



# **Kartografické modelování**

## **IX – síťové analýzy vzdáleností**

**jaro 2021**

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

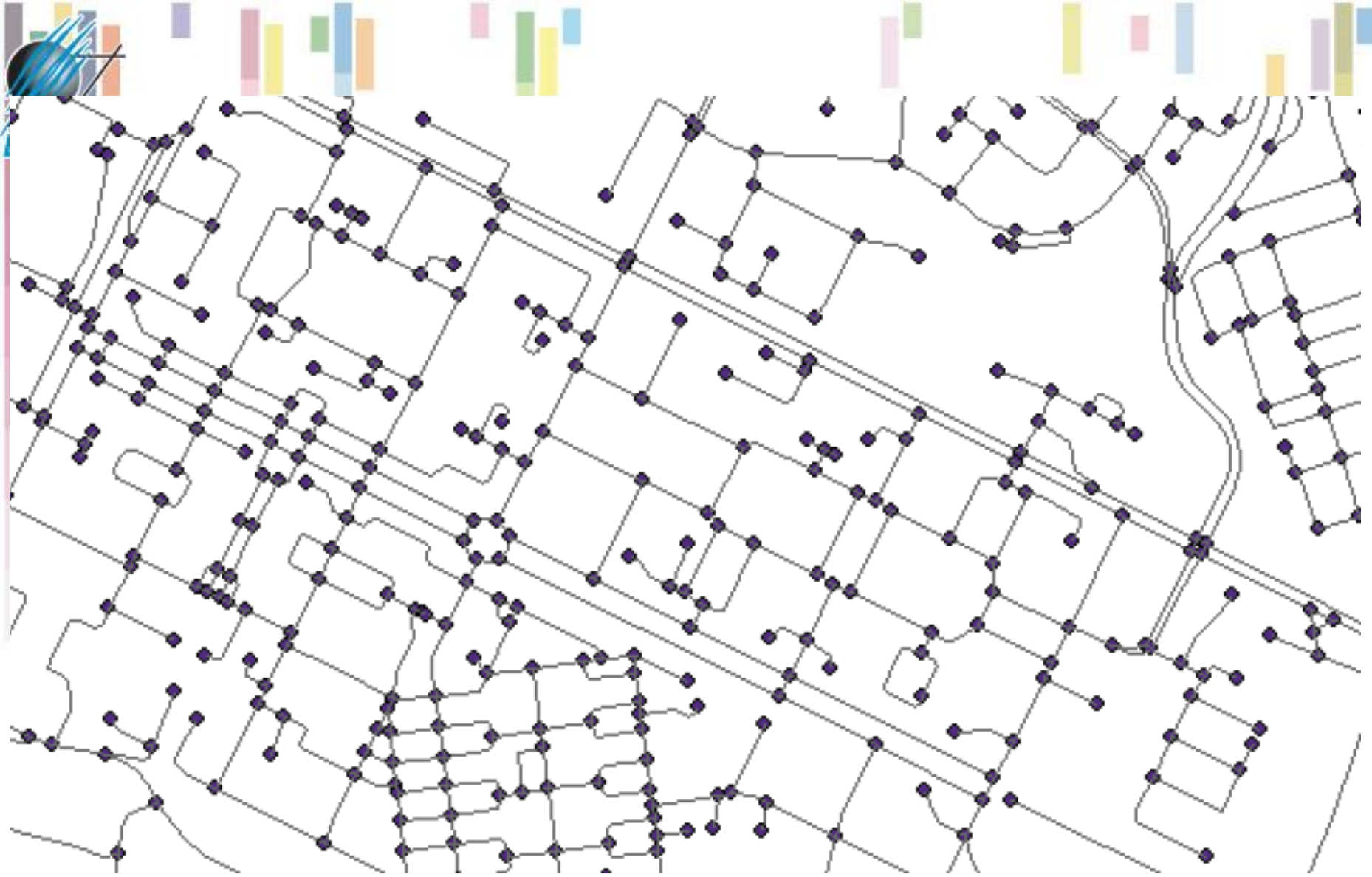
**Laboratory on Geoinformatics and Cartography (LGC)  
Institute of Geography  
Masaryk University  
Czech Republic**



# **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**

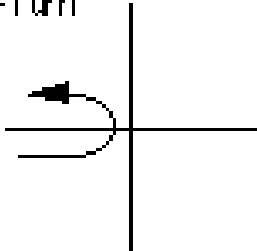
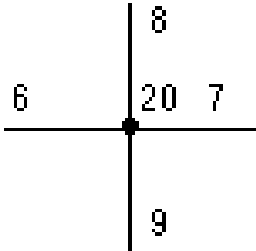

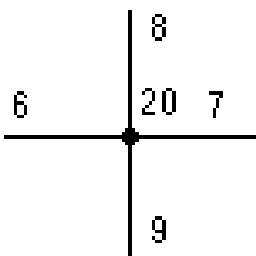

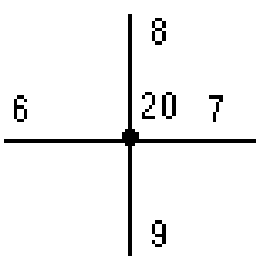
- počet pruhů;
- šířka vozovky;
- typ povrchu vozovky;
- maximální povolená výška pro vozidla.

