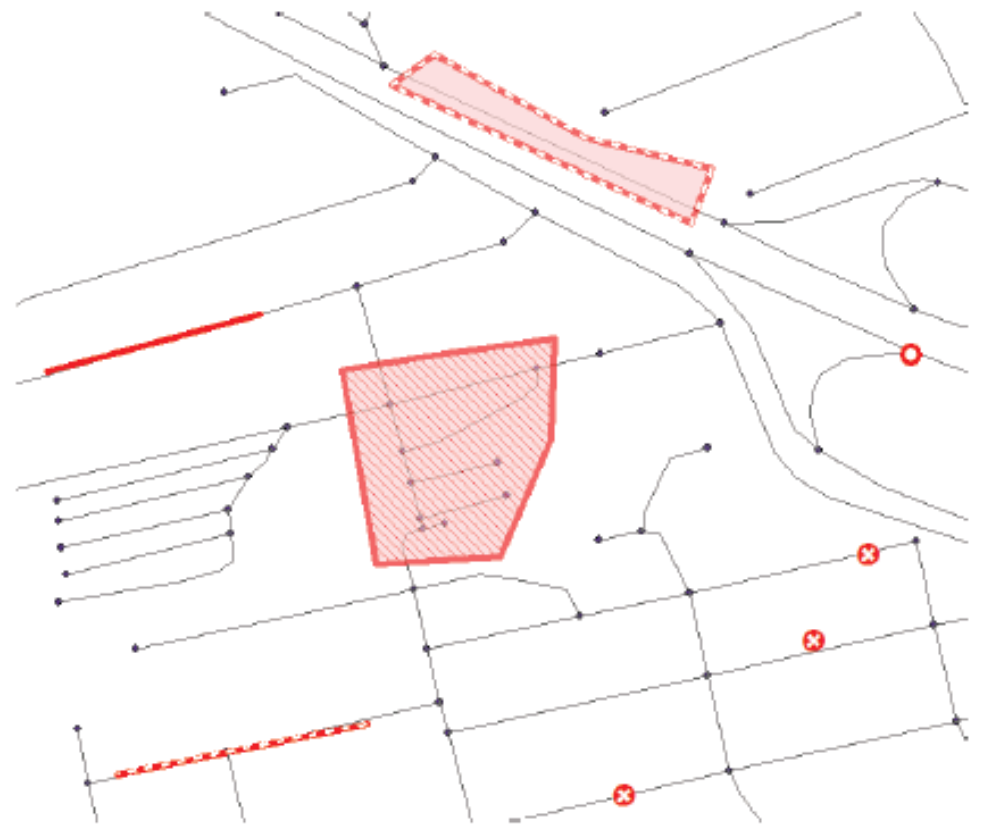
0 = No Impedance
-1 = No Turn

Situation	Representation	Turntable																				
U-Turn 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE#</th> <th>FROM ARC#</th> <th>TO ARC#</th> <th>ANGLE</th> <th>TIME IMPEDANCE (seconds)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>180</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	NODE#	FROM ARC#	TO ARC#	ANGLE	TIME IMPEDANCE (seconds)	20	6	6	180	20										
NODE#	FROM ARC#	TO ARC#	ANGLE	TIME IMPEDANCE (seconds)																		
20	6	6	180	20																		
Stop sign 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE#</th> <th>FROM ARC#</th> <th>TO ARC#</th> <th>ANGLE</th> <th>TIME IMPEDANCE (seconds)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>90</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>-90</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	NODE#	FROM ARC#	TO ARC#	ANGLE	TIME IMPEDANCE (seconds)	20	6	7	0	15	20	6	8	90	20	20	6	9	-90	10
NODE#	FROM ARC#	TO ARC#	ANGLE	TIME IMPEDANCE (seconds)																		
20	6	7	0	15																		
20	6	8	90	20																		
20	6	9	-90	10																		
No Right Turn 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE#</th> <th>FROM ARC#</th> <th>TO ARC#</th> <th>ANGLE</th> <th>TIME IMPEDANCE (seconds)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>-90</td> <td>-1</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>90</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	NODE#	FROM ARC#	TO ARC#	ANGLE	TIME IMPEDANCE (seconds)	20	6	9	-90	-1	20	6	7	0	5	20	6	8	90	10
NODE#	FROM ARC#	TO ARC#	ANGLE	TIME IMPEDANCE (seconds)																		
20	6	9	-90	-1																		
20	6	7	0	5																		
20	6	8	90	10																		

Bariéry typicky reprezentují omezení v síti, mohou ale také reprezentovat hustotu dopravy v síti a tím upravovat náklady za překonání hran a uzlů.

- **zcela znemožňující průjezd** (např. kompletní uzavírka komunikace),
- **průjezdné, ale zvyšující náklady** na překonání bariéry (např. Střídavě jednosměrný provoz řízený semaforem v rámci komunikace).

Kartografické modelování



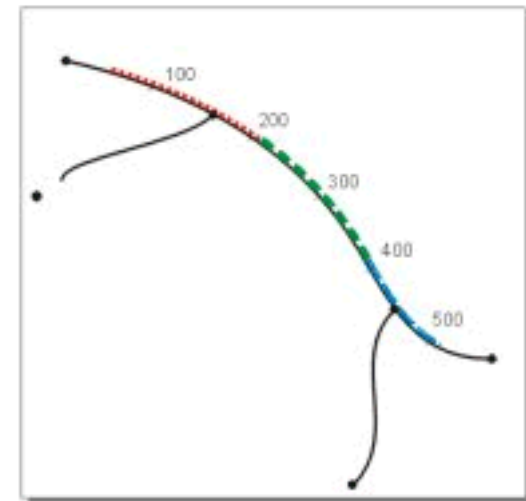
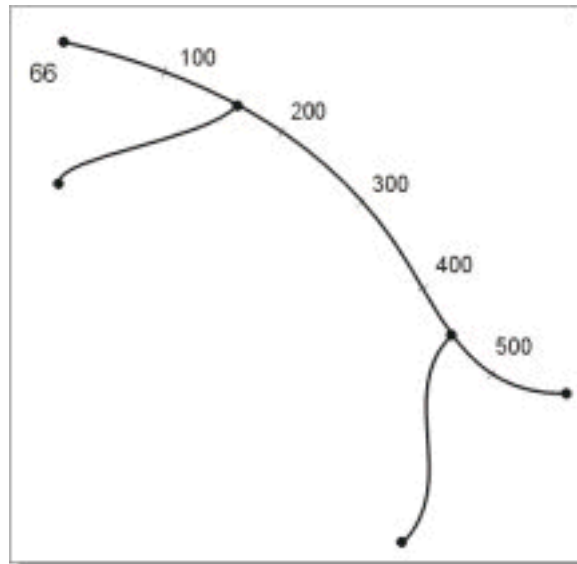


Dynamická segmentace a lineární referencování

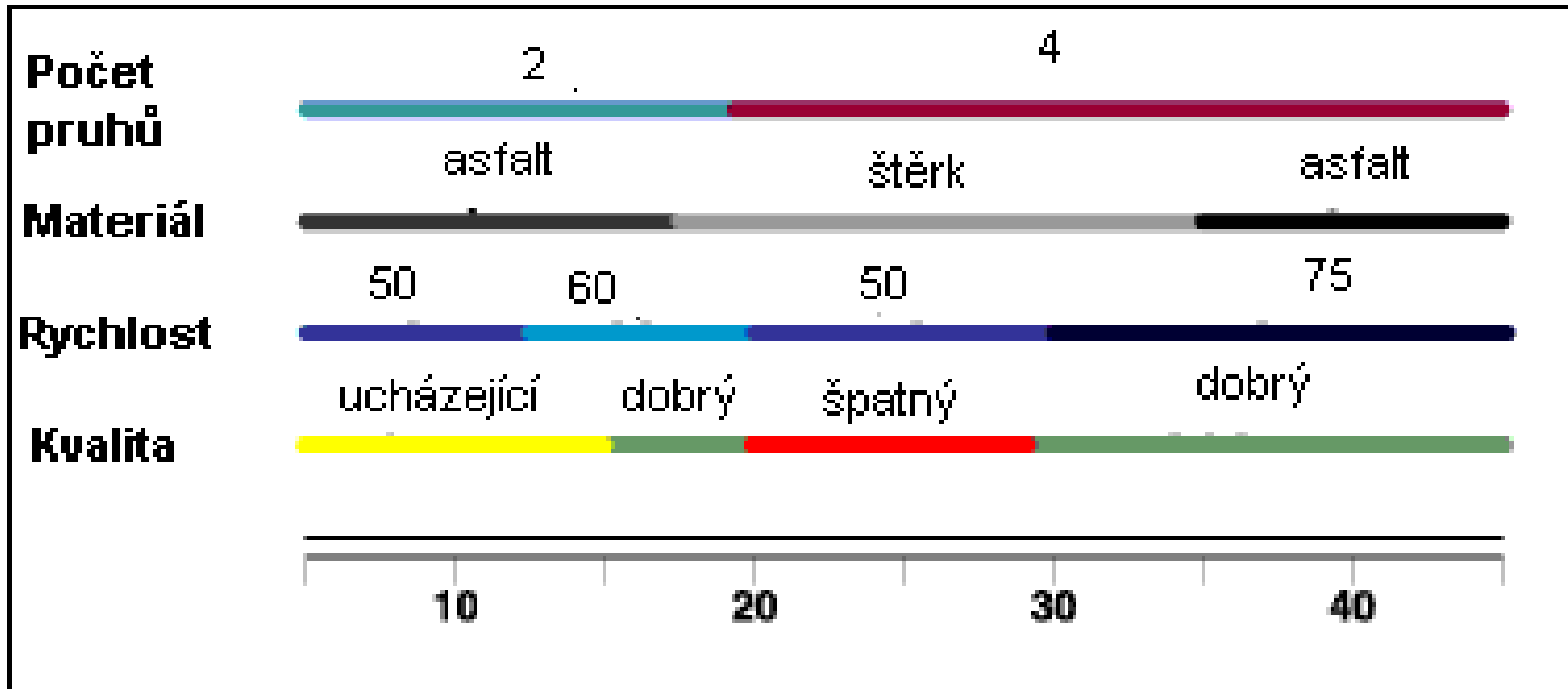
- Pravidla jsou obvykle **uložena v atributových tabulkách**.
- Protože změna atributu nemusí vždy přijít pouze v uzlu (například změna max. povolené rychlosti), využívá se někdy speciální datový model pro liniové vrstvy – **dynamickou segmentaci**.
- Je nutné definovat:
 - **Cestu** (linear feature) jako lineární prvek (polylinie),
 - **Staničení** (measurement system) - staničení má počátek v nějakém zvoleném bodě a jeho hodnota je dána vzdáleností od tohoto bodu.
 - **Událost** (event) je atribut spojený s cestou. Událost je dvojího druhu: **bodová** (např. havárie na dálnici), jež vyžaduje jedno staničení pro své určení, či **liniová** (např. druh povrchu dálnice v určitém úseku nebo rekonstrukce určitého úseku), jež vyžaduje dvoje staničení (od, do) pro své určení.

