



Kartografické modelování

VIII – síťové analýzy vzdáleností

jaro 2019

Petr Kubíček

kubicek@geogr.muni.cz

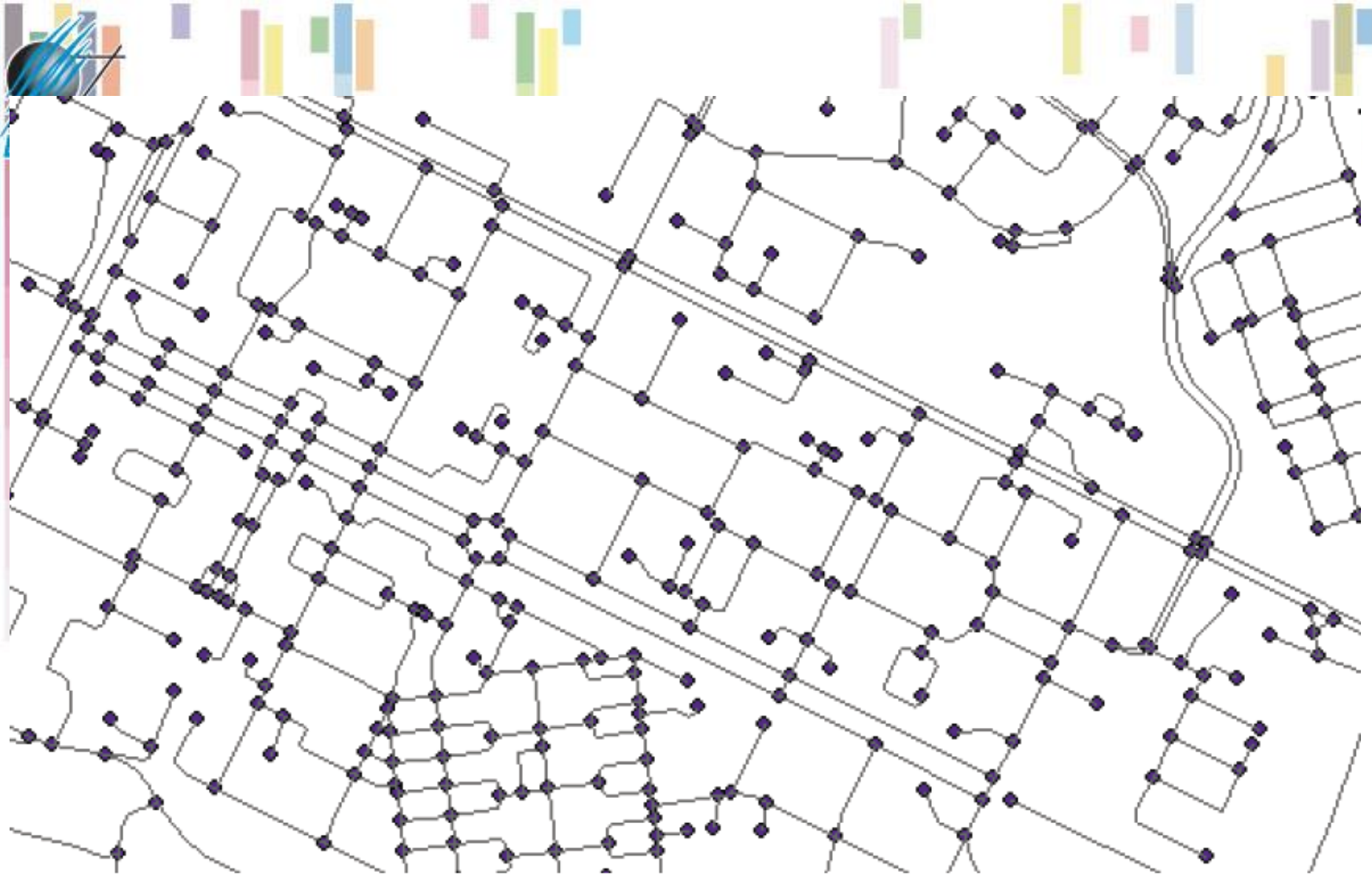
**Laboratory on Geoinformatics and Cartography (LGC)
Institute of Geography
Masaryk University
Czech Republic**



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:

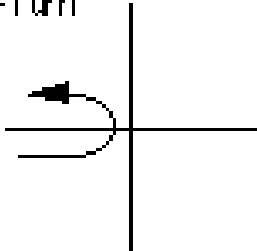
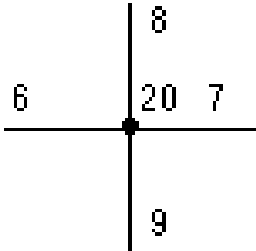

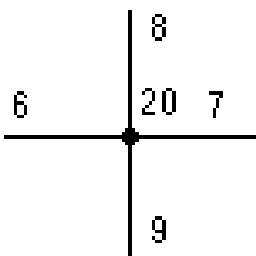

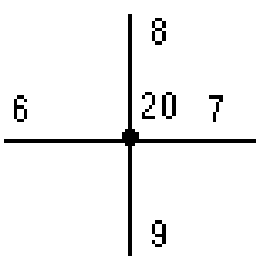
- **Uzlová pravidla** definují směr pohybu uzlem.
 - Například, pokud budu mít uliční síť, na některých křižovatkách není povoleno odbočení doleva či doprava.
 - Náklady na odbočení v různých směrech.
- **Hranová pravidla** definují směr a rychlost pohybu po hraně.
 - Ulice mohou být jednosměrné, uzavřené, 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

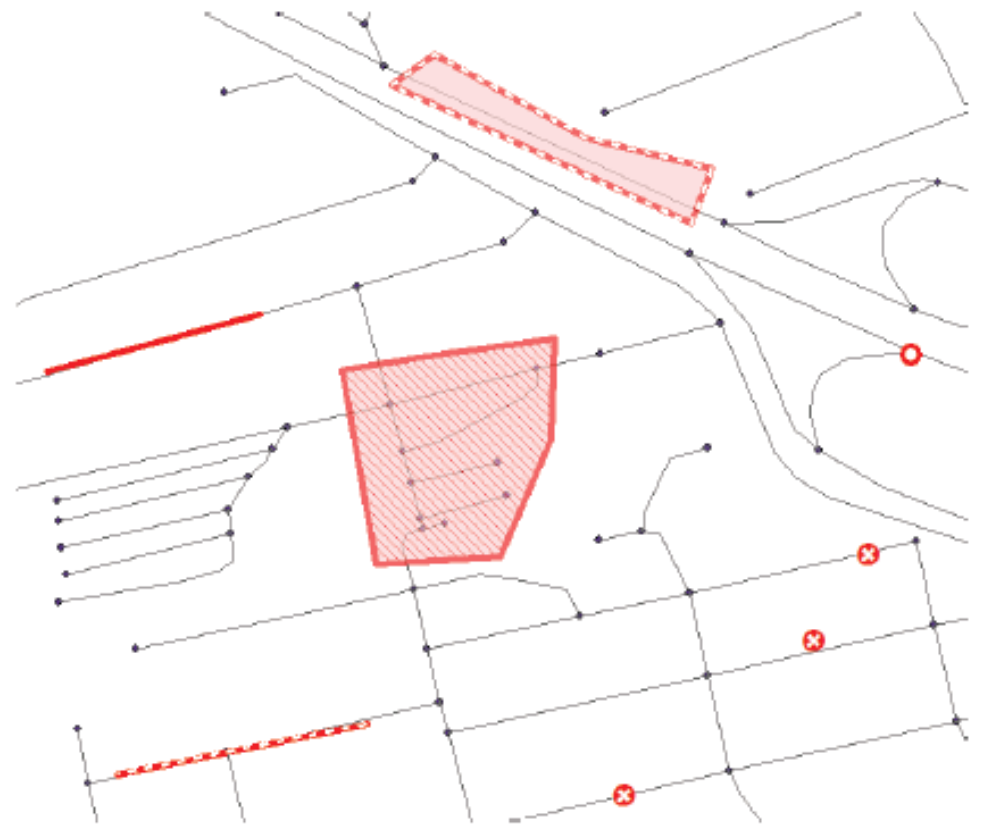
0 = No Impedance
-1 = No Turn

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.