- **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

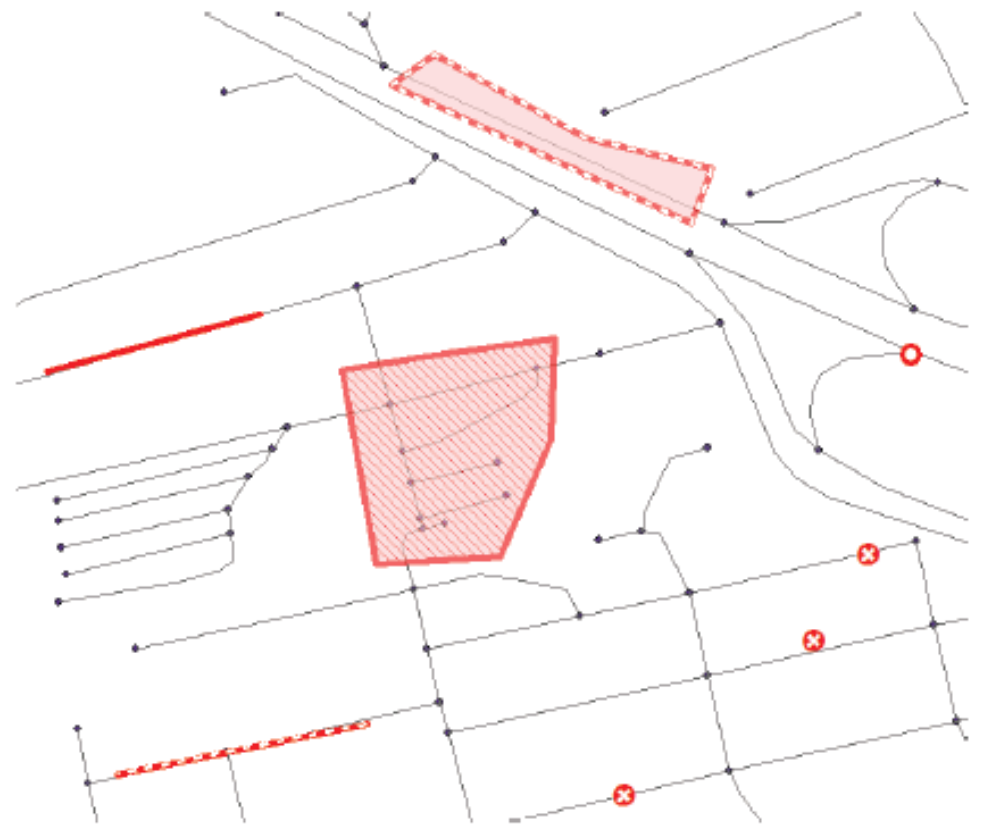
0 = No Impedance  
-1 = No Turn

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**

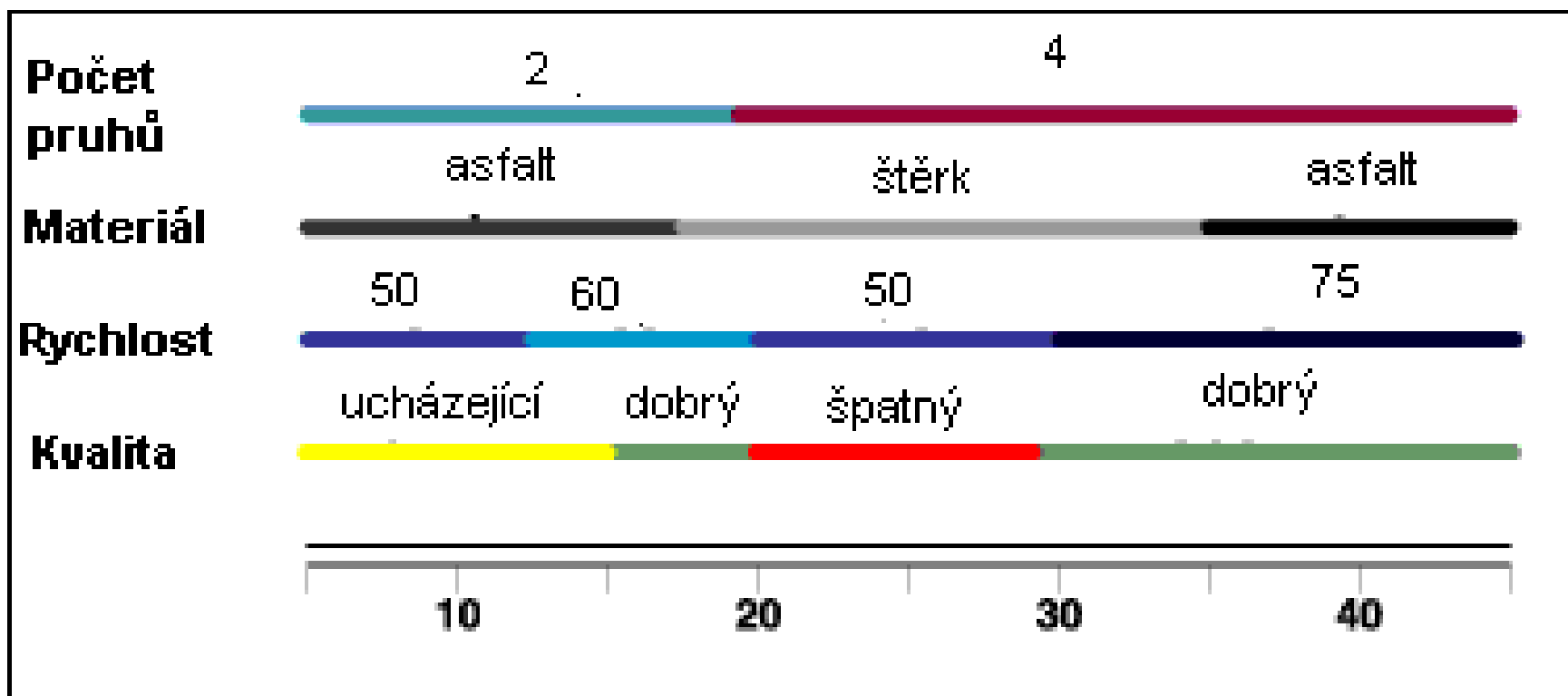






# Dynamická segmentace a lineární referencování

- 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.



**Vztah linie 1: M – jedna linie M atributů**



# Vlastnosti síťového modelu

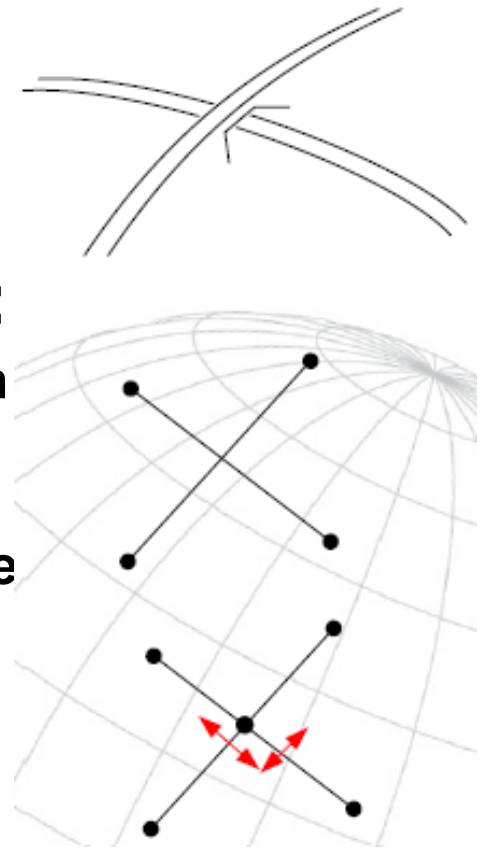
Pravidla umožní simulovat následující vlastnosti:

- **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).

