



# Kartografické modelování

## VIII – síťové analýzy vzdáleností

jaro 2018

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

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



# Výsledek Cost distance

- 0 – je pro zdrojové buňky.
- No data – zůstávají bez hodnot.
- **Minimální** nákladová vzdálenost k **nejbližšímu zdroji**.

1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0
1.4	1.0	0.0	1.0	2.0	3.0
2.2	1.4	1.0	1.4	2.2	3.2
2.0	2.2	2.0	2.2	2.8	3.6
1.0	1.4	2.2	3.2	3.6	4.2
0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

Eukleid

	1	1			
		1			
2					

Source\_Ras

1	3	4	4	3	2
7	3	2	6	4	6
5	8	7	5	6	6
1	4	5		5	1
4	7	5		2	6
1	2	2	1	3	4

Cost\_Ras

=

2.0	0.0	0.0	4.0	7.5	10.0
6.0	2.5	0.0	4.0	9.0	13.9
8.0	7.1	4.5	5.0	10.5	12.7
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.5		7.1	11.1
0.0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

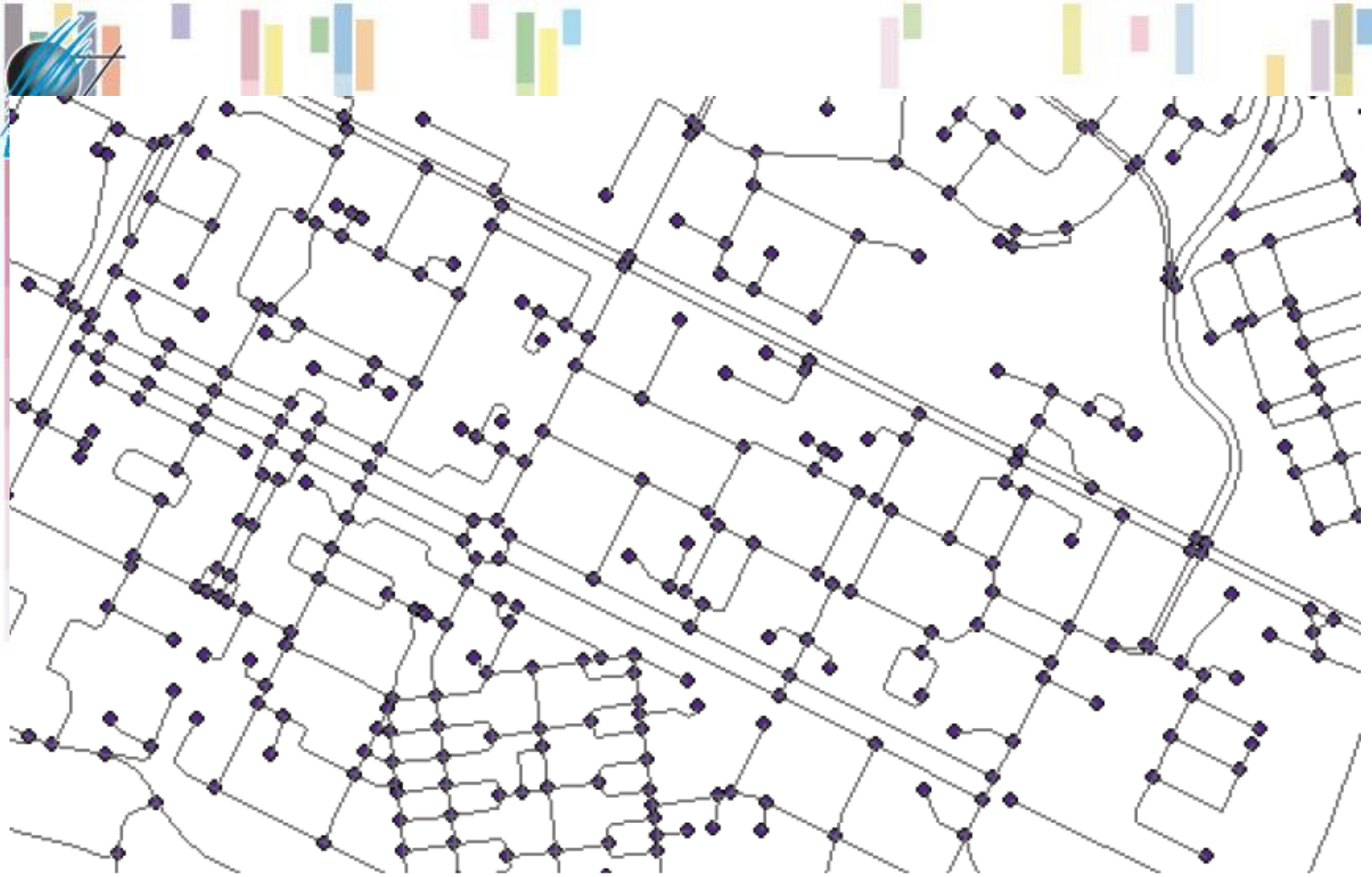
Cost\_Dist