Lineární referencování

- Dynamická segmentace pak definuje **polohu** lineárního prvku pomocí **cesty** a **události** na ní.
- Podle jiné definice hovoříme o procesu transformace lineárně referencovaných dat (událostí), které jsou uloženy v **datové tabulce**, do **útvárů**, které mohou být zobrazeny a analyzovány na mapě.



Route	Od	Do	Symbol	ID
66	42	210	A1	1201
66	210	390	A8	1202
66	390	550	B3	1392



Vztah linie 1: M – jedna linie M atributů



Vlastnosti síťového modelu

Pravidla umožní simulovat následující vlastnosti:

- **Cena cesty** (pomocí max. rychlosti, času cesty a vzdálenosti) – základní atribut síťových dat, hrana musí obsahovat tento atribut vyjádřený alespoň jedním z těchto způsobů.
 - Může se měnit s **denní dobou** – ráno, odpoledne, v noci.
 - Může **záviset na směru průchodu hranou či uzlem** (cesta tam je časově kratší, než cesta zpět, odbočení doprava je kratší než zabočení doleva).
 - Změna atributu může v reálném světě přijít kdykoli na linii a ne jen v uzlu (např. změna maximální rychlosti).

Vlastní analýzy nad sítí

- **Hledání optimální trasy** – jde o vyhledání optimální trasy mezi dvěma nebo více body (ve stanoveném pořadí nebo bez) na základě ceny cesty (vzdálenost, čas, ...). Analýza umí produkovat i pokyny o cestě pro řidiče.

Directions

Starting from Muj obchod
Turn right onto 4TH
Travel on 4TH for 0.454 km
Turn right onto I 80
Travel on I 80 for 0.219 km
Continue straight onto PERRY
Travel on PERRY for 0.287 km
Turn left onto EMBARCADERO
Travel on EMBARCADERO for 0.262 km
Continue straight onto JAMES LICK
Travel on JAMES LICK for 0.051 km
Continue straight onto EMBARCADERO
Travel on EMBARCADERO for 0.152 km
Turn left onto 1ST
Travel on 1ST for 0.555 km
Continue straight onto BUSH
Travel on BUSH for 0.051 km
Turn right onto BATTERY
Travel on BATTERY for 0.620 km
Turn right onto JACKSON
Travel on JACKSON for 0.113 km
Turn right into L'Oliver



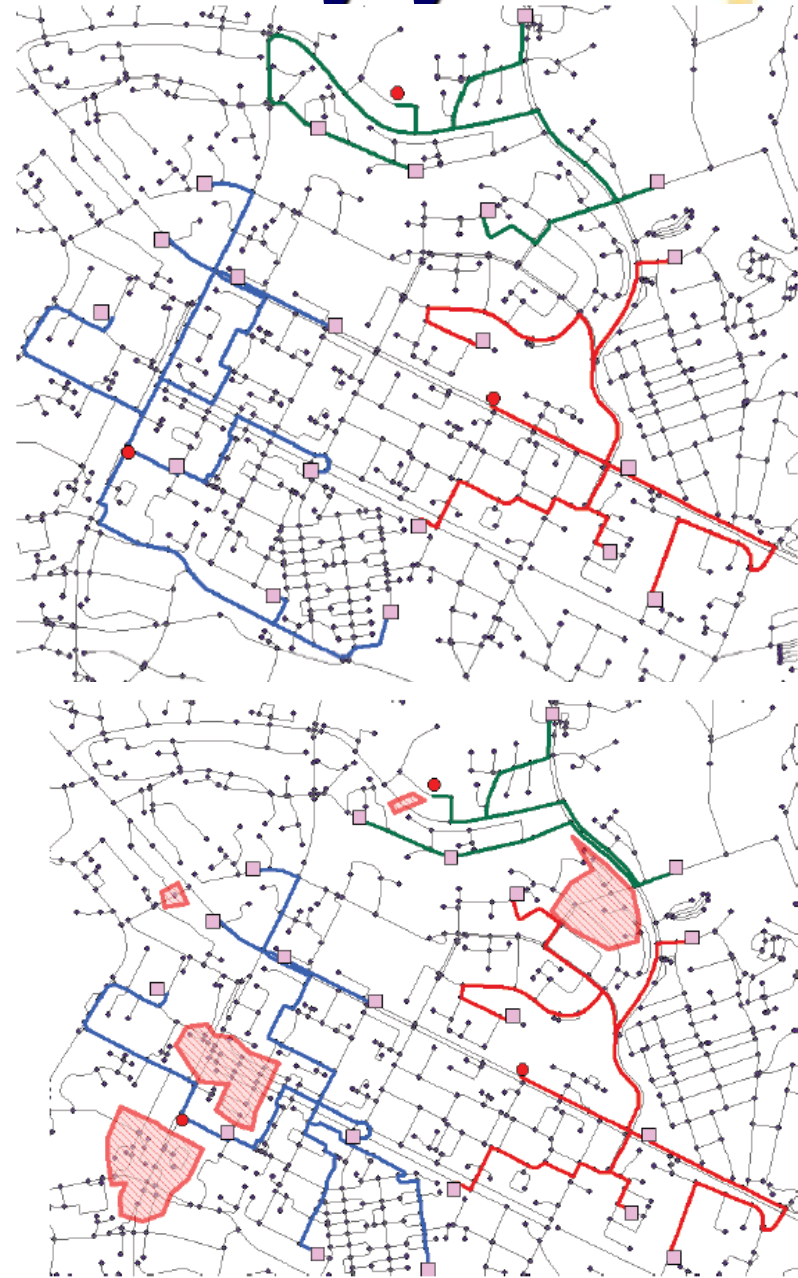


Vlastní analýzy nad sítí

Hledání cesty do nejbližšího zařízení – drobná modifikace předchozí analýzy. Jde o vyhledání optimální trasy do nejbližšího (optimálního) zařízení.

- Příklad: Hromadná dopravní nehoda ve velkém městě. Jde o to, nalézt co nejrychlejší způsob, jak se k nehodě dostat sanitkou. Řešení je nalezení optimální cesty od optimálního zařízení k nehodě.
- Je možné ještě hledat optimální cestu od nehody do **nejbližší nemocnice**. Tyto cesty totiž vzhledem ke konfiguraci sítě (jednosměrky) či vzhledem k času (ucpané ulice v určitém v důsledku nehody) nemusí být stejné! Užití bariér (Horák a kol. 2015).