# 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 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



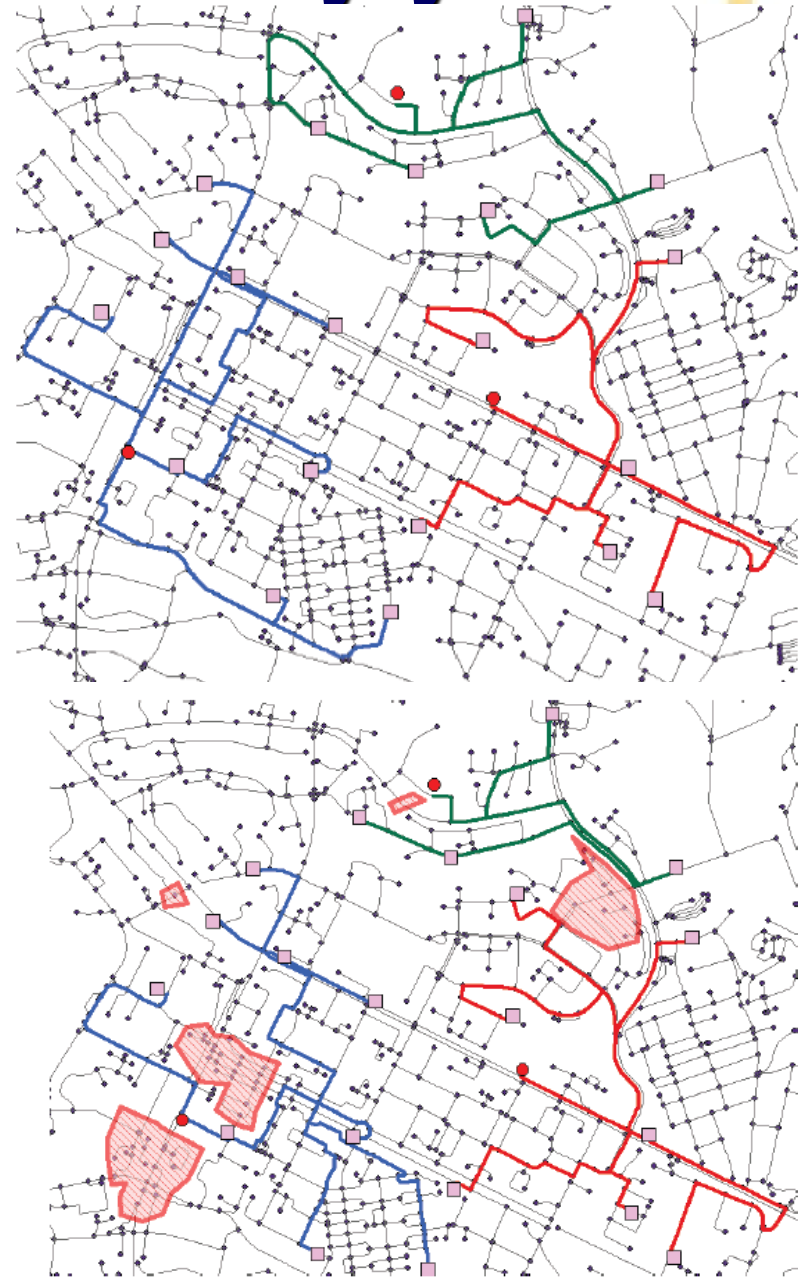


# Vlastní analýzy nad sítí

**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).

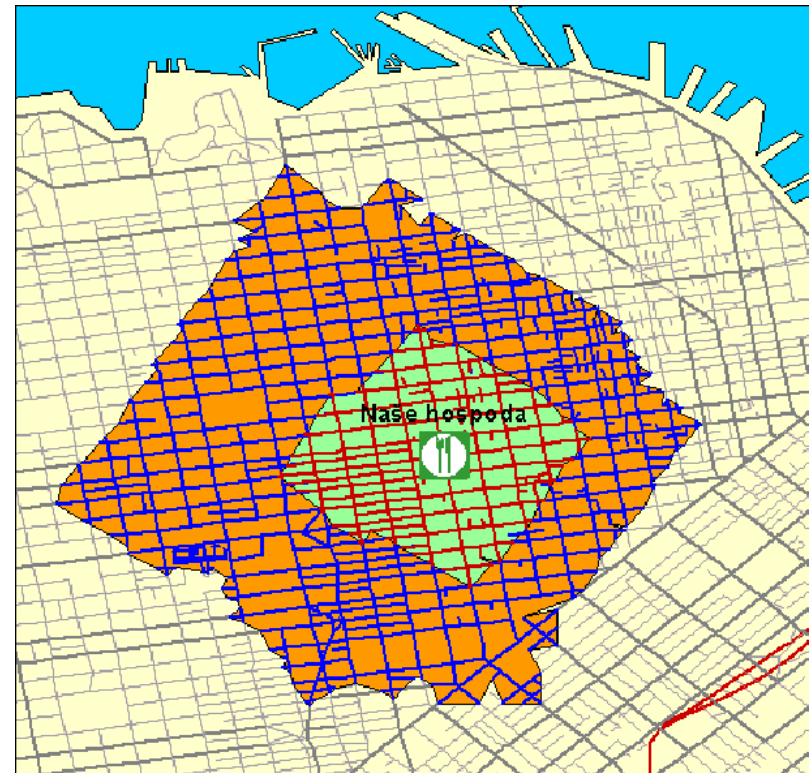
**Kartografické modelování**



# 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.





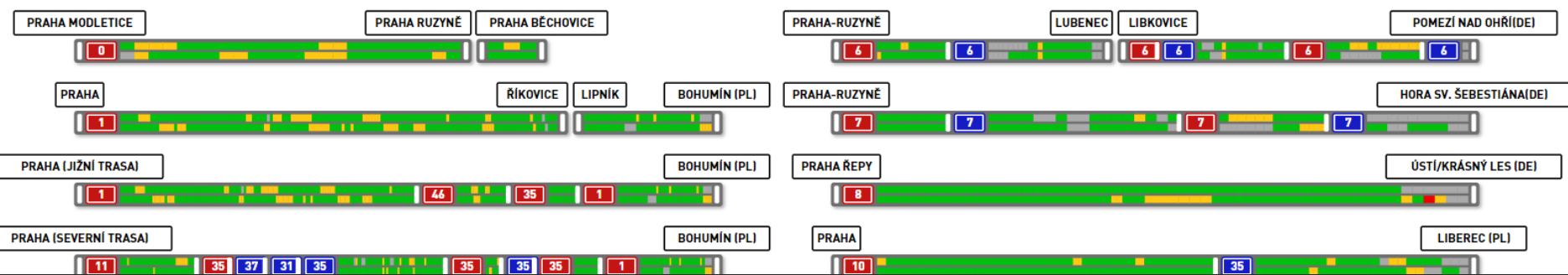
Horák a kol. 2015

**Kartografické modelován**

# Aktuální data pro síťové analýzy

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

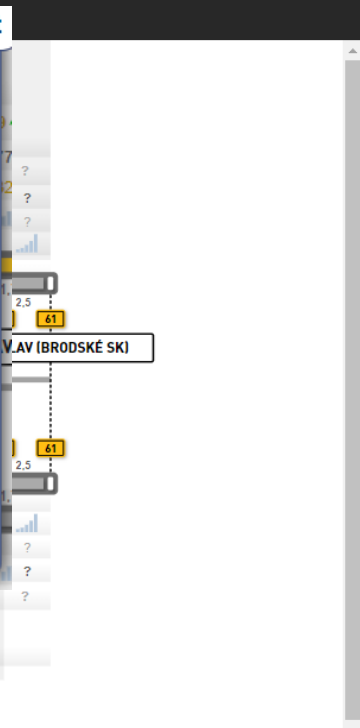
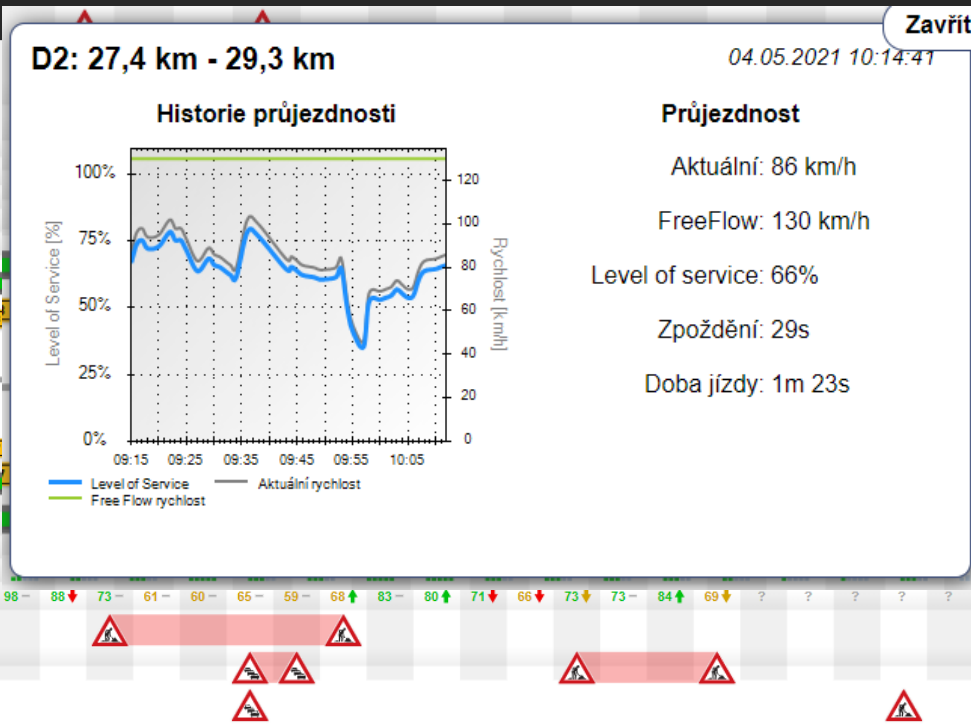
Automatická aktualizace za 23s ↻