# **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:

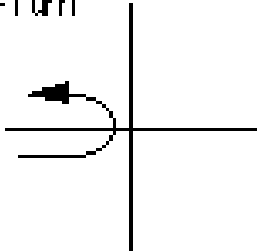
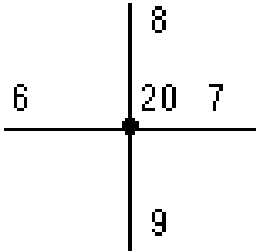

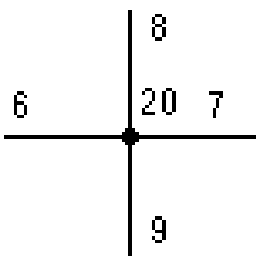

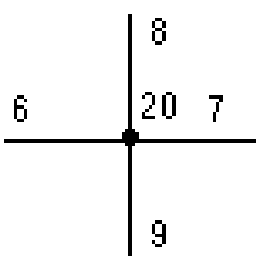
- **Uzlová pravidla** definují směr pohybu uzlem.
  - Například, pokud budu mít uliční síť, na některých křižovatkách není povoleno odbočení doleva či doprava.
  - Náklady na odbočení v různých směrech.
- **Hranová pravidla** definují směr a rychlost pohybu po hraně.
  - Ulice mohou být jednosměrné,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

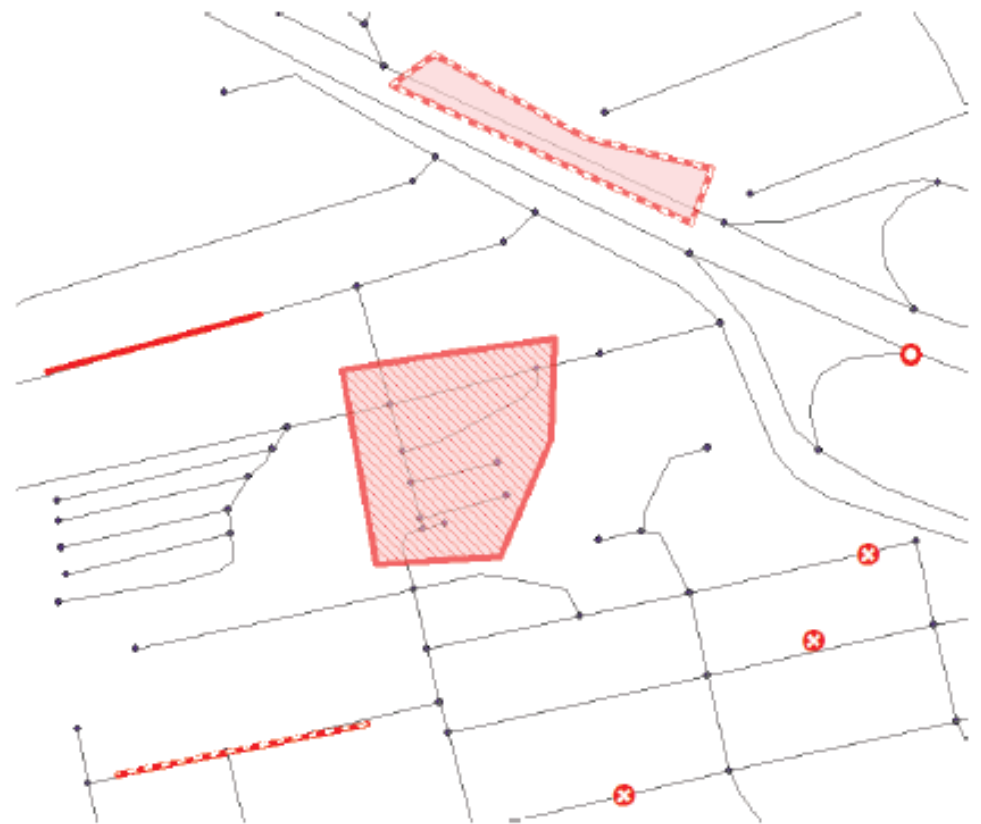
Situation	Representation	Turntable																				
U-Turn 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE#</th> <th>FROM ARC#</th> <th>TO ARC#</th> <th>ANGLE</th> <th>TIME IMPEDANCE (seconds)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>180</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	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**