Vlastnosti síťového modelu

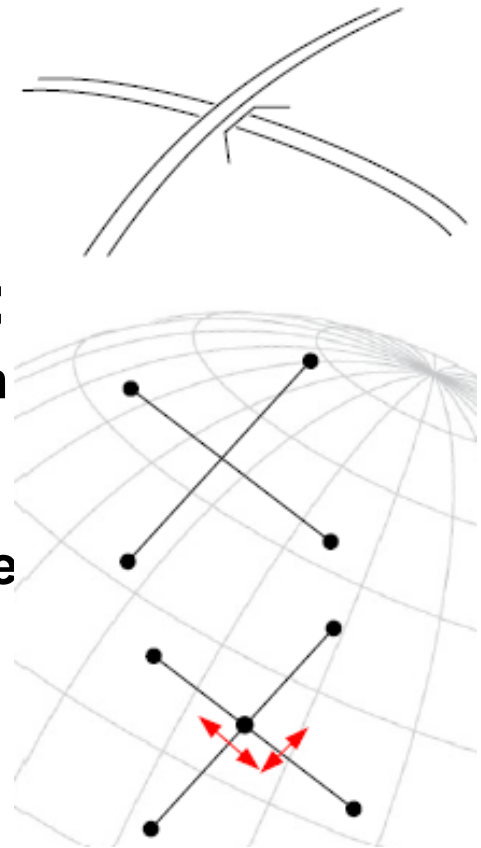
Pravidla umožní simulovat následující vlastnosti:

- **Cena cesty** (pomocí max. rychlosti, času cesty a vzdálenosti) – základní atribut síťových dat, hrana musí obsahovat tento atribut vyjádřený alespoň jedním z těchto způsobů.
- **Lze vytvořit i další modifikace cen cesty:**
 - 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).

Vlastnosti

Neuzlové body – díky topologickému požadavku konektivity (linie se mohou protínat pouze v uzlových bodech) je třeba vyřešit situace, kdy je třeba modelovat podjezdy a nadjezdy. K tomu se obvykle používají dvě metody:

- **neplanární uzel** – systém povolí protnutí liniových prvků bez nutnosti vytvoření uzlových bodů - takže pro tento bod neexistuje křižovatka.
- **planární uzel** – systém protíná liniové prvky pouze v uzlech, pak je nutné zadat takové uzlové atributy, které systém informují zda se jedná o křižovatku nebo o podjezd či nadjezd.



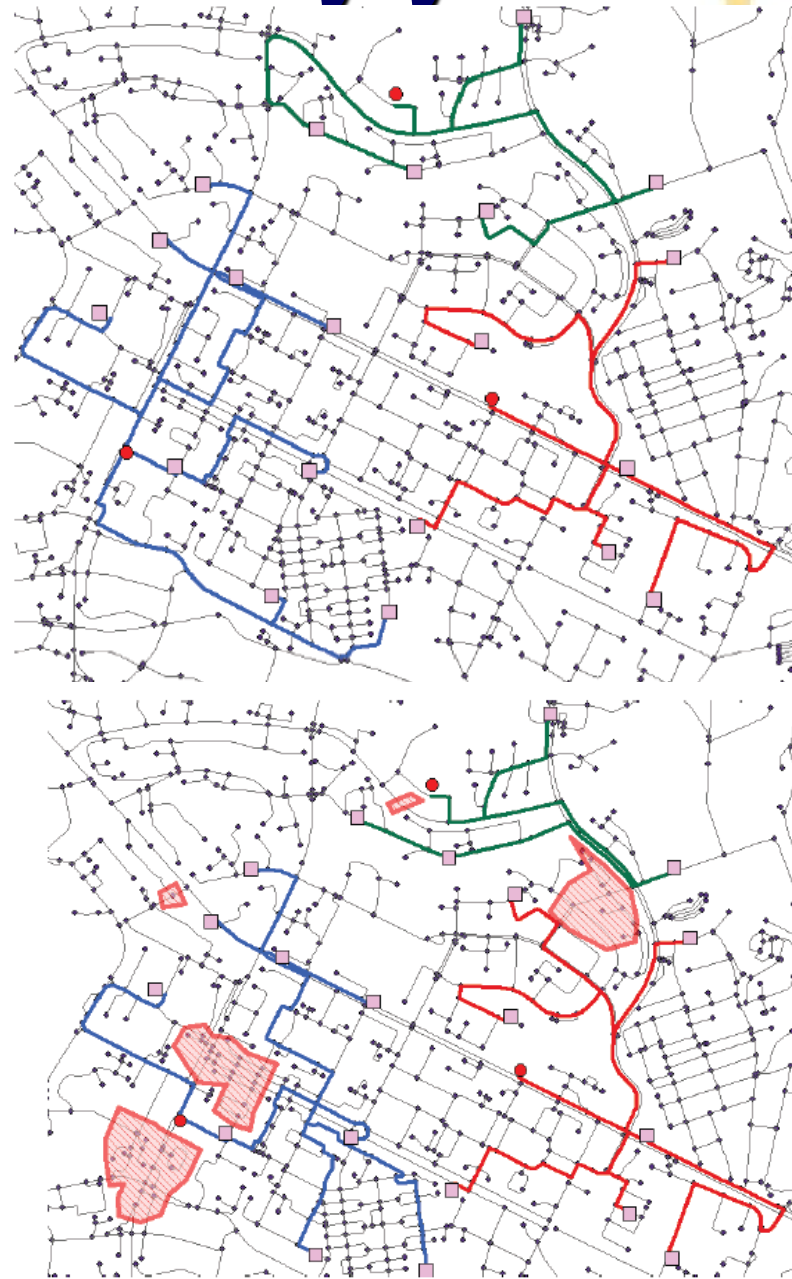


Vlastní analýzy nad sítí

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).

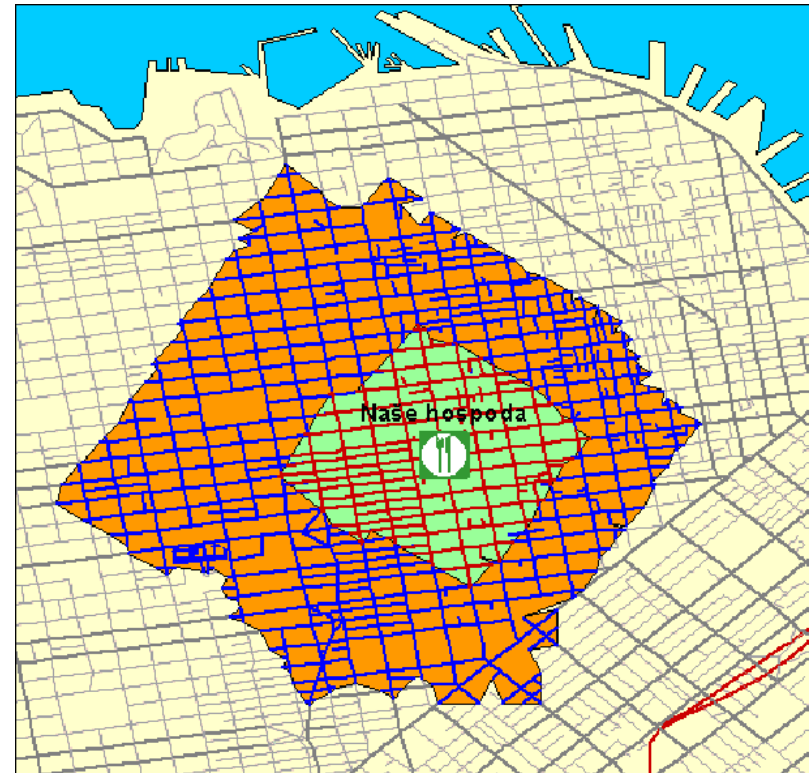
Kartografické modelování



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...