## Dálnice D2 Úsek Brno-jih - Břeclav (Brodské SK)

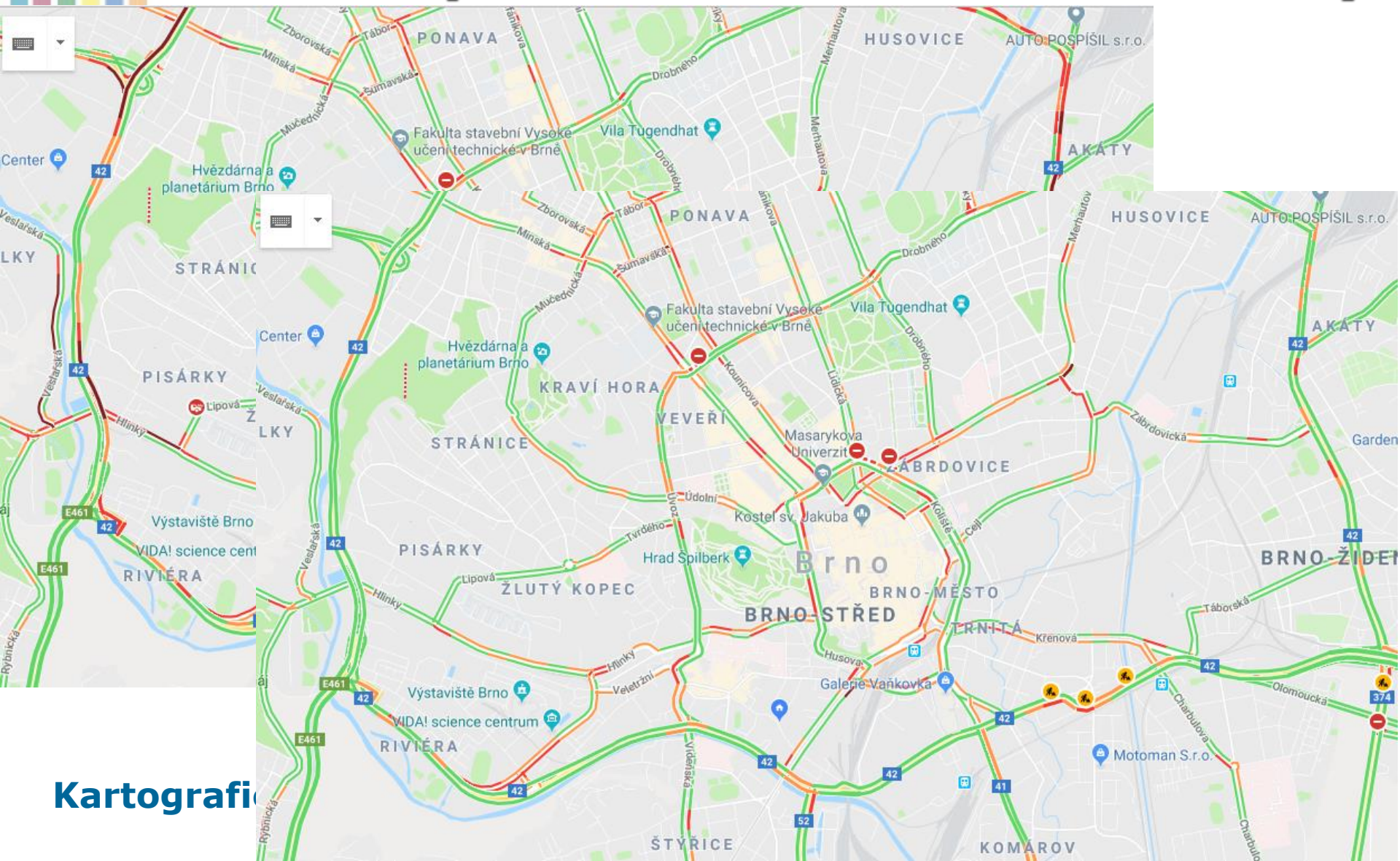
Automatická aktualizace za 21s ↻

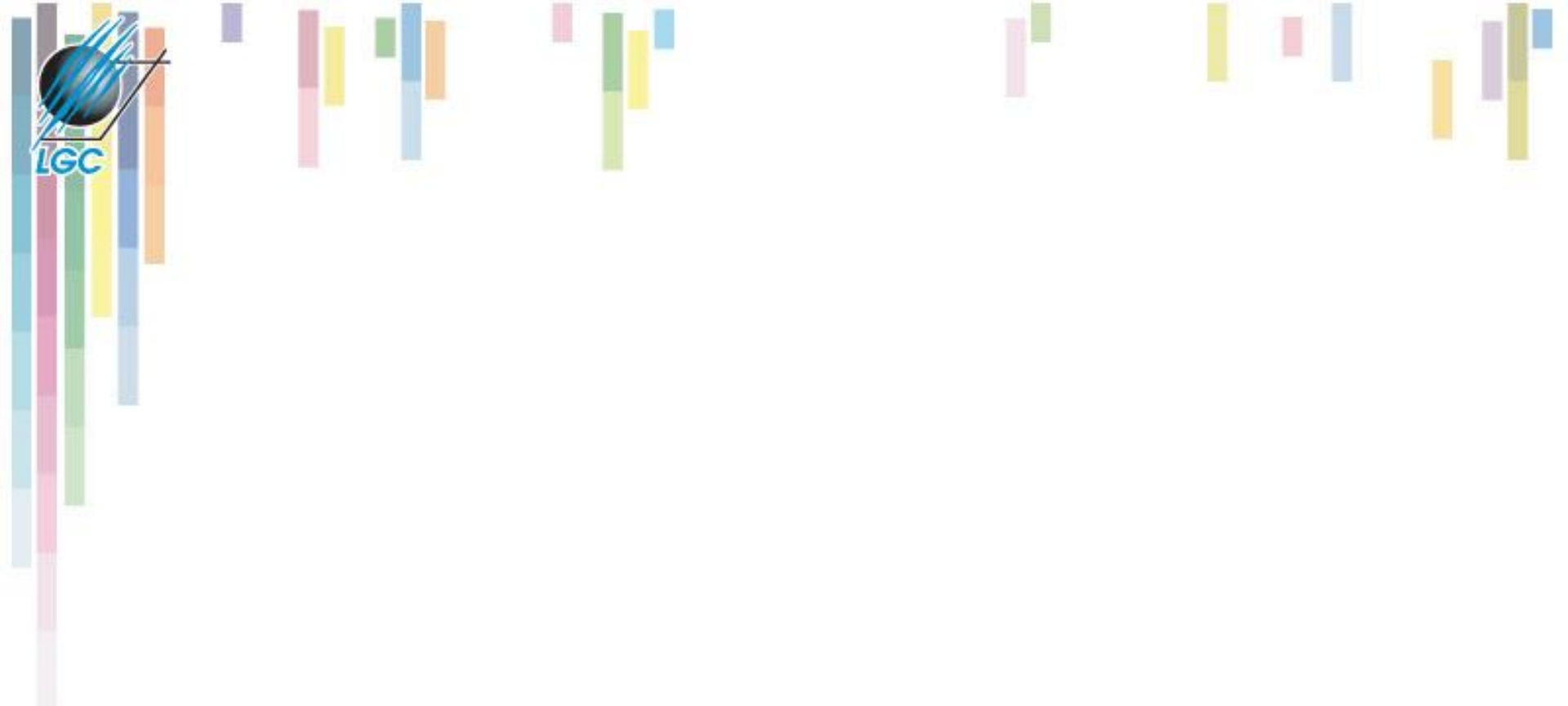
omezení																																			
LoS (%)	87	84	96	100	100	95	96	92																											
rychlost (km/h)	83	105	126	145	135	124	125	120																											
zpoždění (celkem 00:06:22)	+14s	+13s	+1s	0	0	+1s	+3s	+5s																											
spolehlivost (%)	[Bar chart showing reliability for each segment]																																		
délka segm. (km)	3,2	2,2	2,0	2,0	2,6	1,4	2,0	2,4																											
kilometr	0	3	5	7	9	12	13	15	18																										
obec	BRNO-JIH		BLUČINA																																
silnice	2	1	152	41	7	9	12	13	15	17																									
sjezdy/nájezdy	[Diagram showing junctions]																																		
kilometr	0	3	5	7	9	12	13	15	17																										
délka segm. (km)	2,8	2,5	2,0	2,0	2,1	1,9	2,0	2,0																											
spolehlivost (%)	[Bar chart showing reliability for each segment]																																		
zpoždění (celkem 00:07:18)	+2s	+17s	+12s	+10s	+15s	+9s	+22s	+10s																											
rychlost (km/h)	98	101	107	112	107	109	93	108																											
LoS (%)	97	79	82	86	82	83	71	83	98	88	73	61	60	65	59	68	83	80	71	66	73	73	84	69	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
omezení	[Traffic icons showing road conditions]																																		