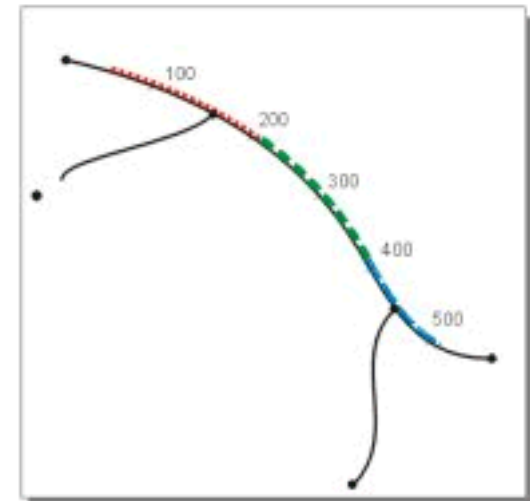
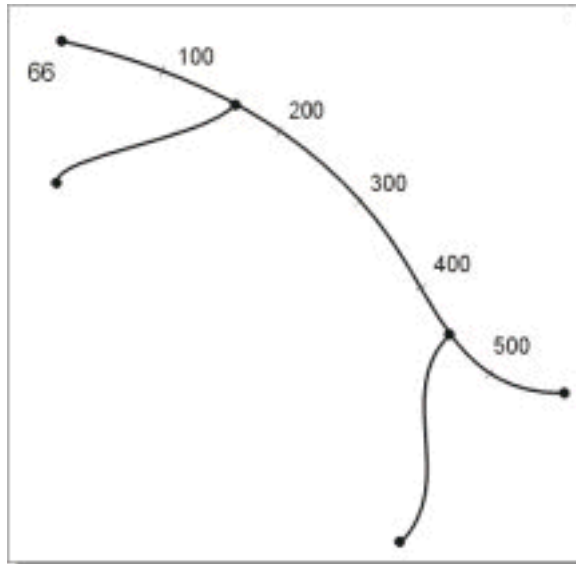