Možnost získat body do cvičení

- * body ze cvičení - $\sim 40\%$ známky
- * známka
- - 22b - 25b -> A
- - 20b - 21.5b -> B
- - 18b - 19.5b -> C
- - 16b - 17.5b -> D
- - 12.5b - 15.5b -> E

- **Testování – uživatelská studie – út 16. 4.
14:00 Z1 – max. 50 minut - + 2body**

Data pro síťové analýzy

- **ZABAGED,**
- **OpenStreetNet, JSDI**
- **StreetNet (CEDA)** - aktualizovan 2x ročně, eviduje i úseky ve výstavbě, 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

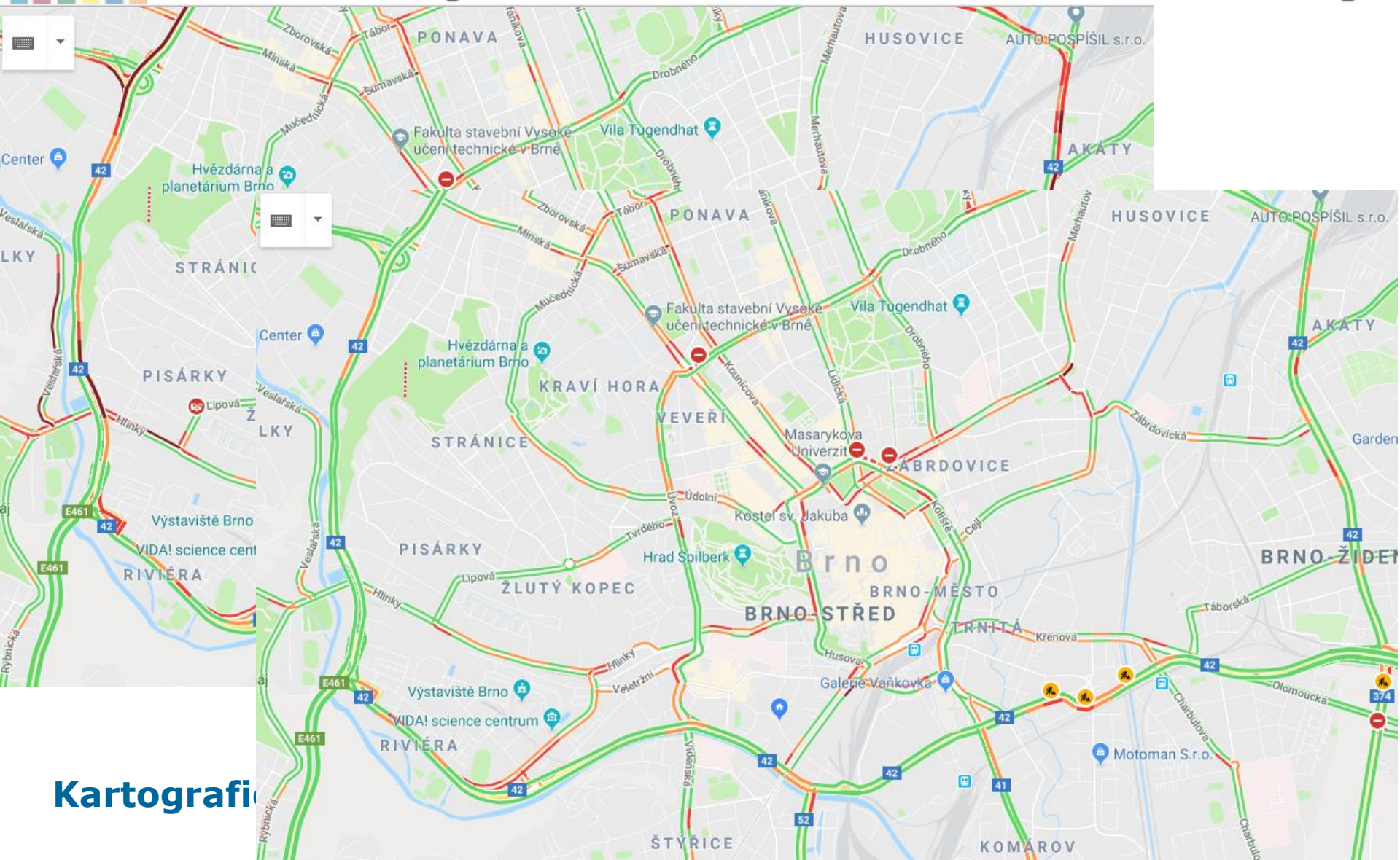