# Dopravní tok a časové změny

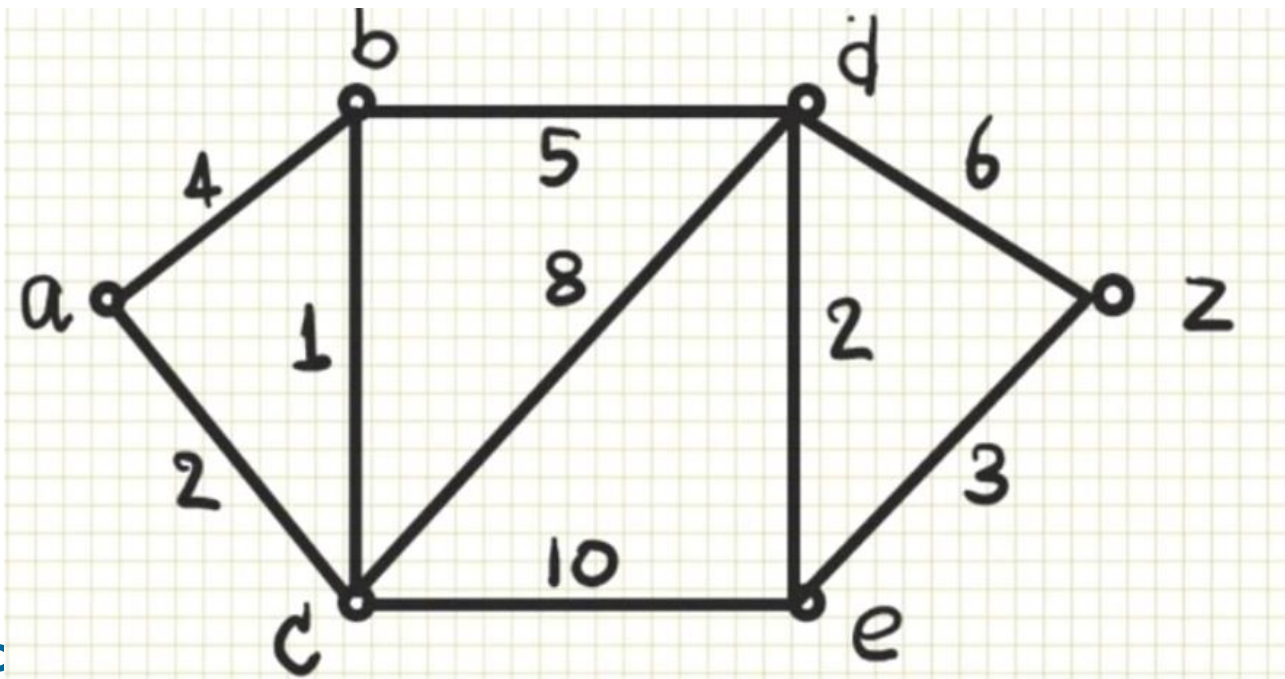


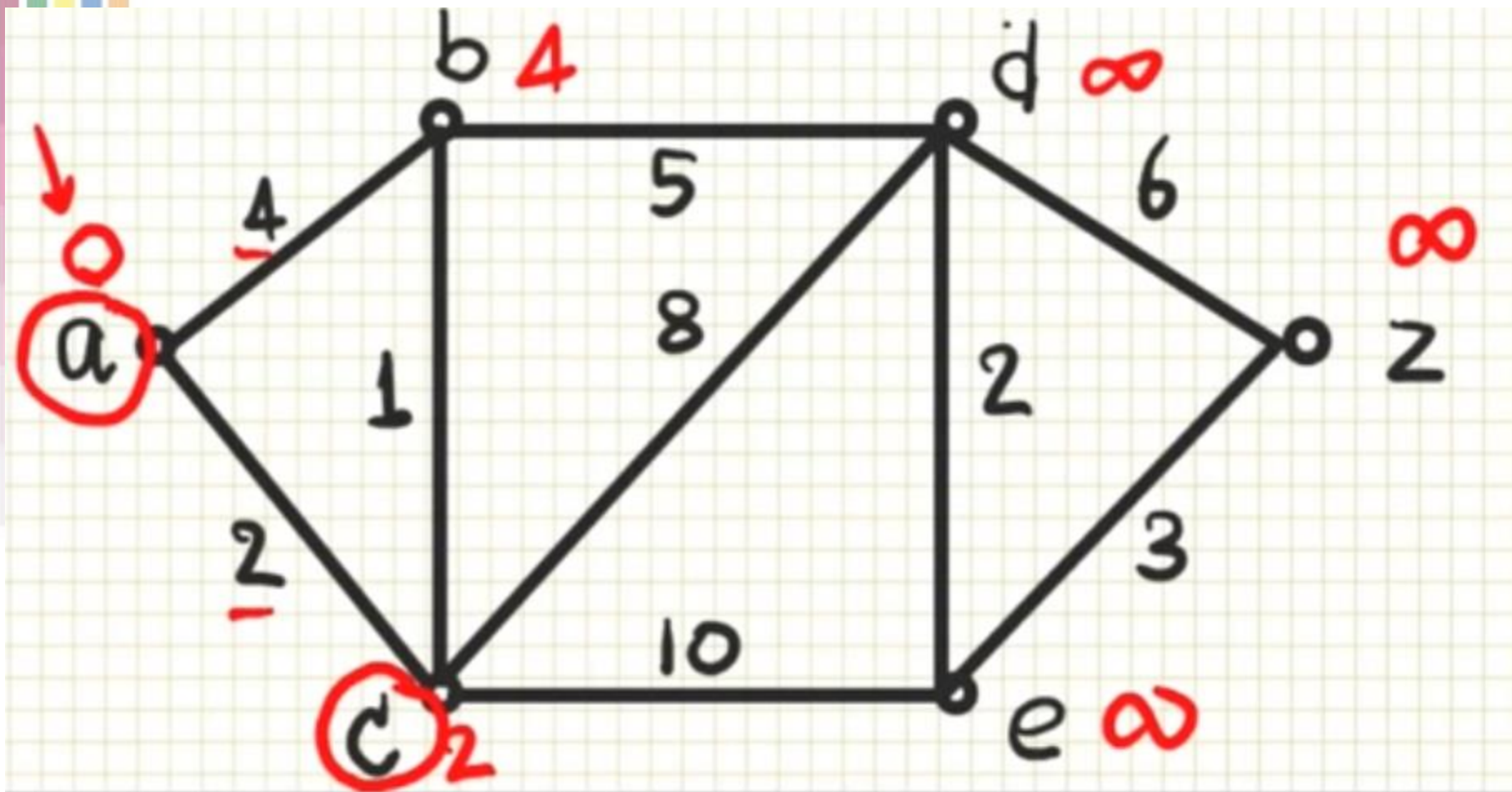


# JAK SE HODNOTÍ SÍŤ?

# Dijkstra algoritmus

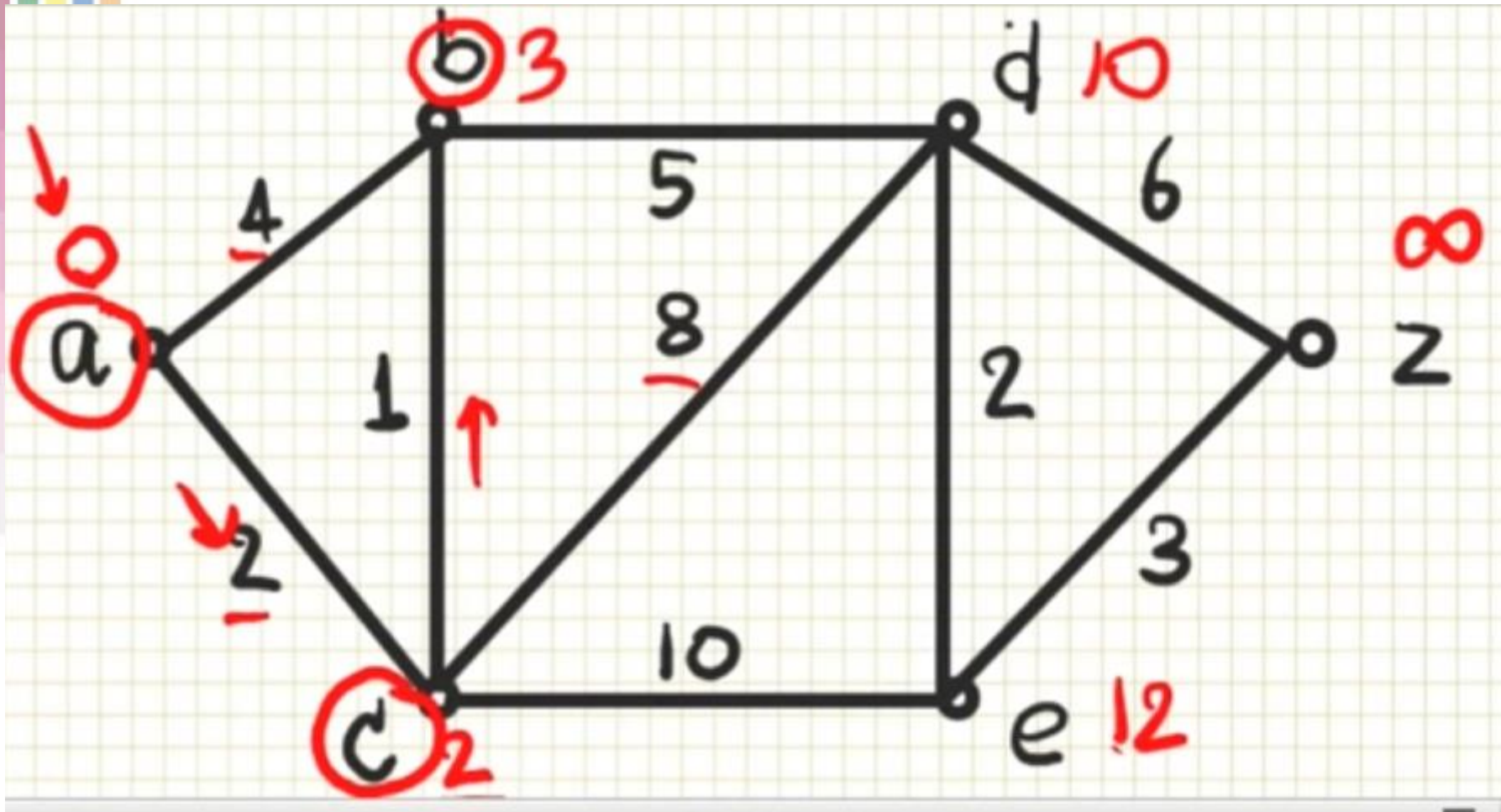
Algoritmus sloužící k nalezení **nejkratší cesty v grafu**. Je **konečný** (pro jakýkoliv konečný vstup algoritmus skončí), protože v každém **průchodu** cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá **právě jeden uzel**, průchodů cyklem je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů. Funguje nad **hranově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