# Dynamická segmentace a lineární referencování

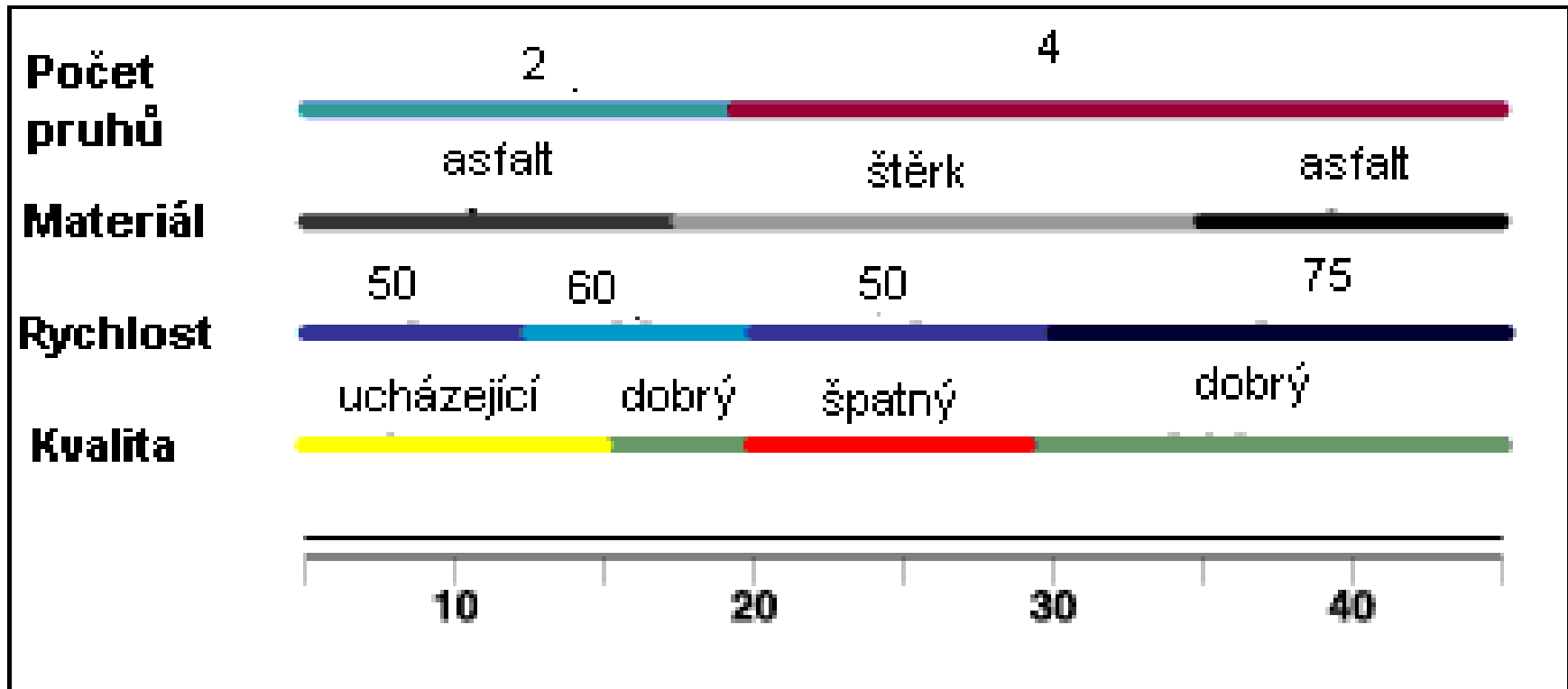
- Pravidla jsou obvykle **uložena v atributových tabulkách**.
- Protože změna atributu nemusí vždy přijít pouze v uzlu (například změna max. povolené rychlosti), využívá se někdy speciální datový model pro liniové vrstvy – **dynamickou segmentaci**.
- Je nutné definovat:
  - **Cestu** (linear feature) 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	AB	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.
- **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).

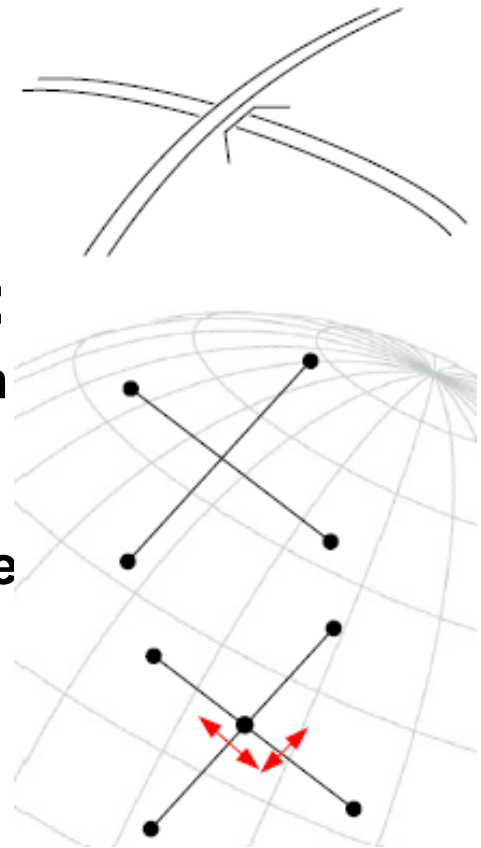
# Vlastnosti

**Směrování** – přikázané směry jízdy, zákazy (speciální uzlová pravidla), včetně speciálních zákazů pro určité typy pohybujících se objektů (do ulice nesmí nákladní vozidlo) a přiřazení cen za provedení změny směru.