Kartografické modelován

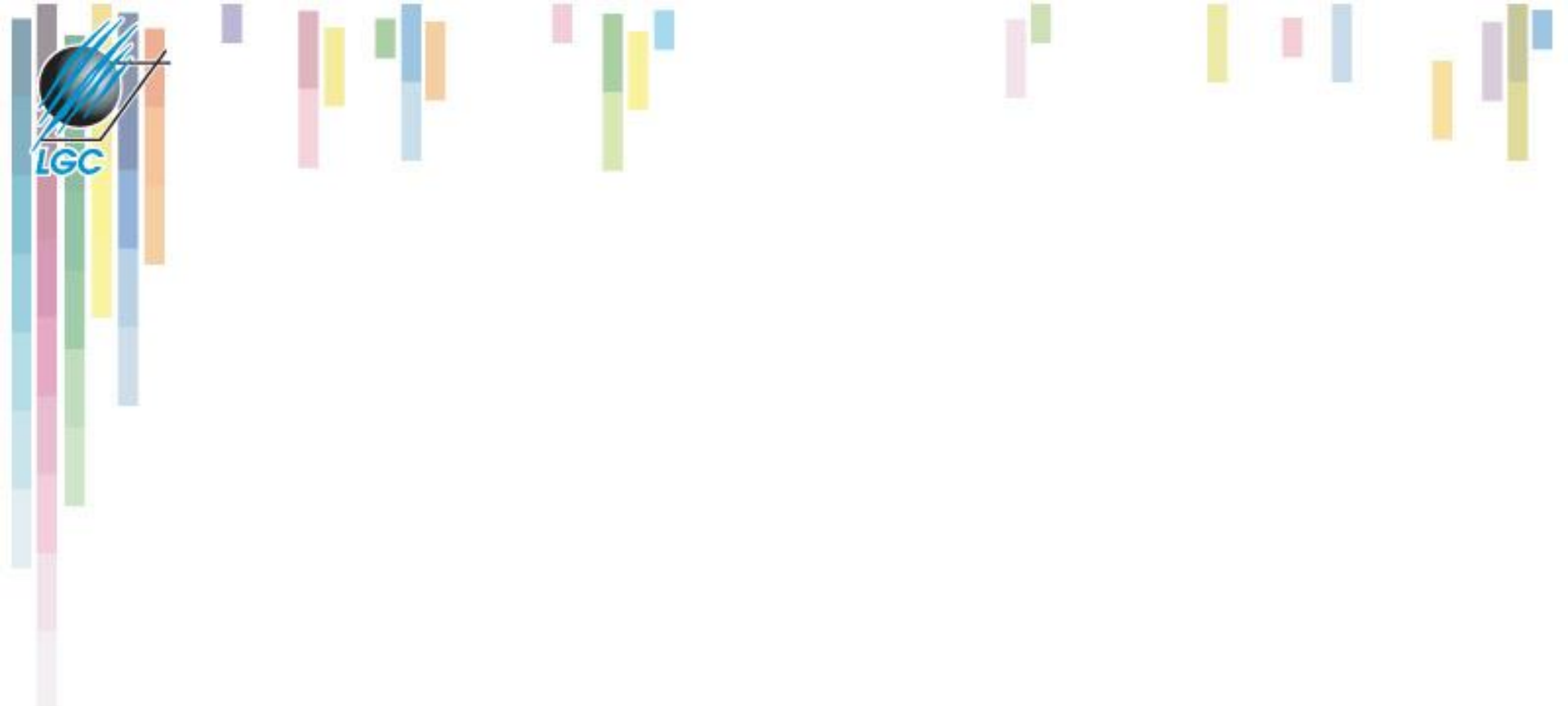
Aktuální data pro síťové analýzy

- **Rodos** <http://rodosdata.it4i.cz/> vytvořit nad silniční dopravou komplexní informační nástavbu a integrovat ji do stávajících telematických systémů. Jádrem centra RODOS je Dynamický Model Mobility (DMM), který integruje dynamický model pohybu osob, vozidel a zboží.



Dopravní tok a časové změny

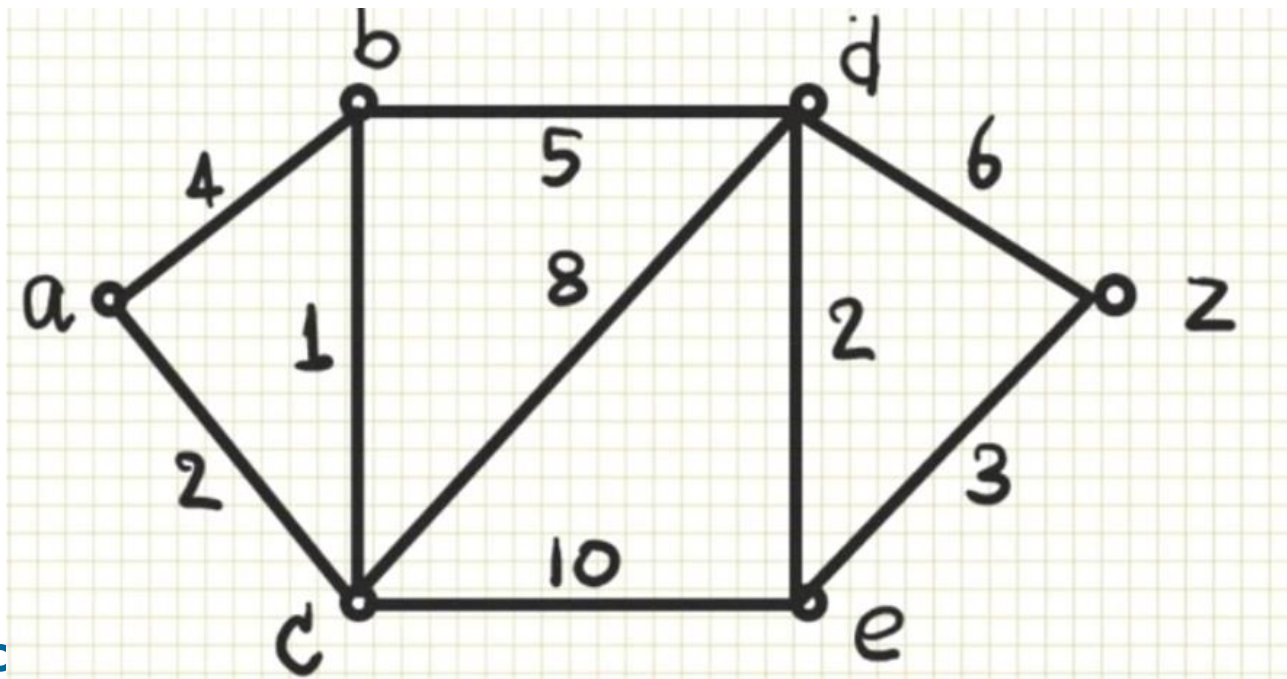


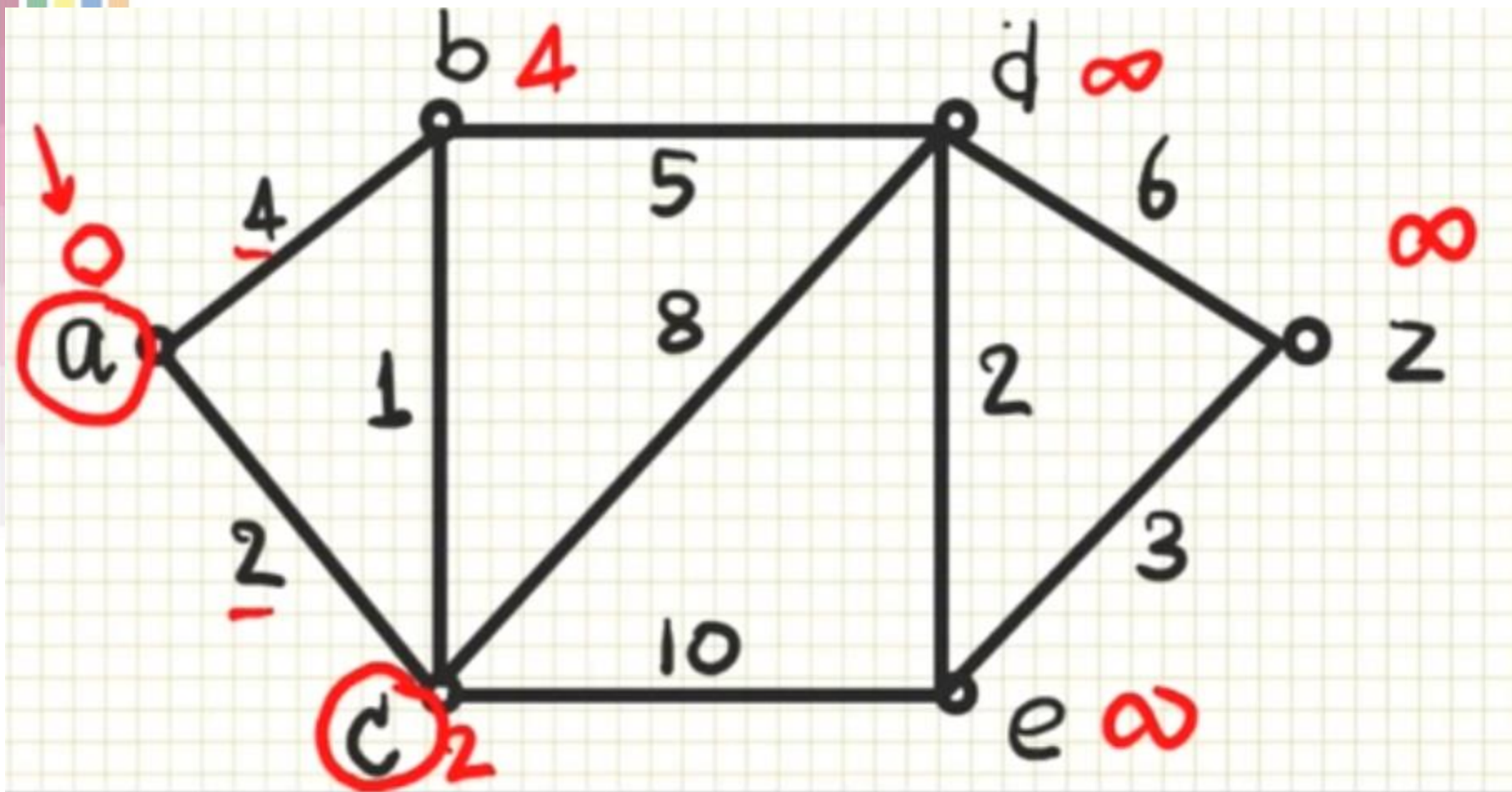


JAK SE HODNOTÍ SÍŤ?