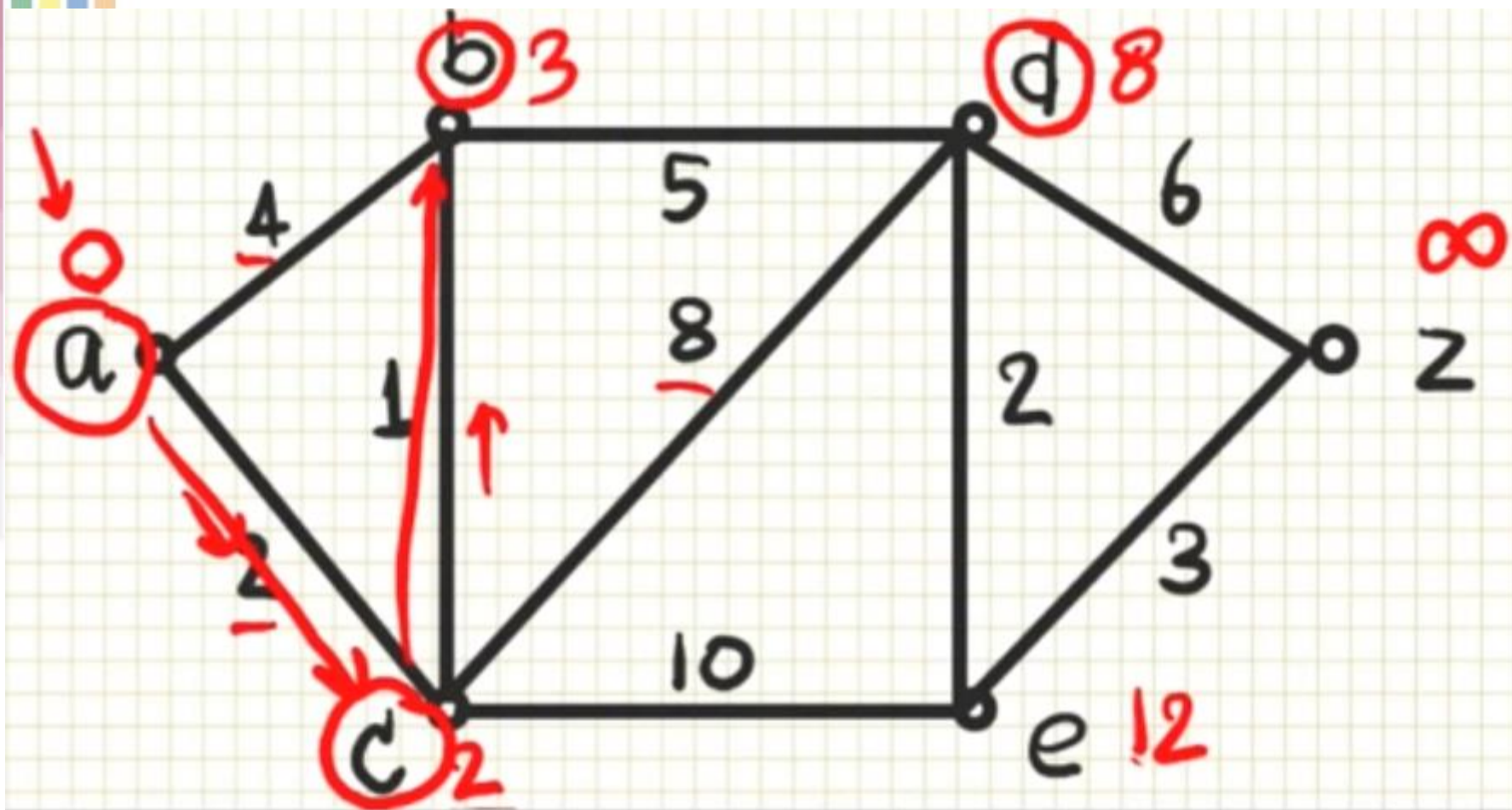


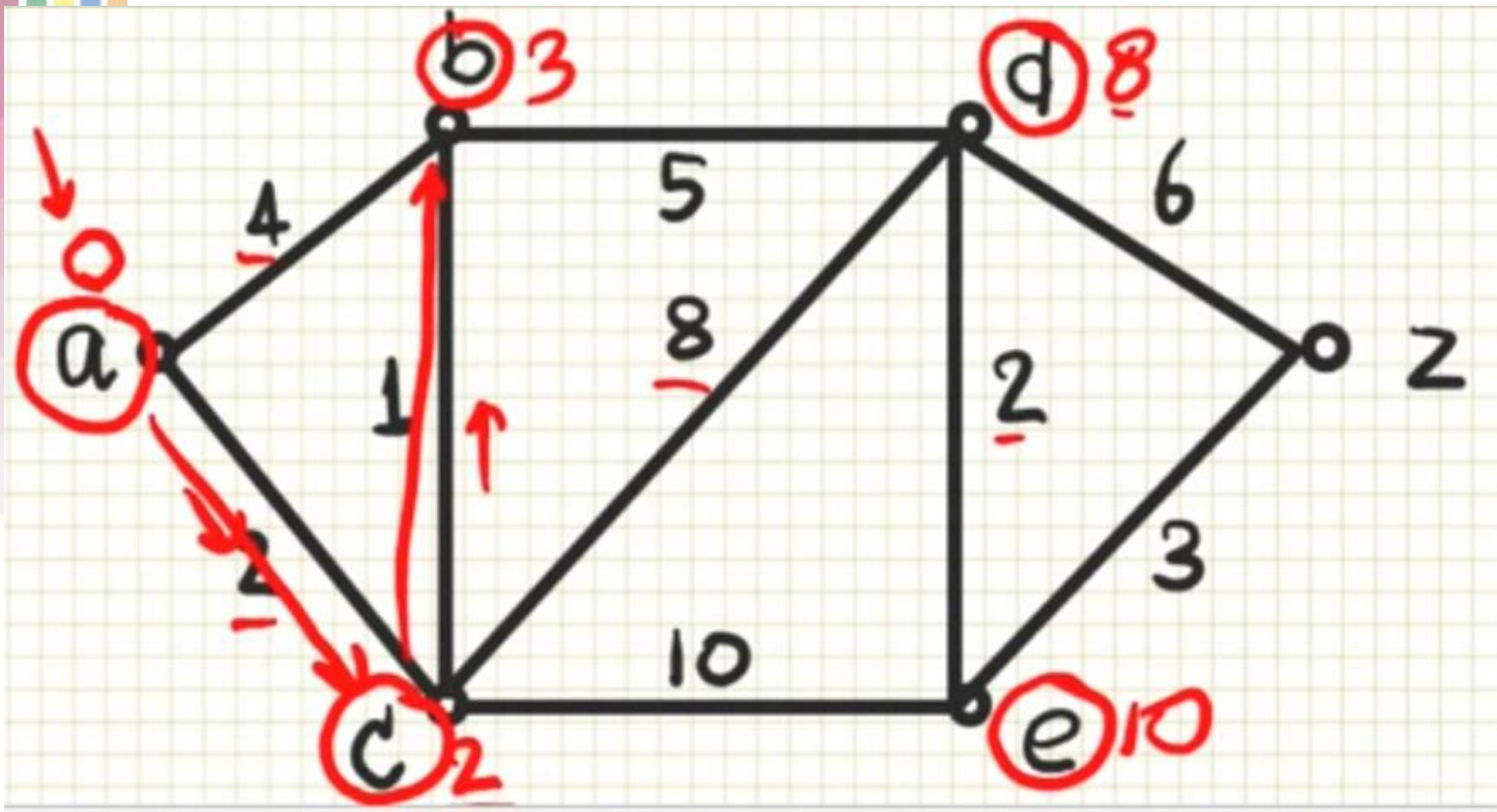
## Kartografické modelování



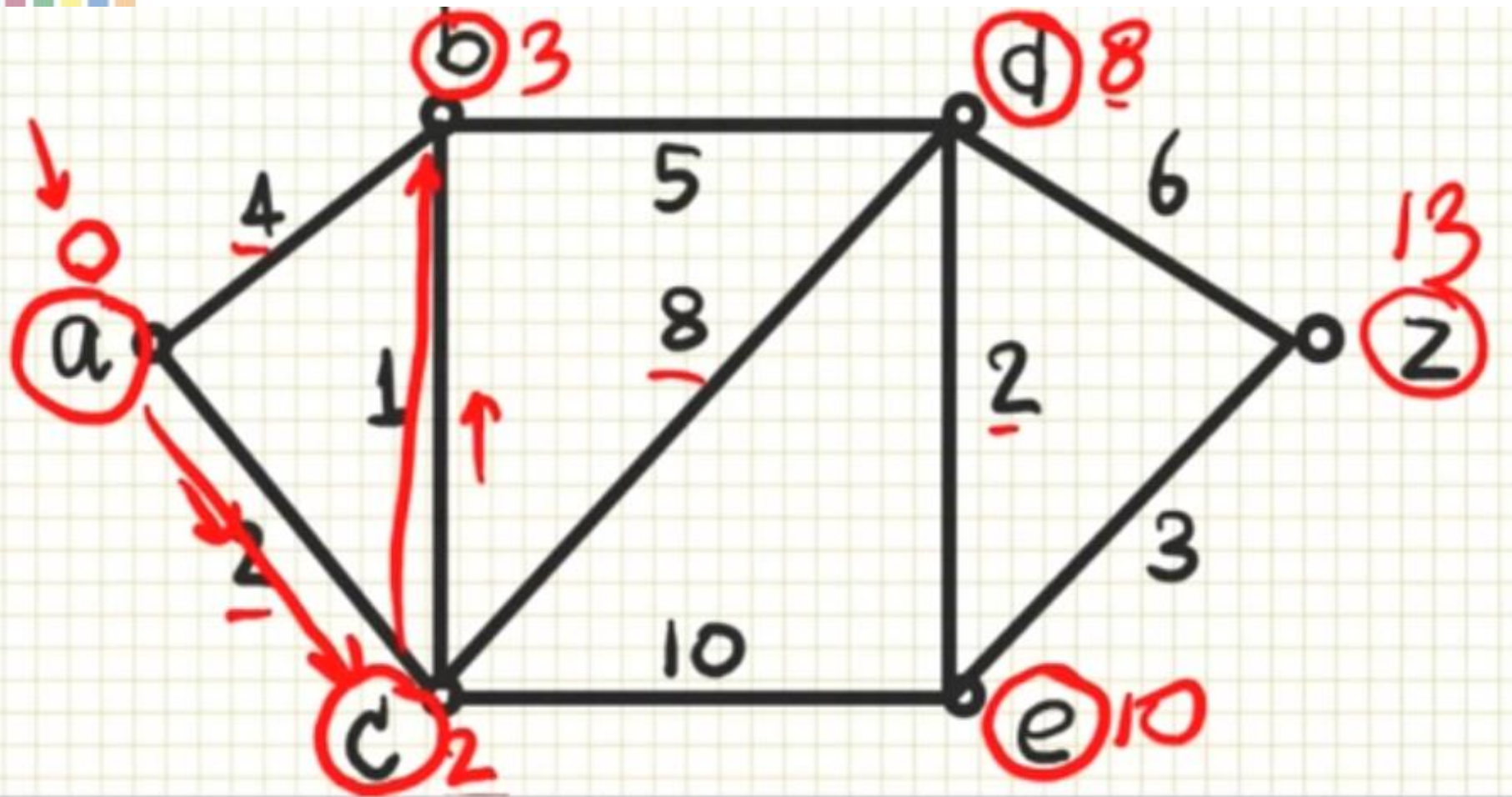


## Kartografické modelování





Kartografické modelování



Kartografické modelování

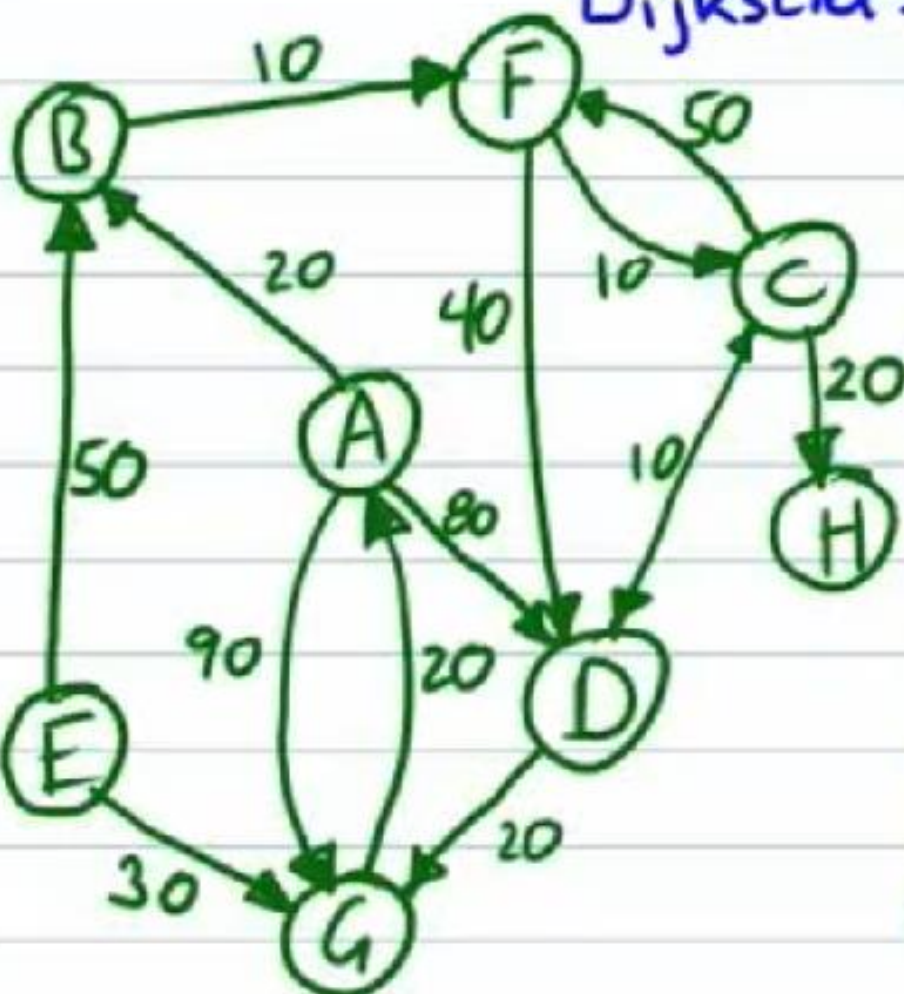