# 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.







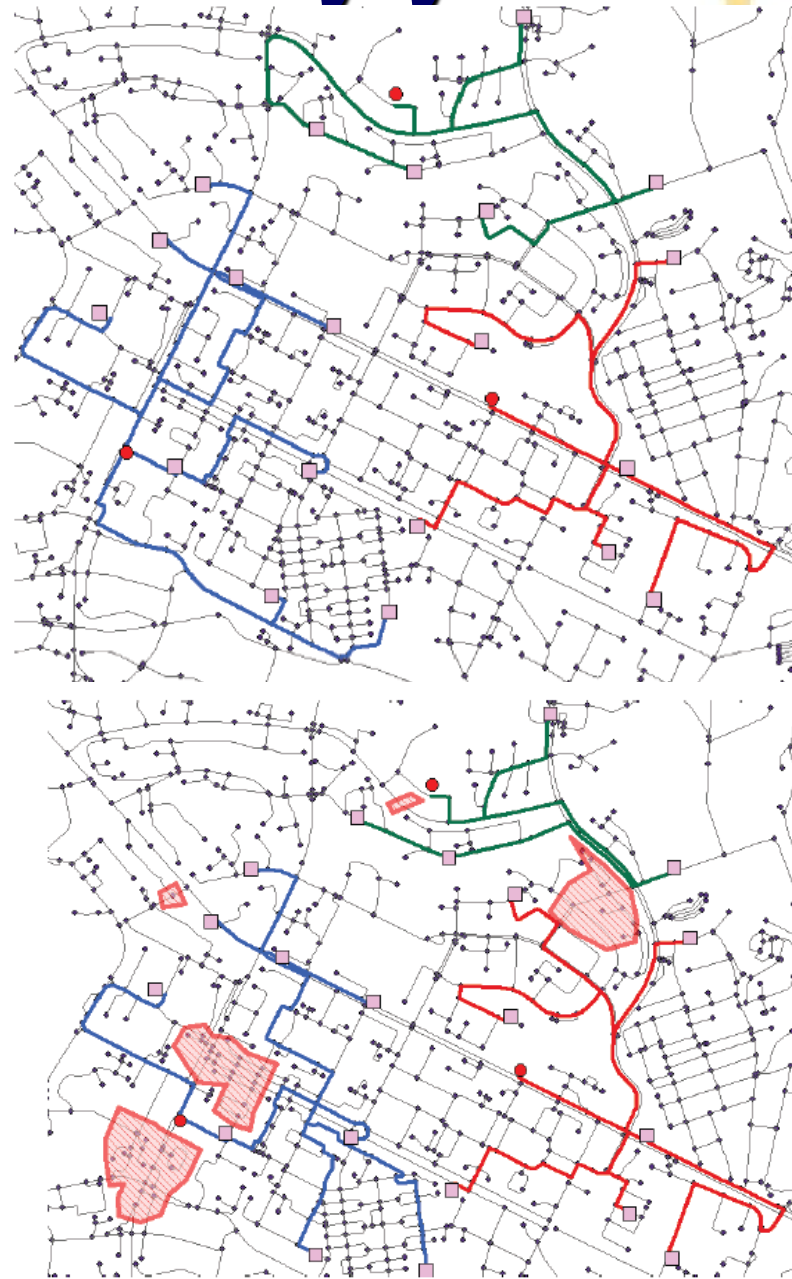


# Vlastní analýzy nad sítí

**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).

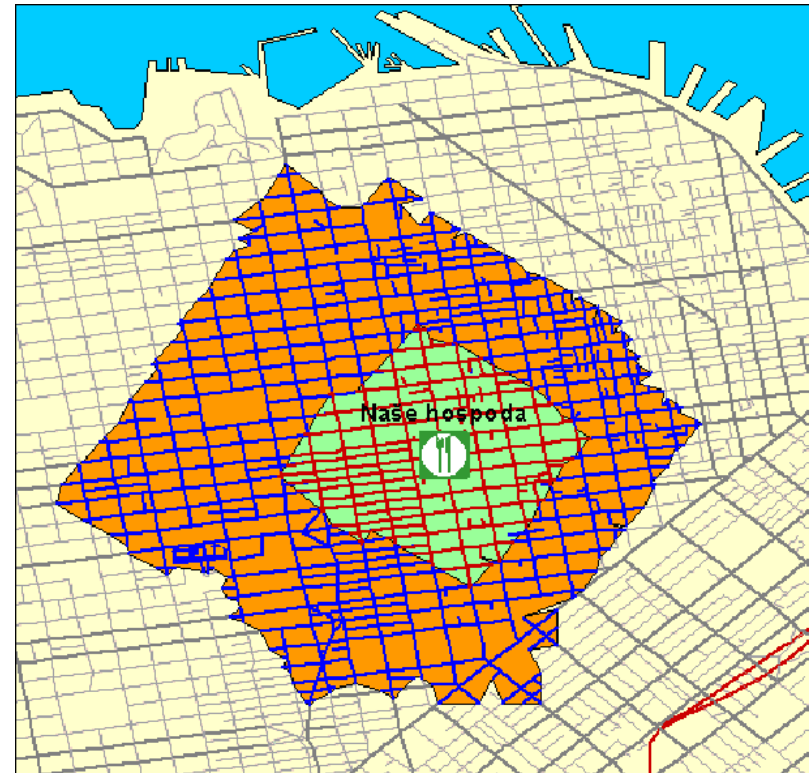