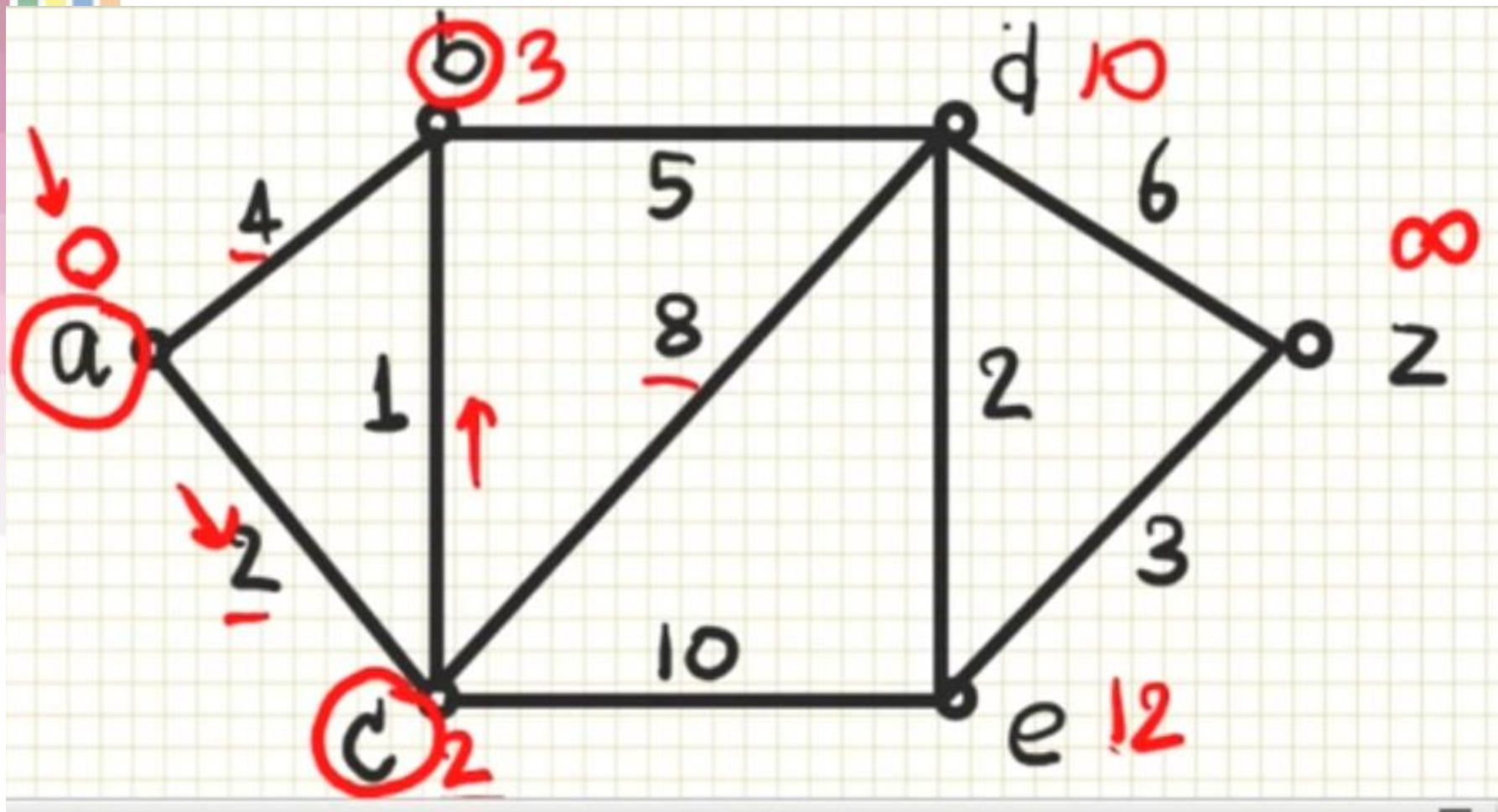
Dijkstra algoritmus

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**.