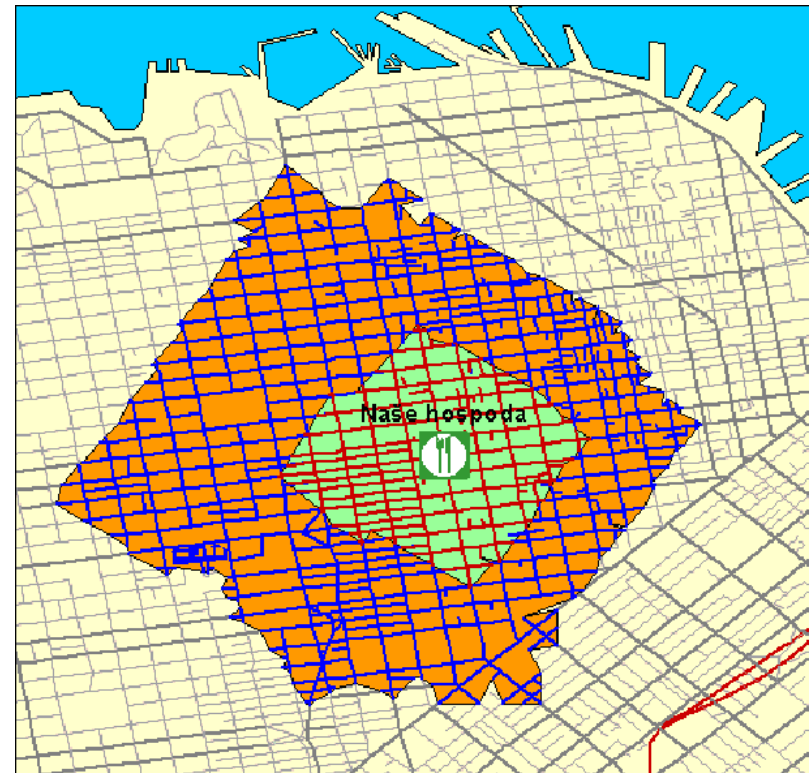
Kartografické modelování



Vlastní analýzy nad sítí

Alokace zdrojů – další možnost aplikace analýzy sítí. Lokačně – alokační úlohy.

- Vyhledání všech lokalit, které jsou od vybraného objektu vzdáleny nějakou cenou cesty.
- Příklad: vzdálenost do 30 minut od vyhlášené restaurace. Jak je vidět, je to analýza podobná vytváření obalových zón (buffers), ale bere v úvahu cenu cesty definovanou pomocí sítě (není to jen vzdálenost vzdušnou čarou).
- Výsledkem této analýzy jsou tzv. **izochrony**, což jsou čáry spojující body se stejným časem k dosažení výchozího bodu.



Vlastní analýzy nad sítí

- **Problém obchodního cestujícího** – návštěva vybraných bodů tak, aby trasa byla optimální.
- Cestující musí navštívit každý bod (místo) a na závěr se vrátit do původního bodu.
- Aplikační využití při rozvoru balíků, obsluze automatů...





Data pro síťové analýzy

- **ZABAGED,**
OpenStreetNet, JSDI
- **StreetNet (CEDA)** -
aktualizovan 2x ročně,
eviduje i úseky ve
vystavbě, obsahuje i
polní a lesní cesty, pro
jednotlivé úseky je
evidováno větší množství
atributů, neobsahuje
úseky v soukromých a
uzavřených areálech.





Streetnet



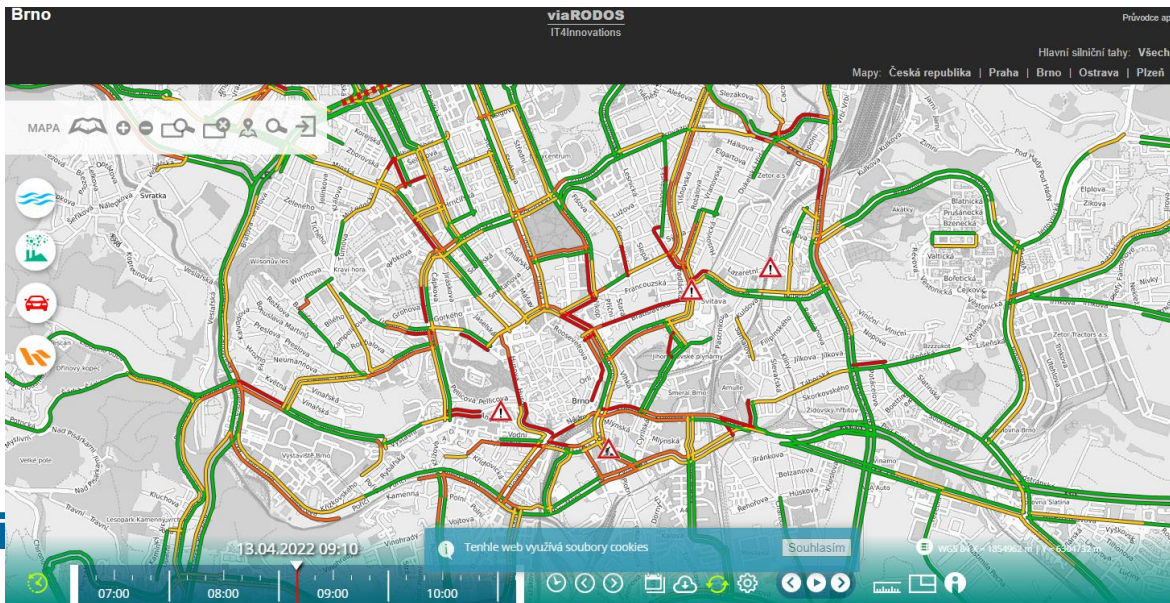
ZABAGED

Horák a kol. 2015

Kartografické modelován

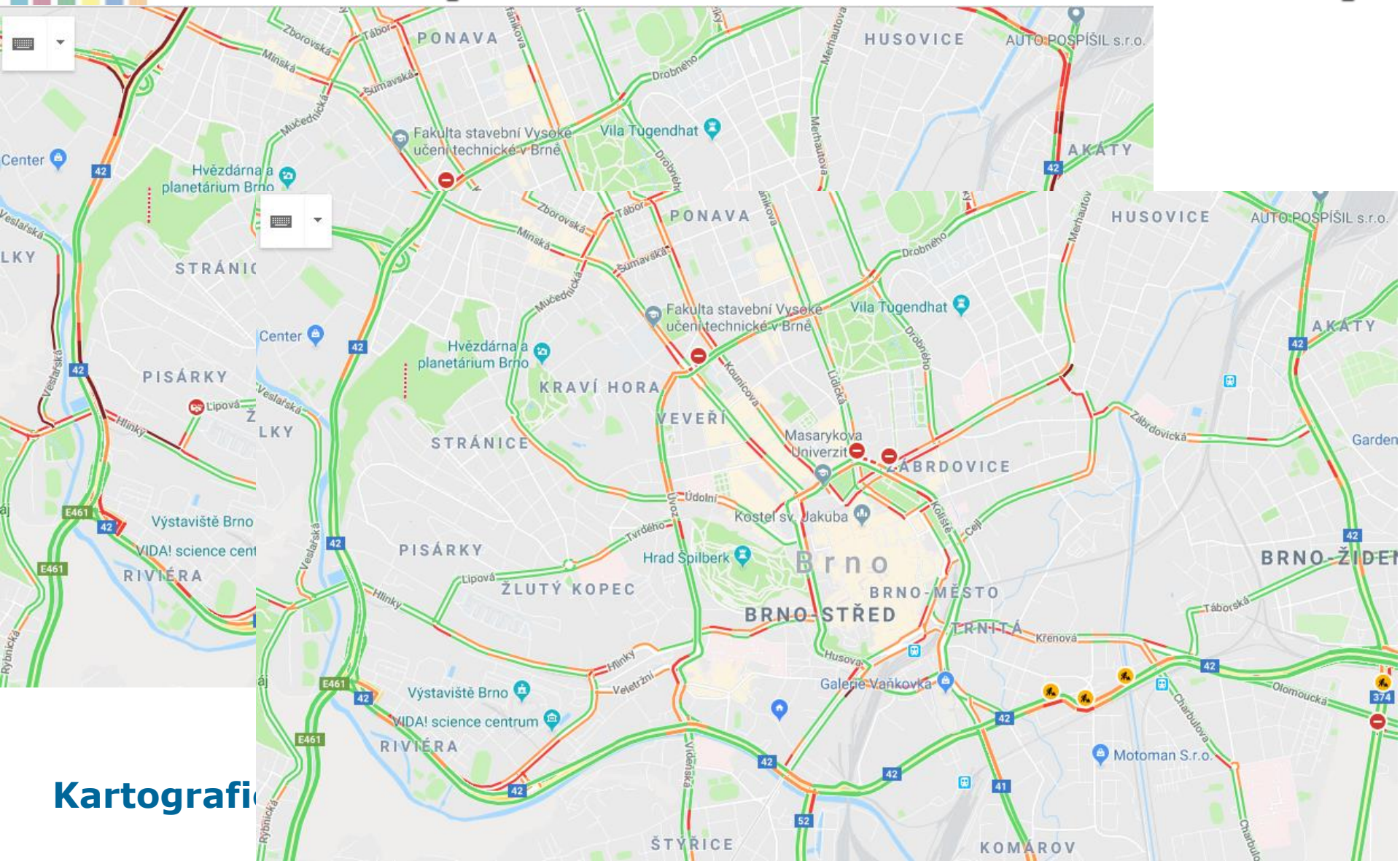
Aktuální data pro síťové analýzy

- **Rodos** <https://rodos.vsb.cz/> vytvořit nad silniční dopravou komplexní informační nástavbu a integrovat ji do stávajících telematických systémů. Jádrem centra RODOS je Dynamicky Model Mobility (DMM), který integruje dynamicky model pohybu osob, vozidel a zboží.