# Dijkstra algorithm

Graph Algorithms:  
Dijkstra's Algorithm

From  
A → B C D E F G H

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧

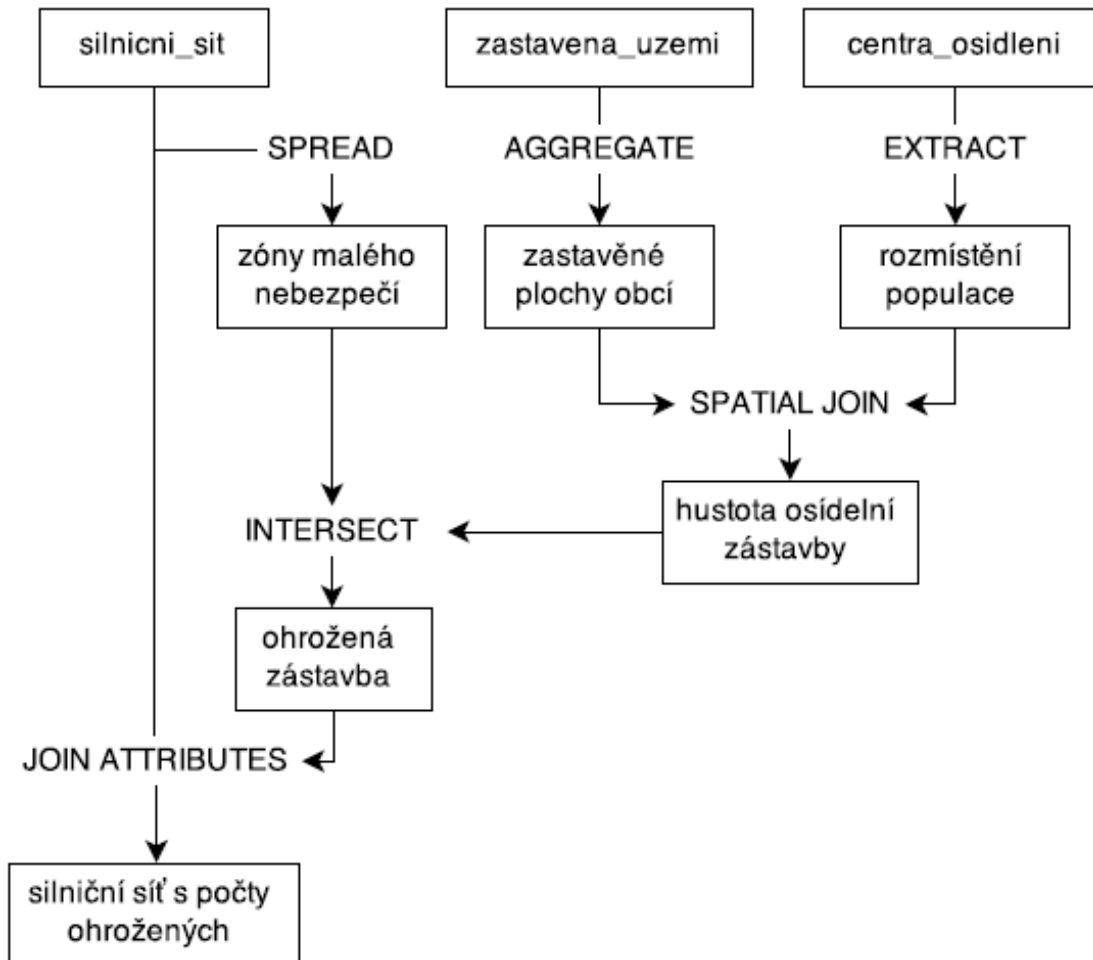




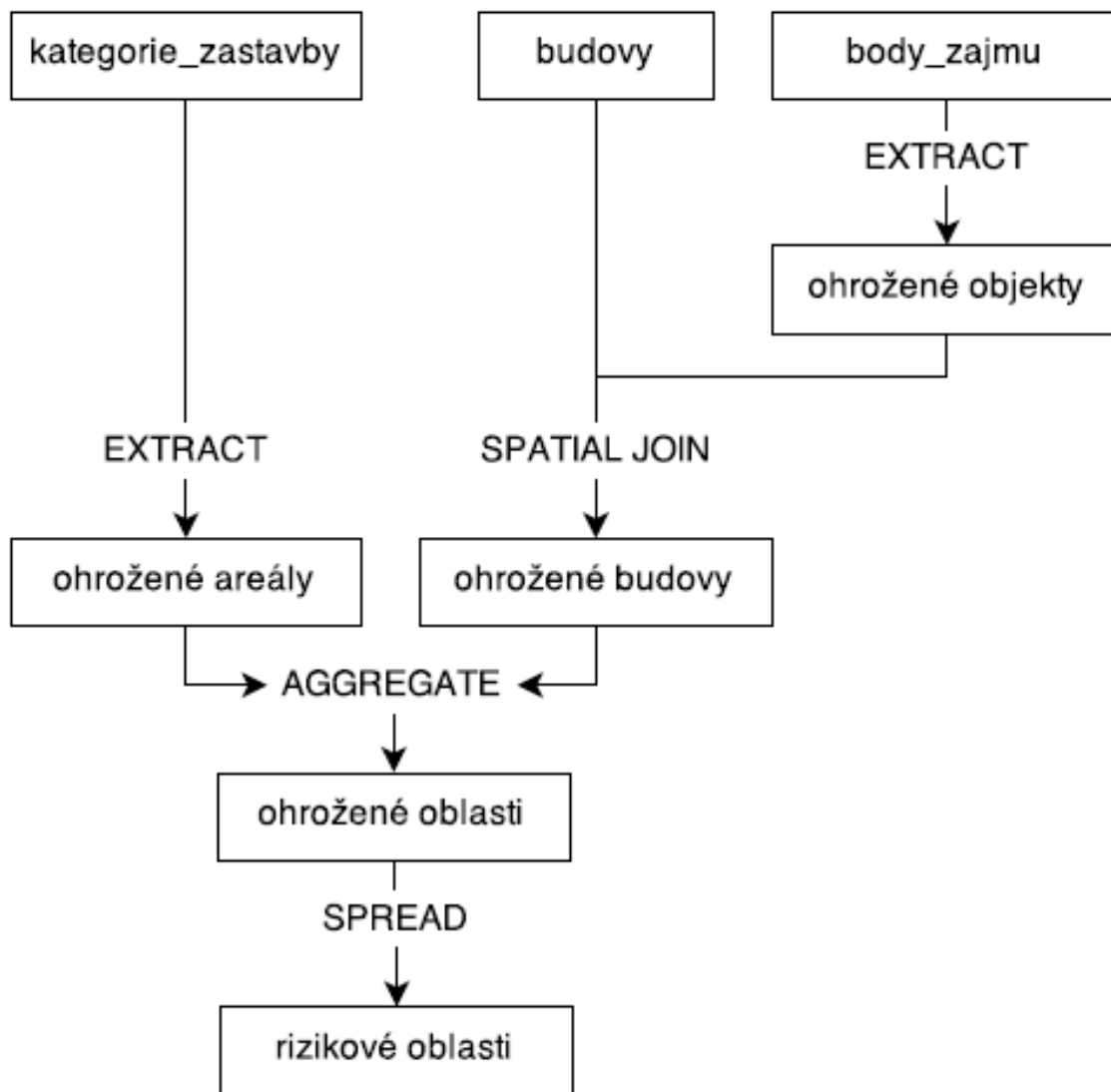
# Případová studie – přeprava nebezpečného nákladu (Leitgeb 