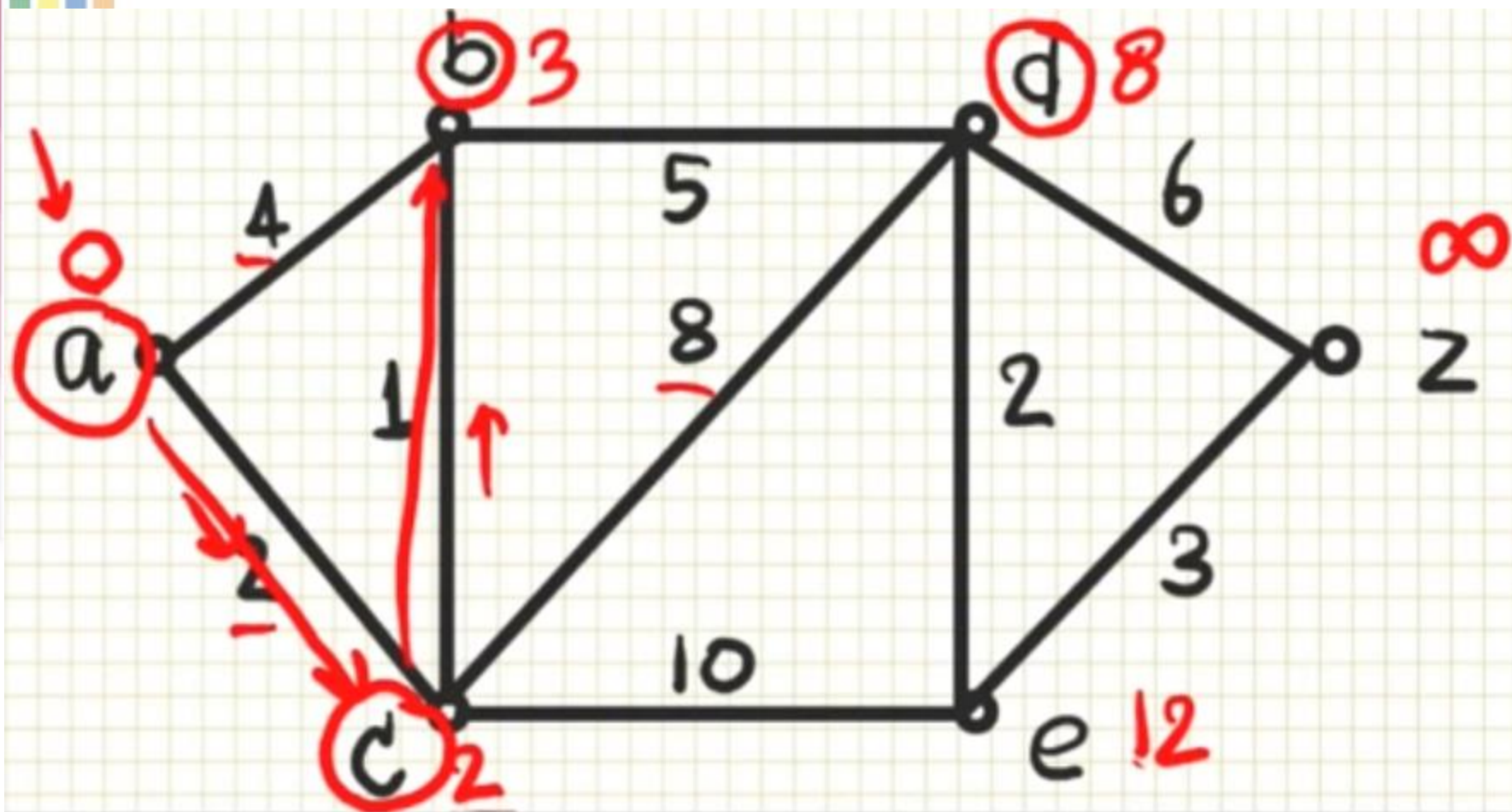


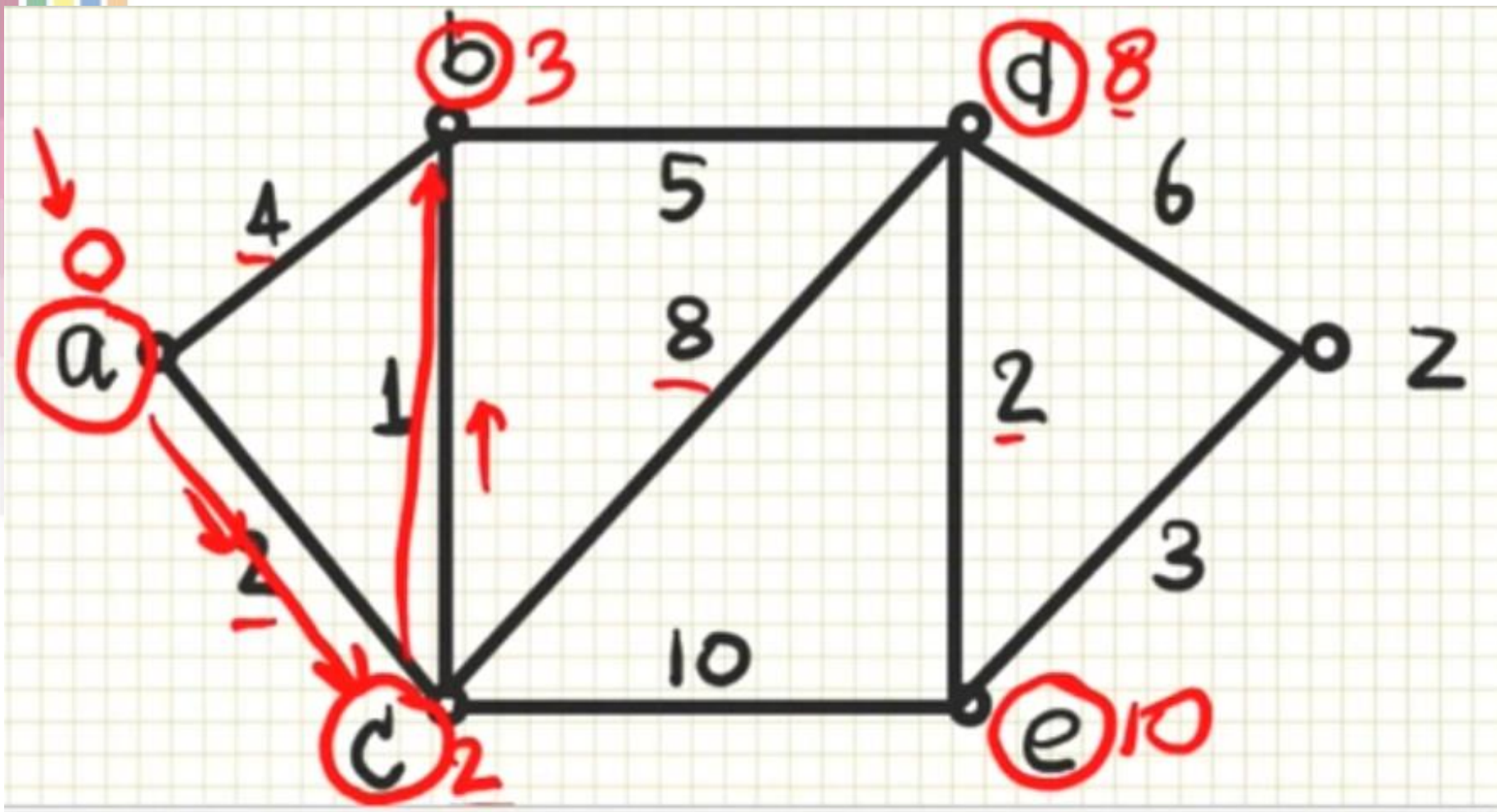


Kartografické modelování

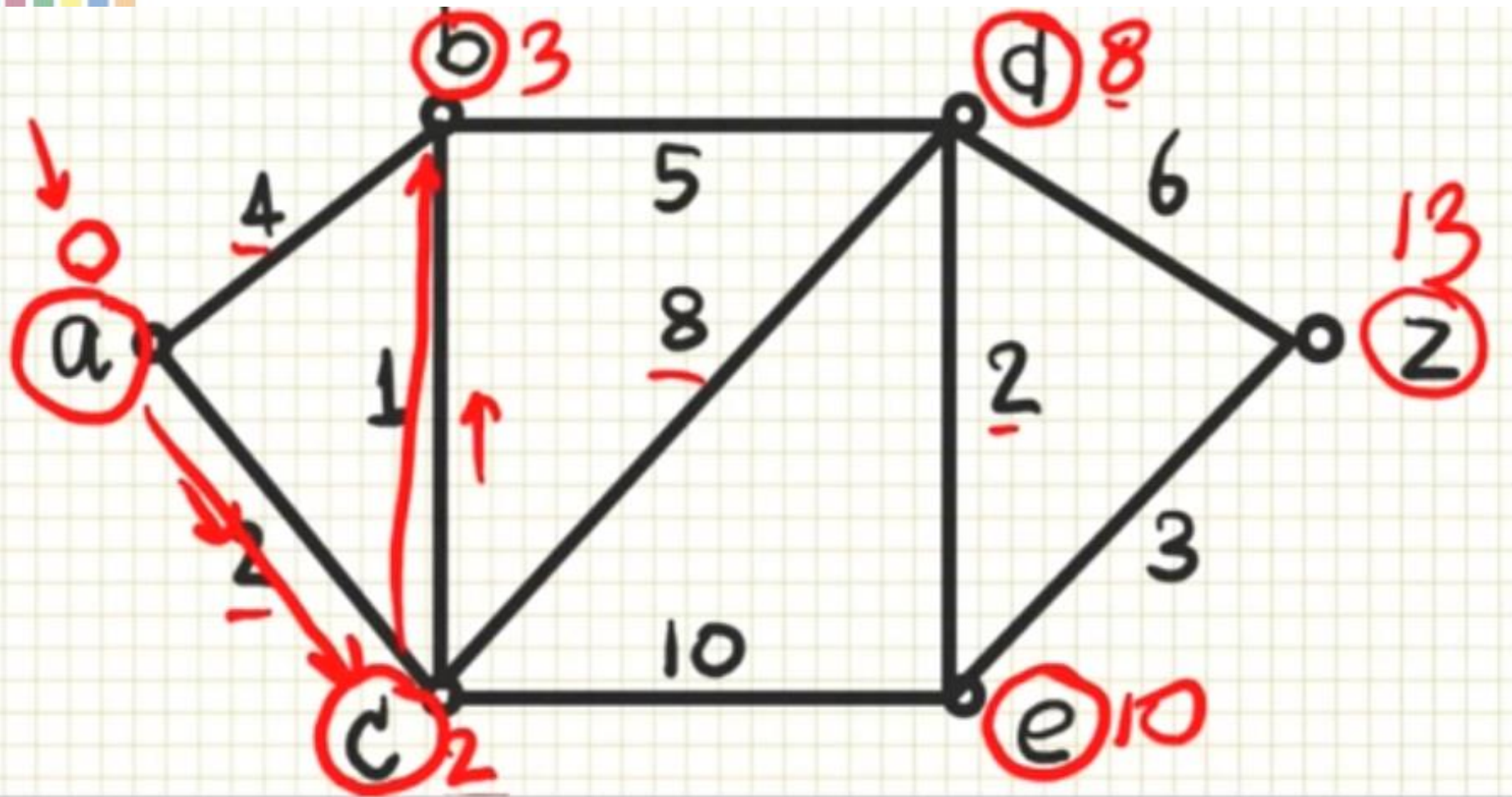


Kartografické modelování





Kartografické modelování



Kartografické modelování

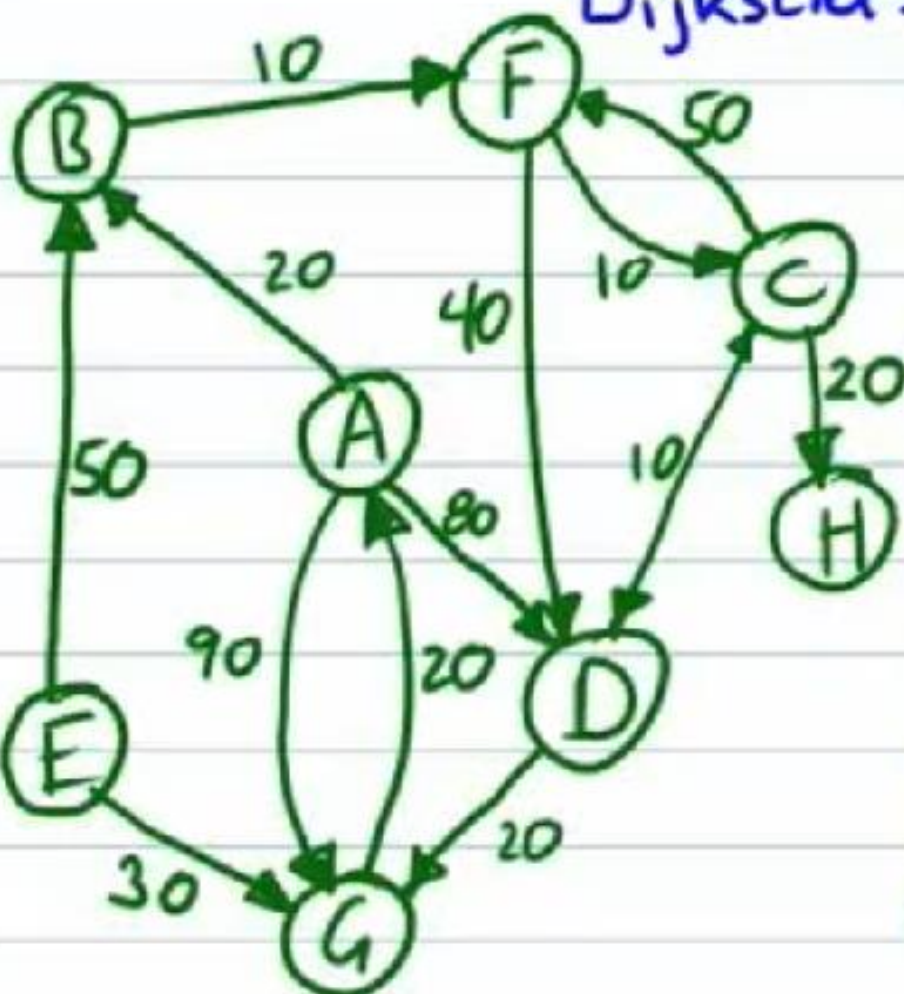