Dopravní tok a časové změny

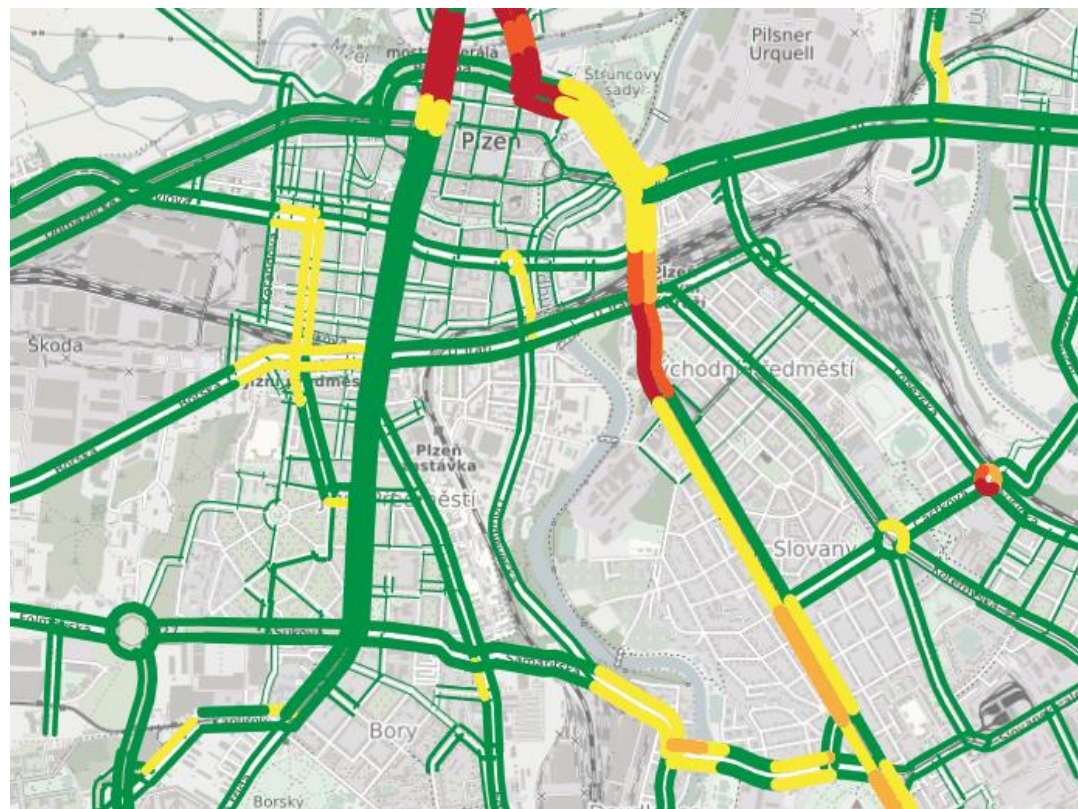




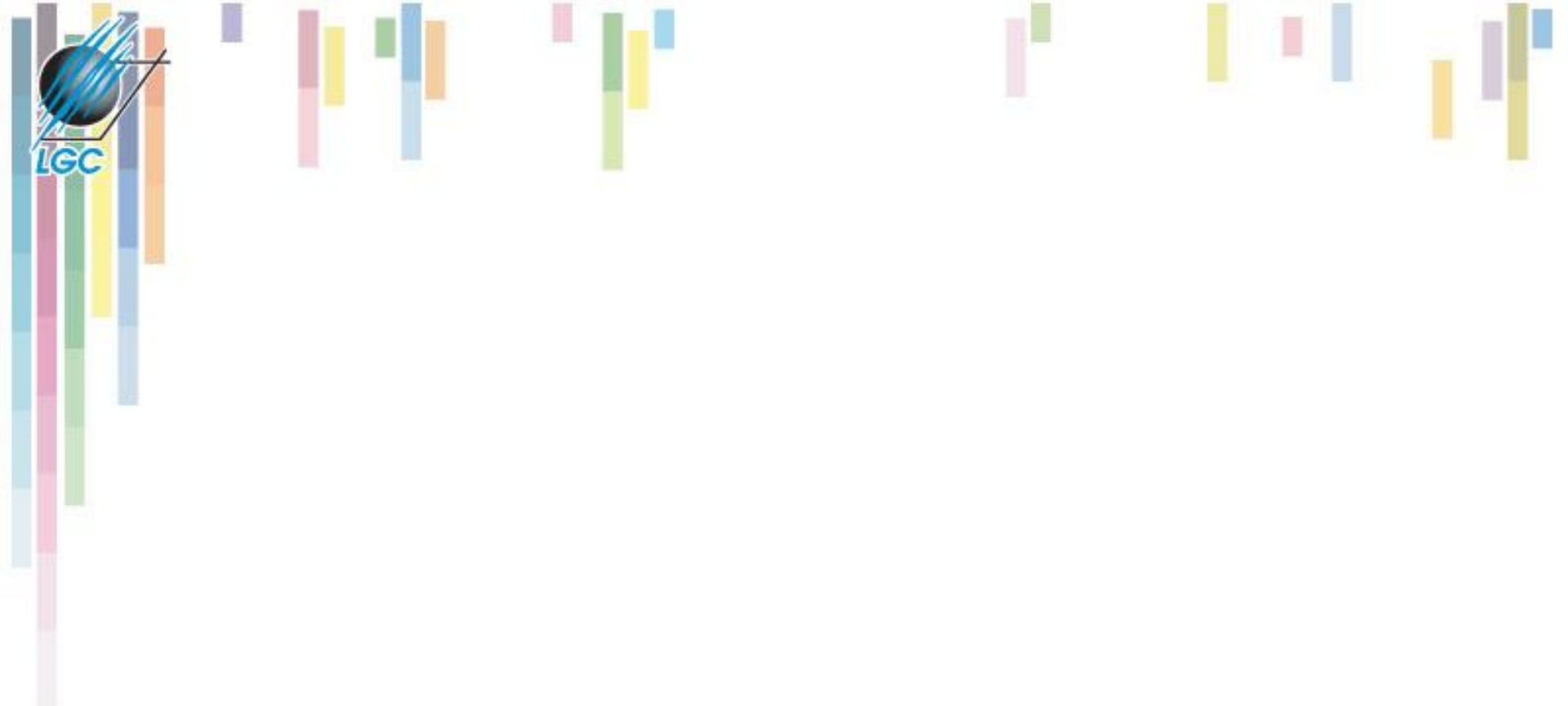
Dopravní tok a časové změny – RoadTwin

Doprava ve vašem prohlížeči

<https://roadtwin.com/cs/>



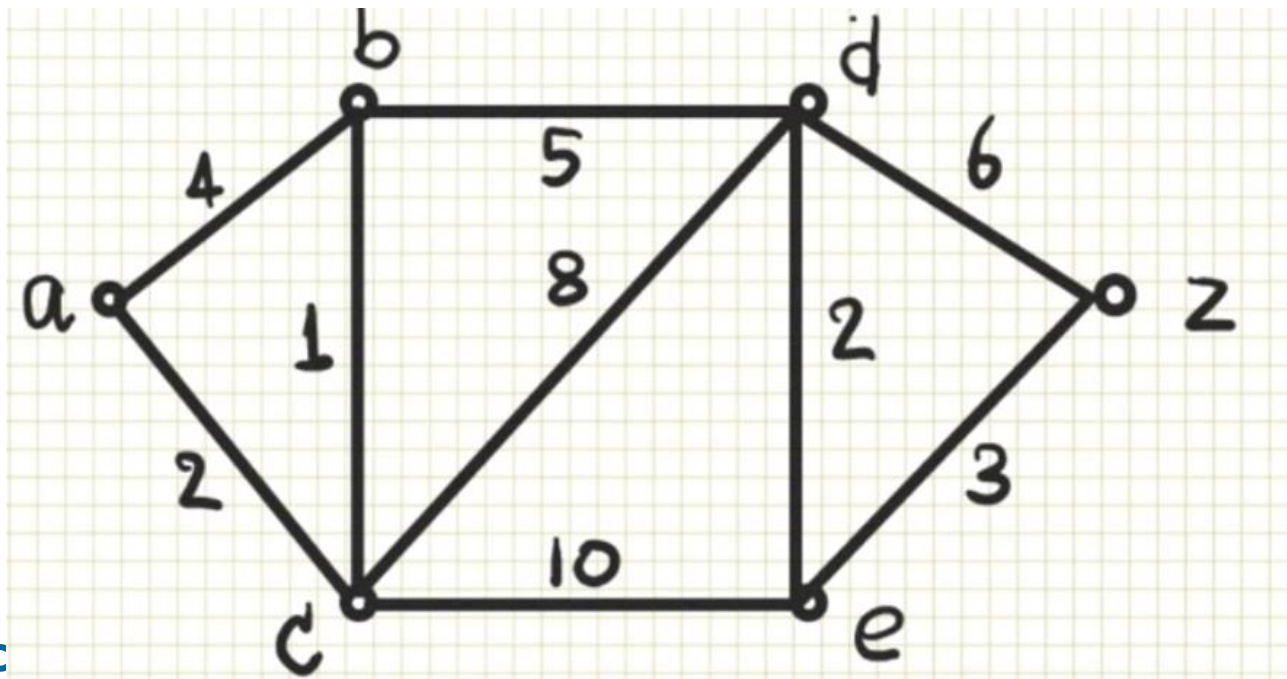
Kartografické modelování

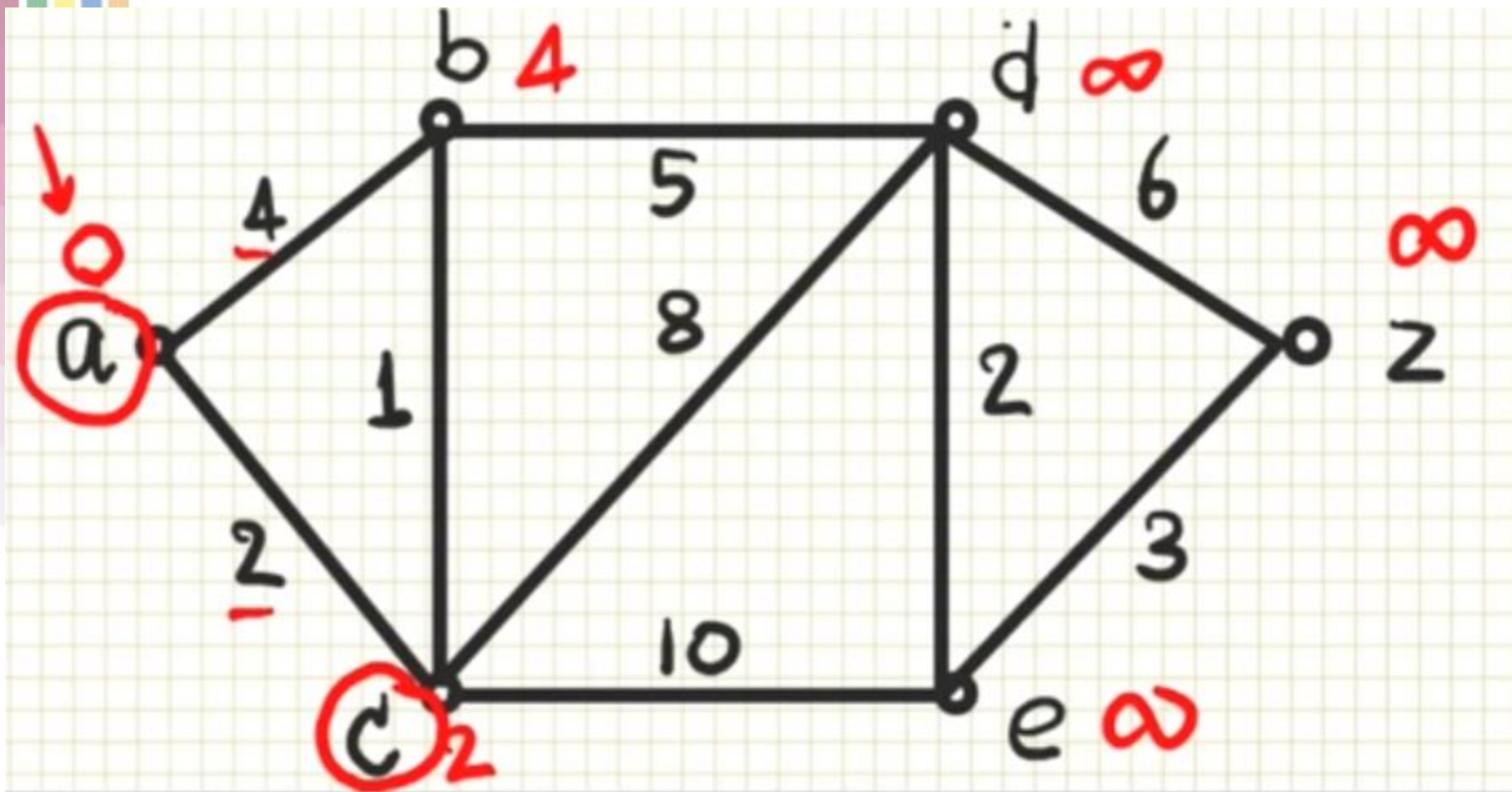


JAK SE HODNOTÍ SÍŤ?

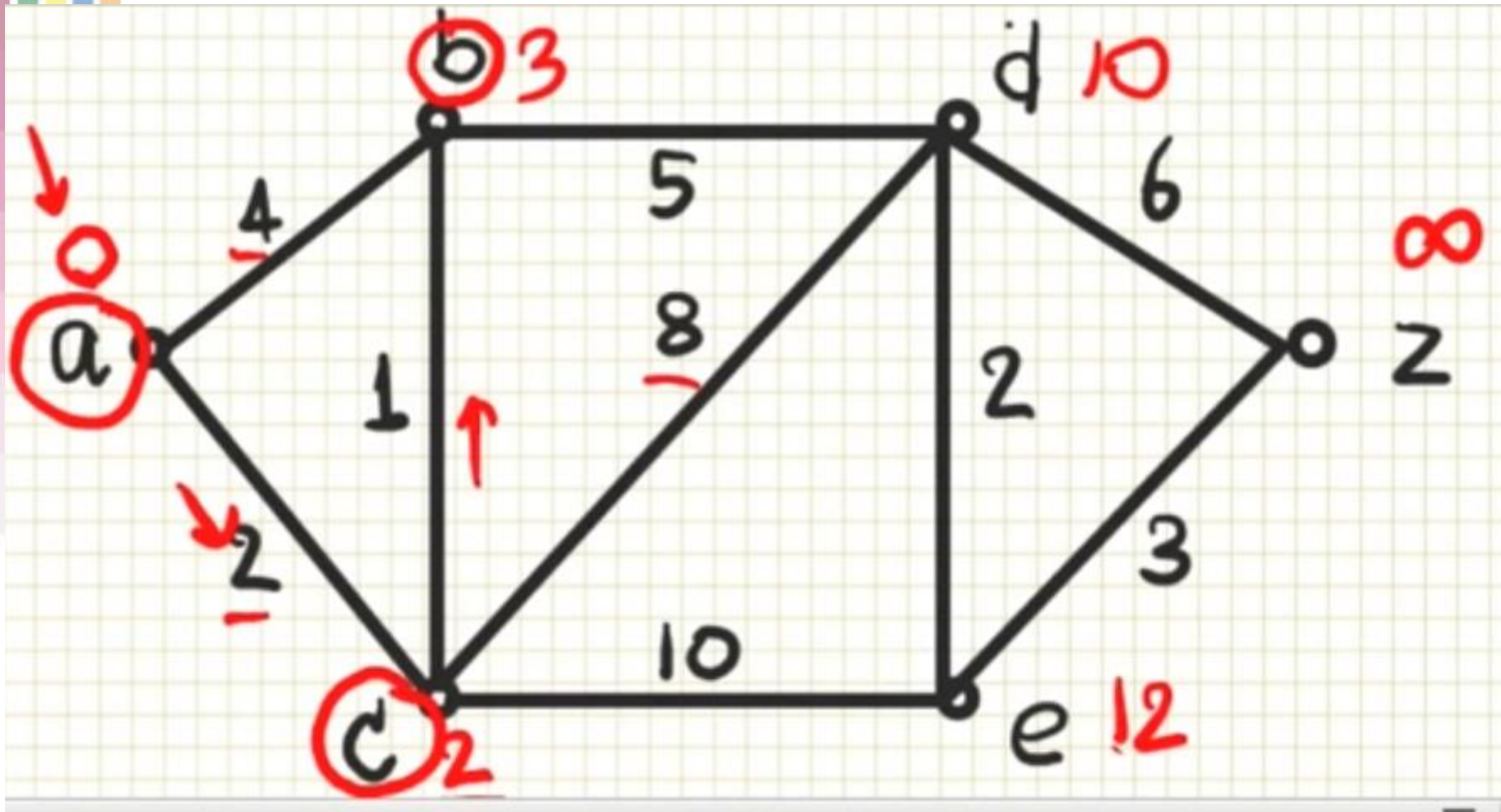
Dijkstra algoritmus

Algoritmus sloužící k nalezení **nejkratší cesty v grafu**. Je **konečný** (pro jakýkoliv konečný vstup algoritmus skončí), protože v každém **průchodu** cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá **právě jeden uzel**, průchodů cyklem je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů. Funguje nad **hranově kladně ohodnoceným grafem**.