2015)

- **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

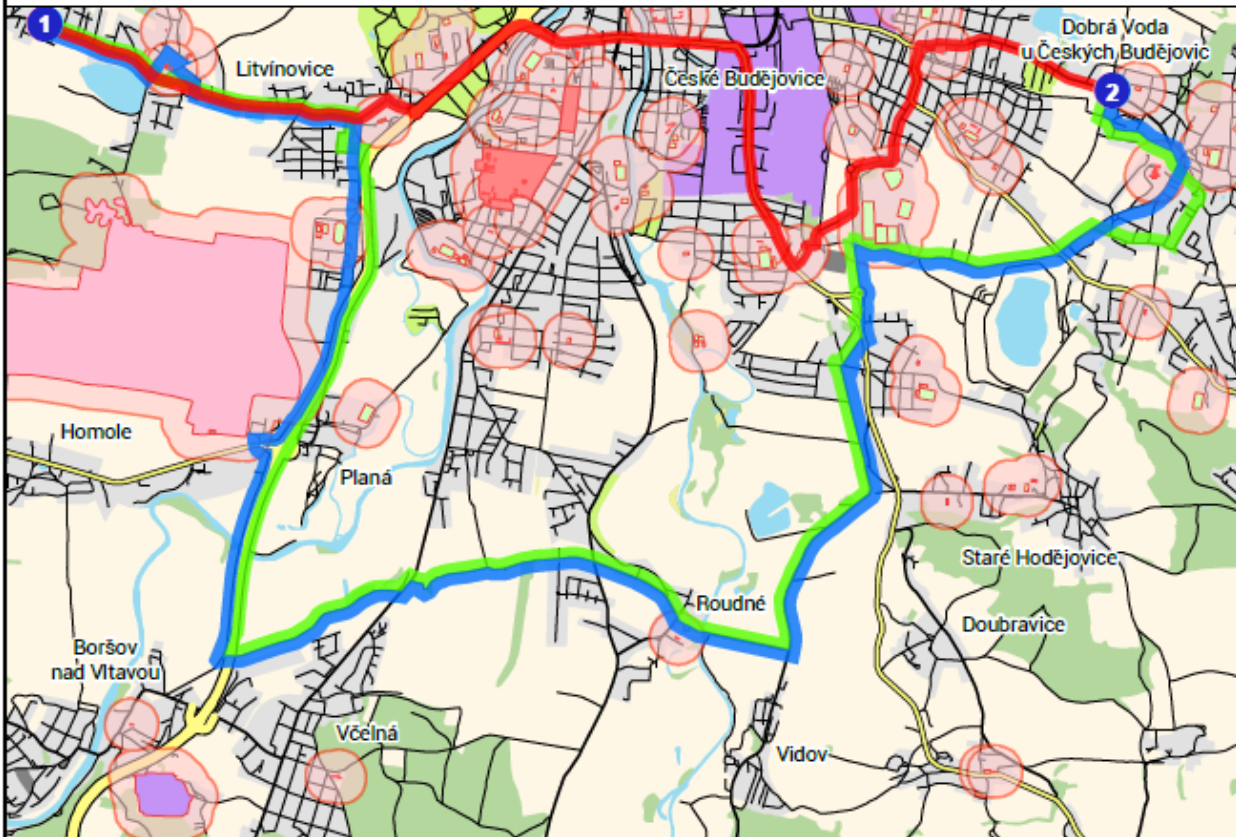




# OPTIMALIZACE TRASY PŘEVOZU VÝBUŠNIN NA MODELOVÉM ÚZEMÍ ČESKOBUDĚJOVICKA

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

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