Dijkstra algorithm

Graph Algorithms:
Dijkstra's Algorithm

From
A → B C D E F G H

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧

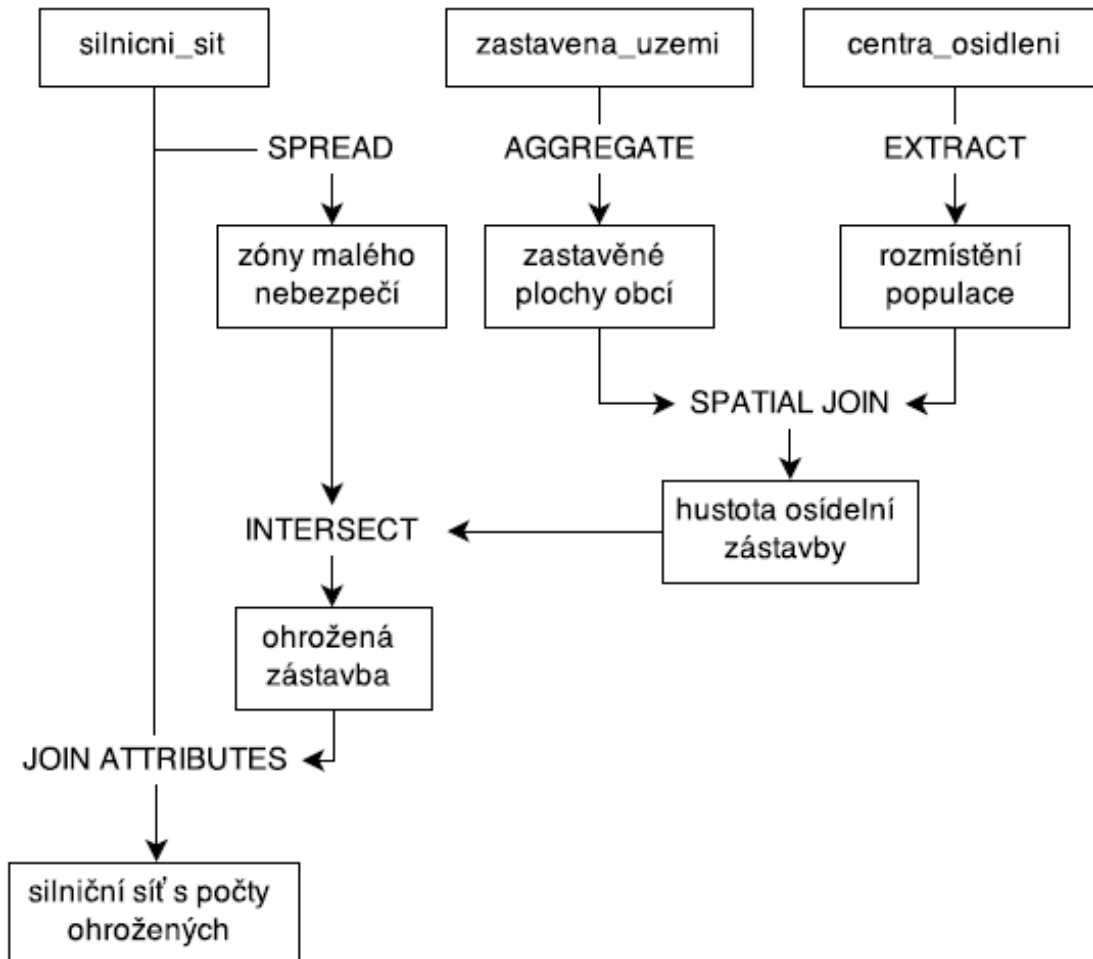




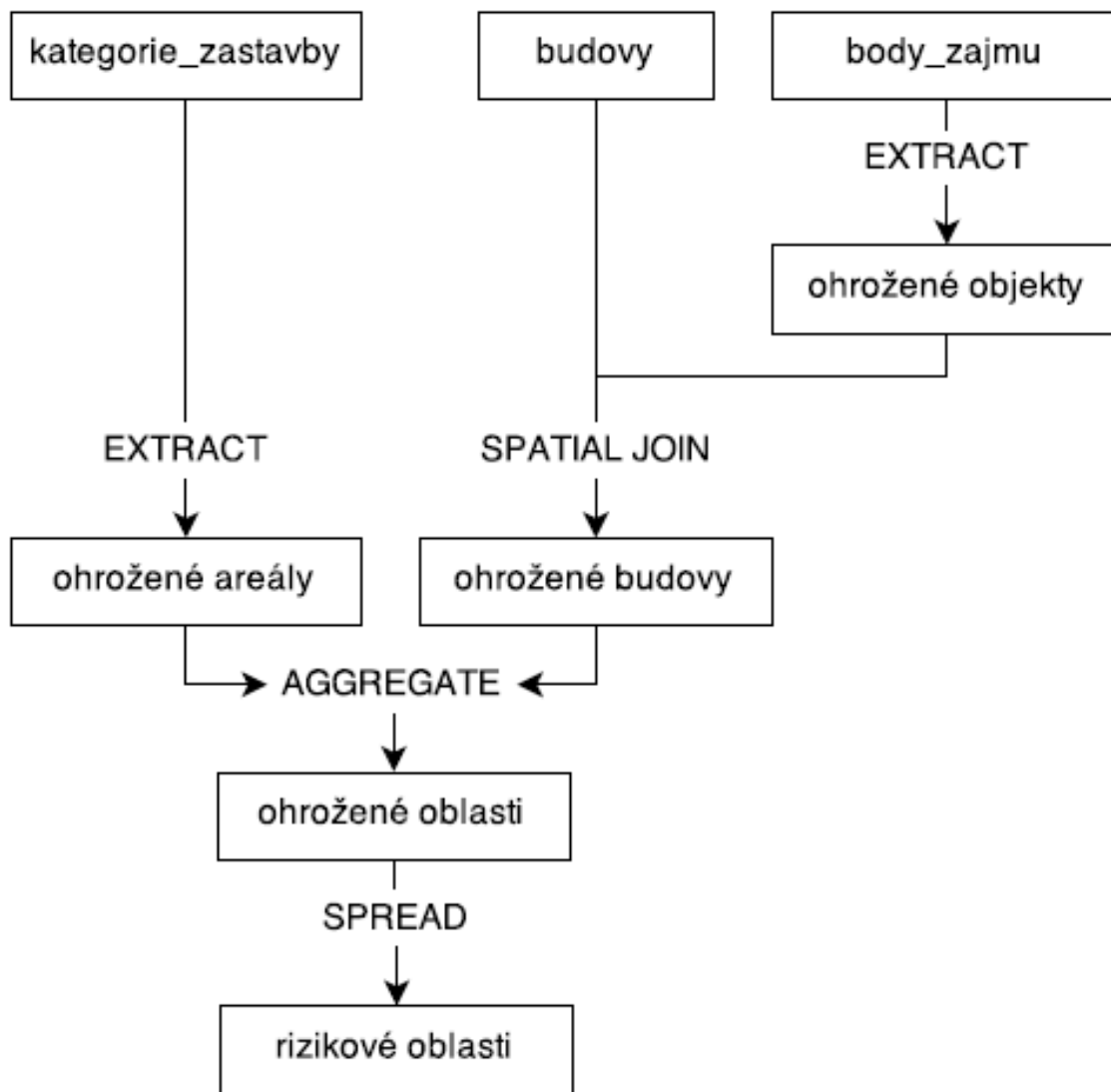
Případová studie – přeprava nebezpečného nákladu (Leitgeb 2015)