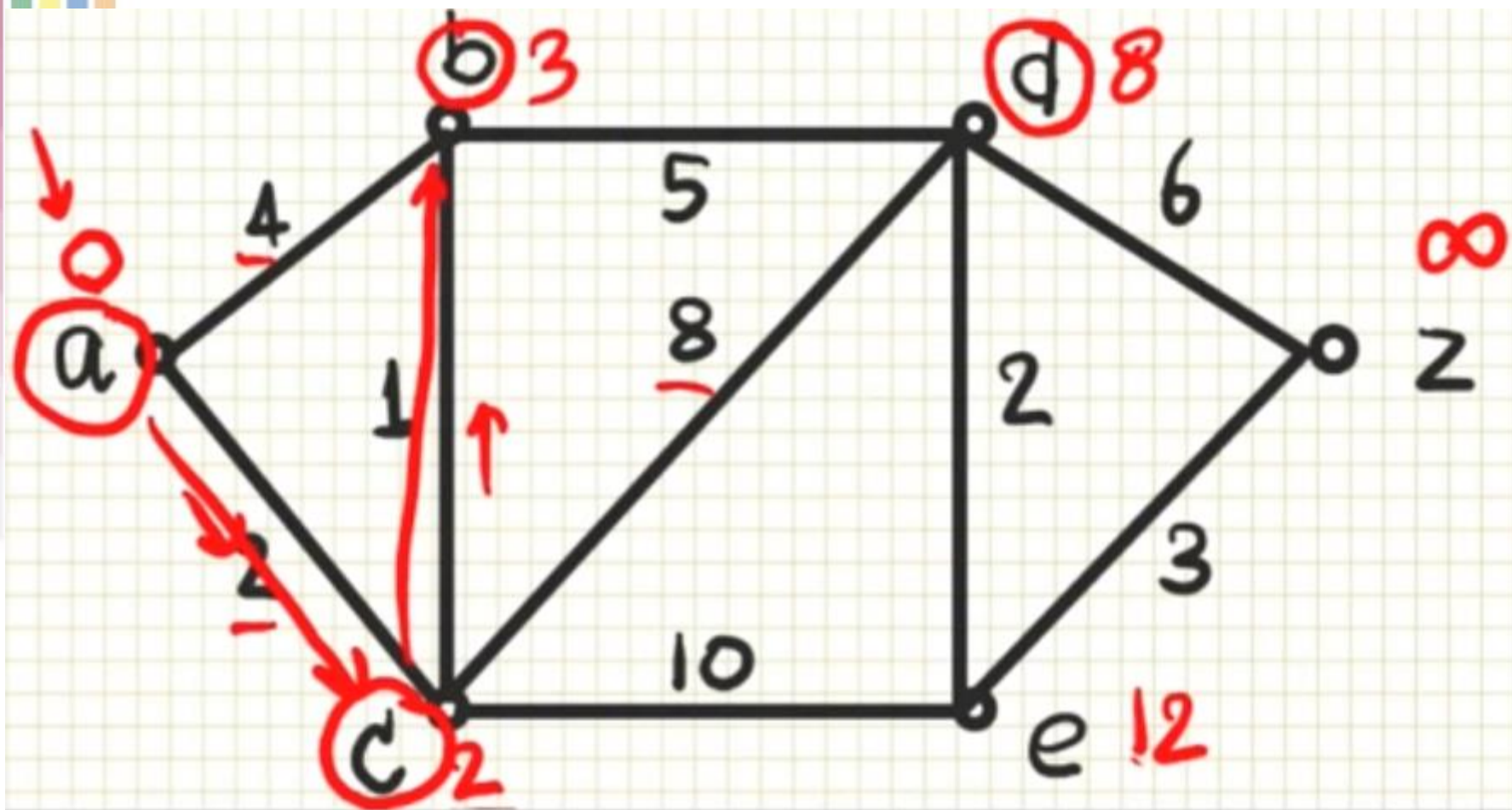




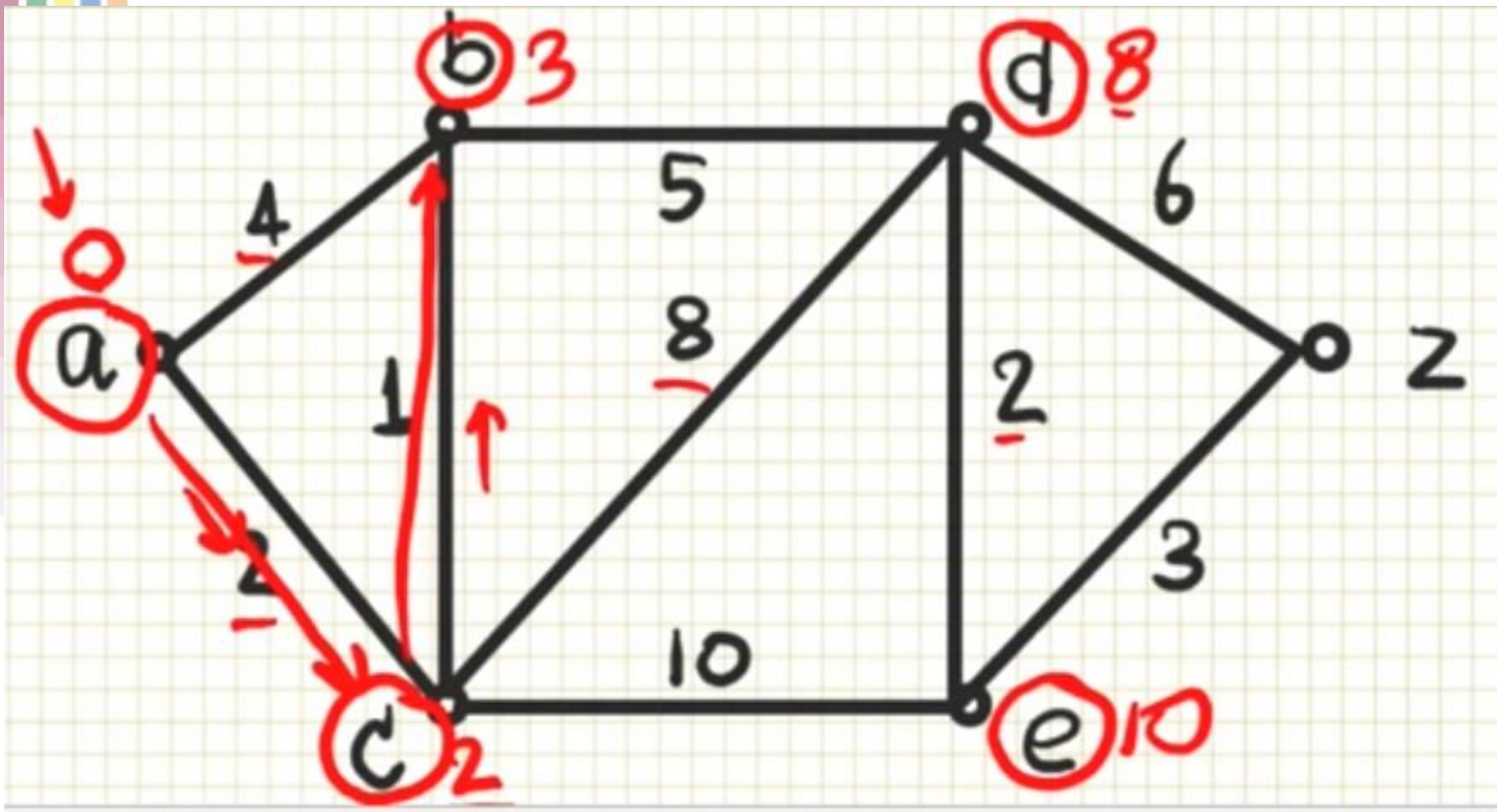
Kartografické modelování



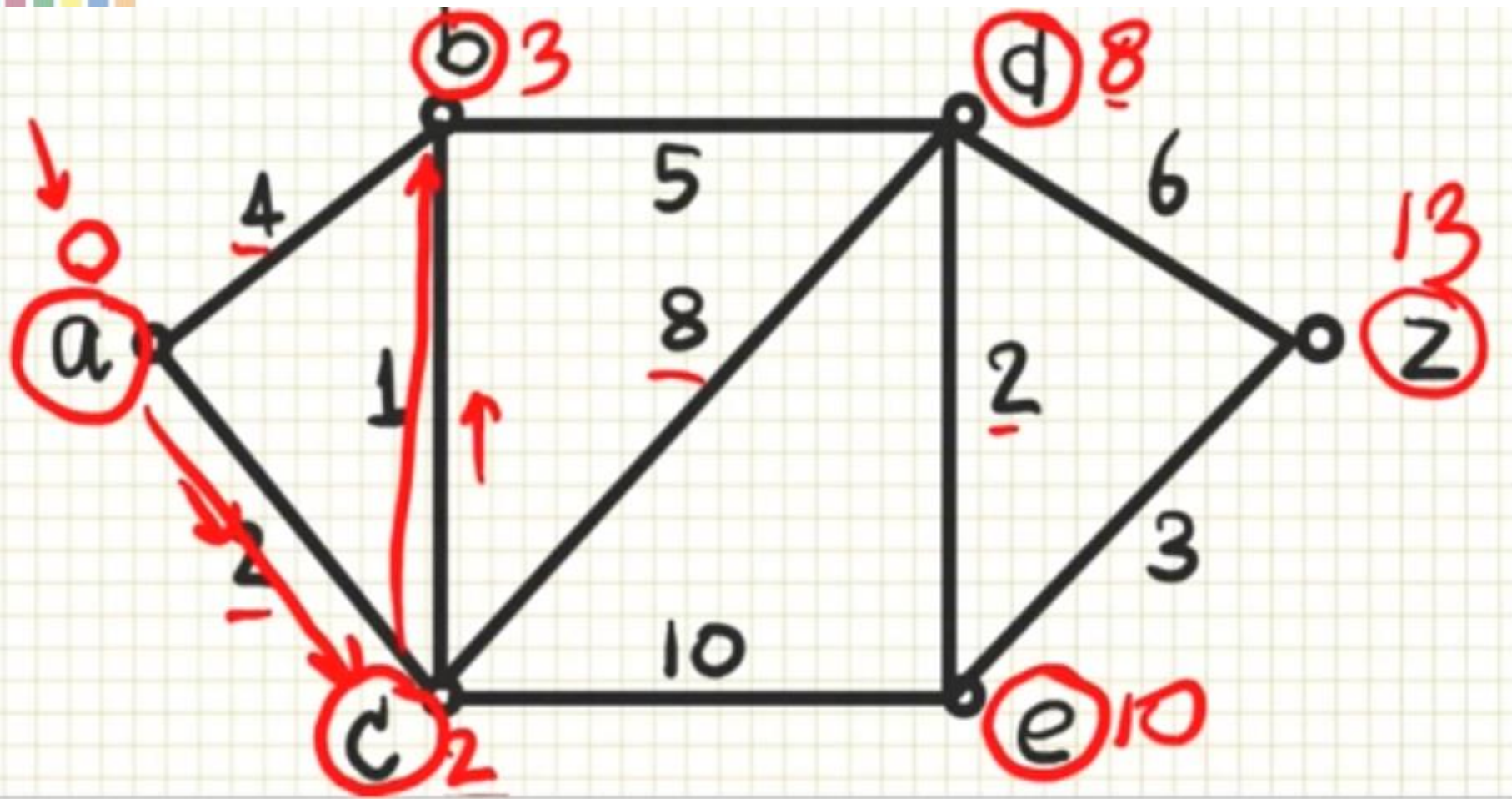
Kartografické modelování



Kartografické modelování



Kartografické modelování



Kartografické modelování

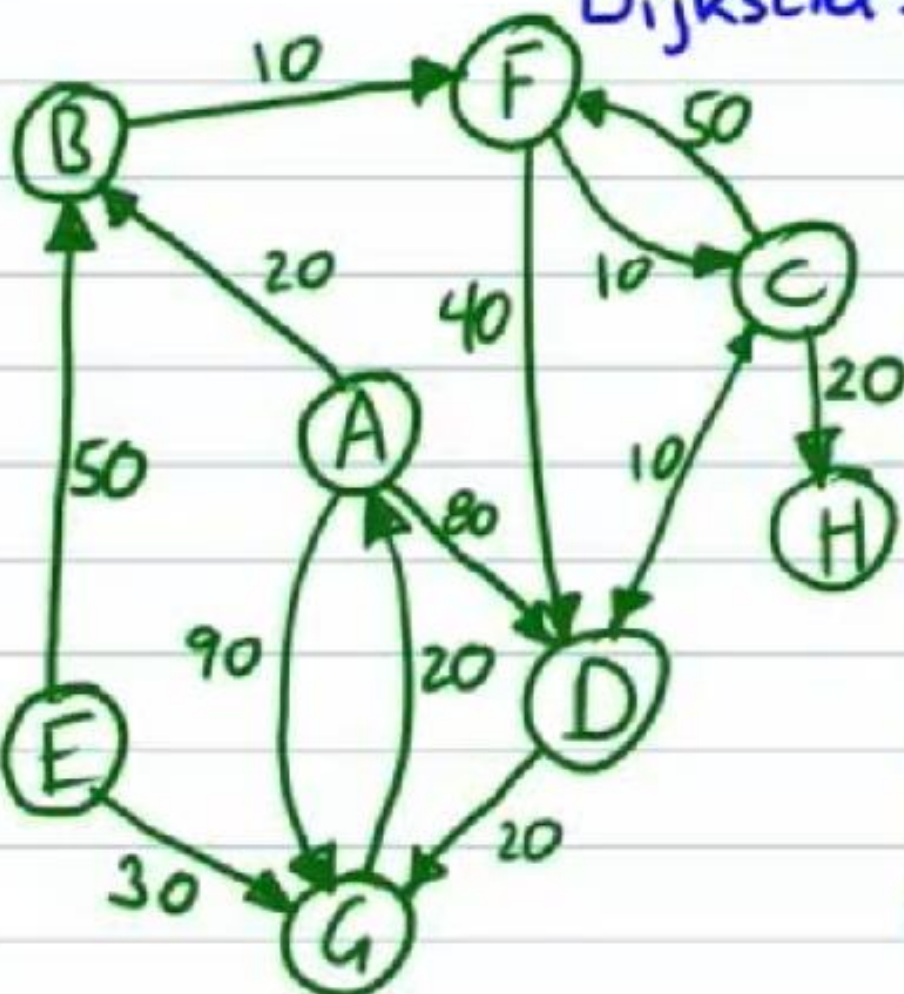


Dijkstra algorithm

Graph Algorithms:
Dijkstra's Algorithm

From
A → B C D E F G H

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧

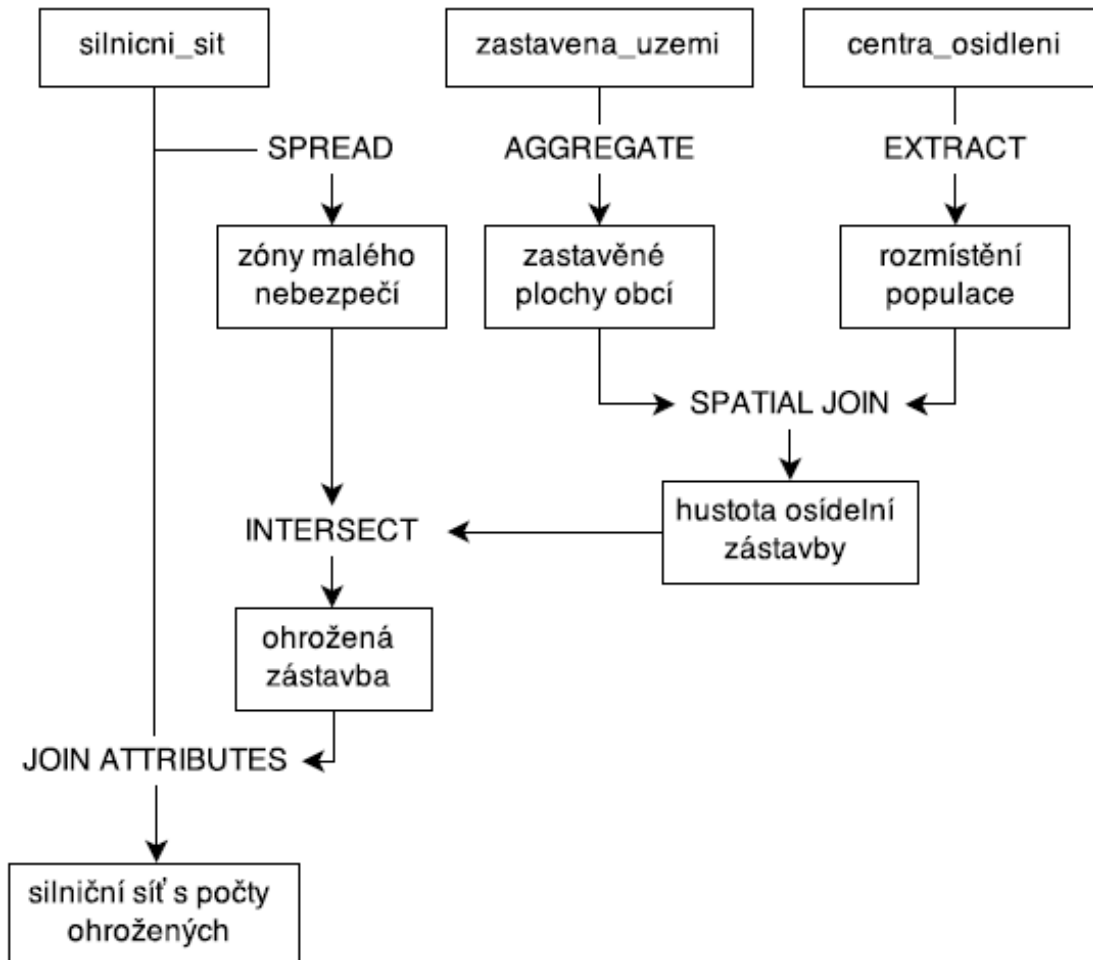




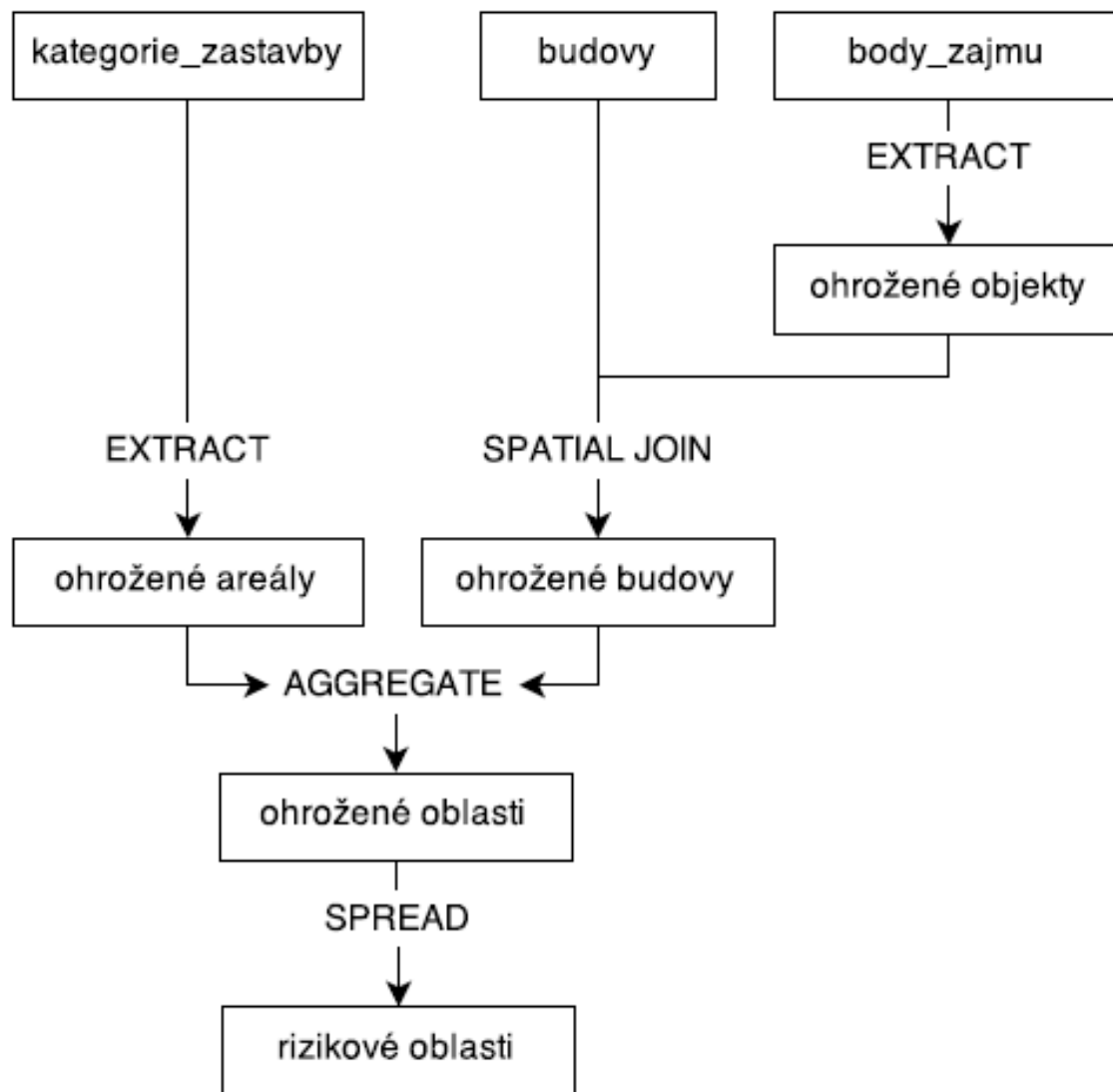
Případová studie – přeprava nebezpečného nákladu (Leitgeb 2015)