- **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



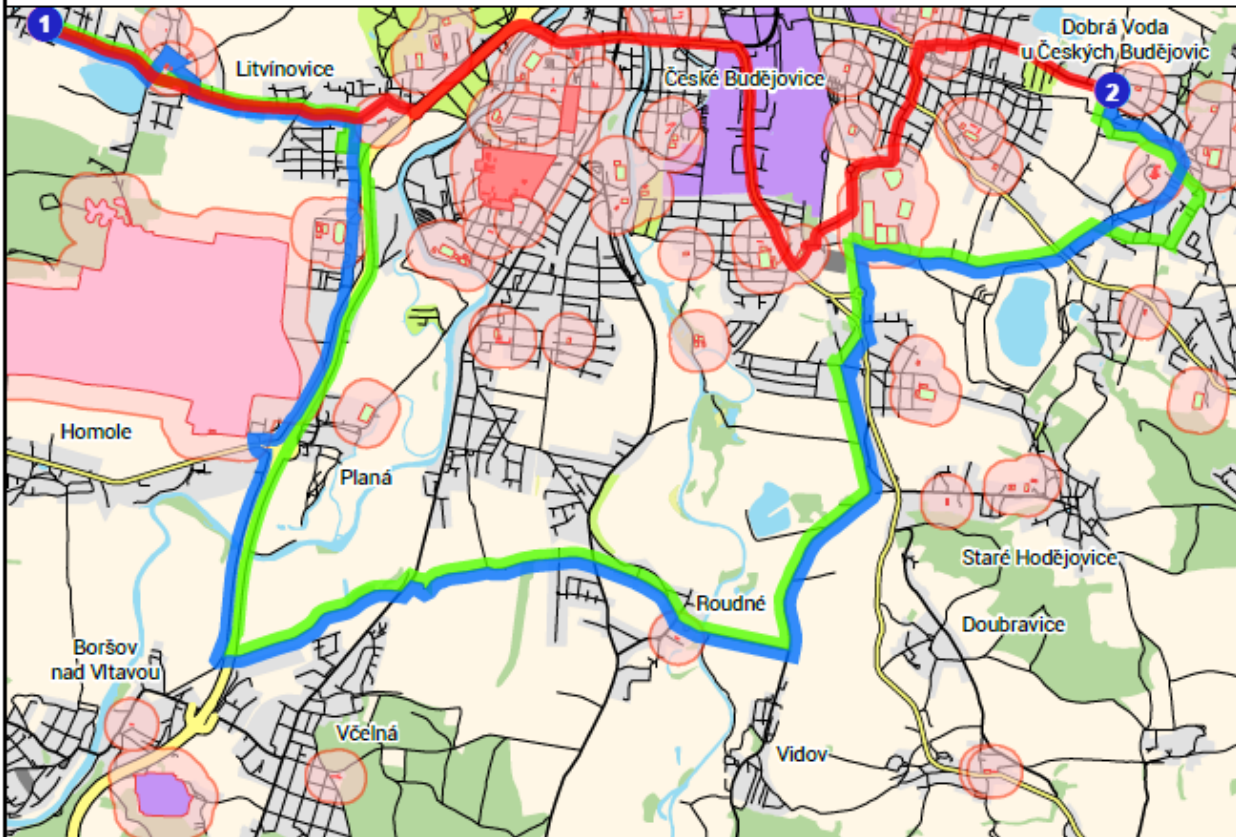
Minimalizace ohrožení citlivých objektů



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

Krajní bod trasy
Trasa A
Trasa B
Trasa C

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