- **Minimalizace ohrožení obyvatelstva při přepravě nebezpečného nákladu (výbušnina, hořlavina...)**
- **ADR klasifikace, vnitřní předpisy PČR a MO.**
- **Kritéria:**
 - populace mimo silnici;
 - budovy s vysokou koncentrací obyvatel a citlivých objektů.

Minimalizace ohrožení obyvatelstva



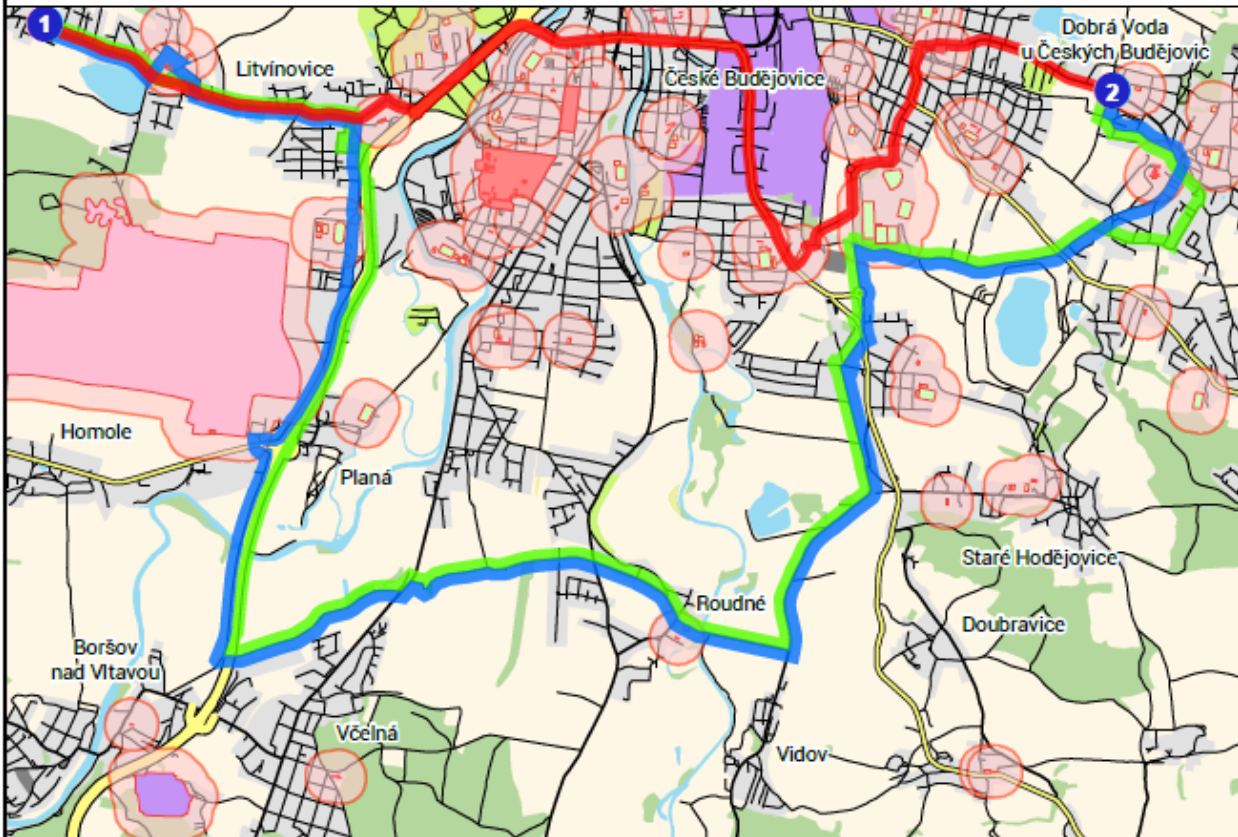
Minimalizace ohrožení citlivých objektů



OPTIMALIZACE TRASY PŘEVOZU VÝBUŠNIN NA MODELOVÉM ÚZEMÍ ČESKOBUDĚJOVICKA

0 500 1 000 2 000 m

TRASA Č. 1



Pokryv povrchu a půdy

Park	Včelná
Bažina	Zastavěné oblasti
Lesy	Vodní plochy a toky
Hřbitov	Pole a louky

Zájmové areály

Ohrožená a neohrožená letiště
Ohrožená a neohrožená průmyslová zóna
Ohrožená a neohrožená nemocnice
Ohrožená a neohrožená hřiště/stadion

Prvky trasy

1	Krajní bod trasy
Trasa A	
Trasa B	
Trasa C	

f	Bariéra zvýšené ceny, citlivá budova, hřiště
---	--

Pozemní komunikace

Silnice 1., 2. a 3. třídy,
ostatní komunikace

Autor: Šimon LEITGEB,
409281, 3. B-GK KART

Použitý software: ArcGIS 10.3,
Arc/Info, © ESRI

Souřadnicový systém: S-JTSK

Zdroje dat: Street Net NAV, Global
Network, © CEDA
© Příspěvatel OpenStreetMaps

Brno 2015, GÚ PŘF MUNI

- **A**- nejkratší trasa
- **B** - nejméně ohrožených osob
- **C** - nejméně ohrožených osob s bariérami citlivých objektů