**Kartografické modelování**



# 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...



# 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

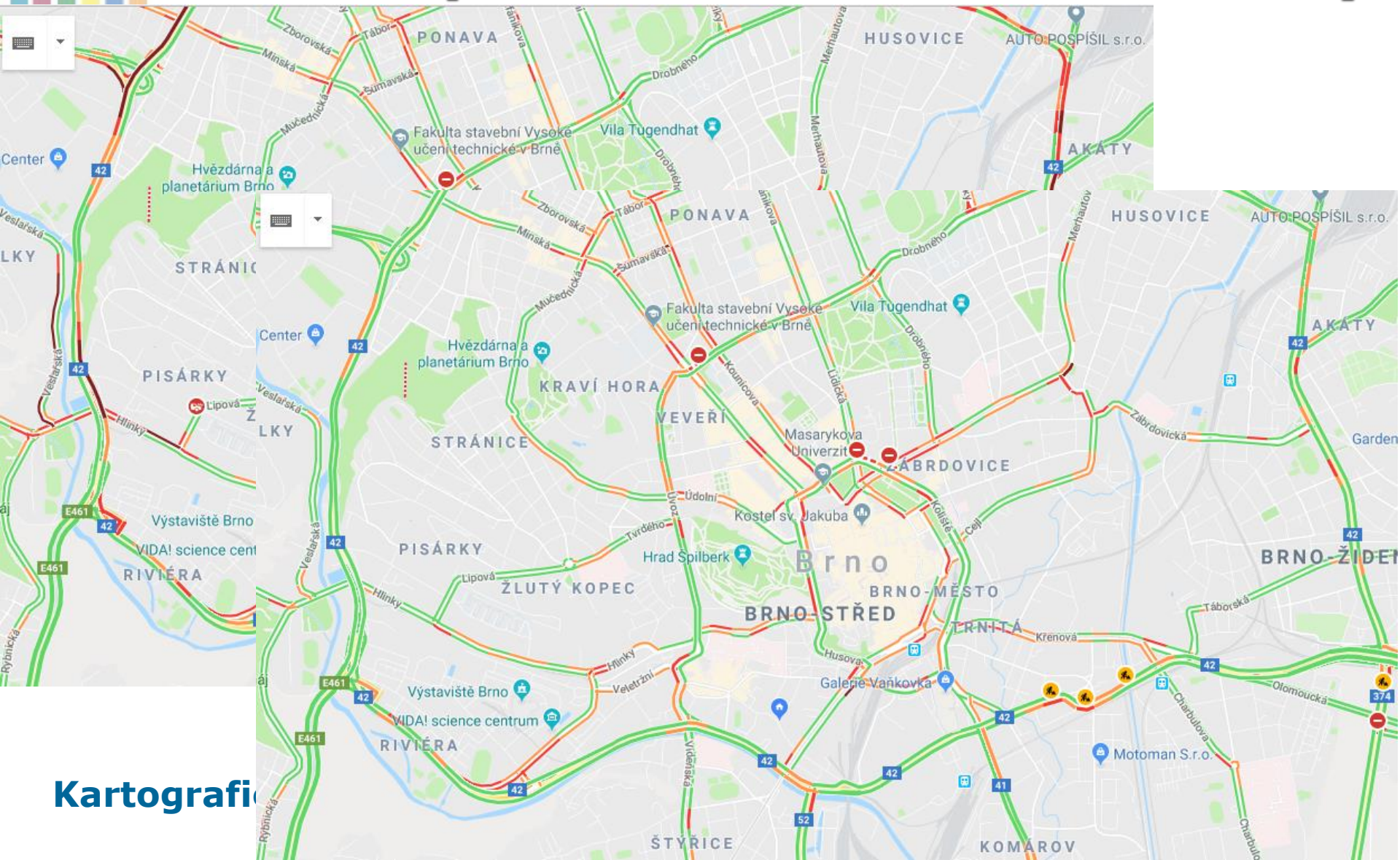
**Kartografické modelován**

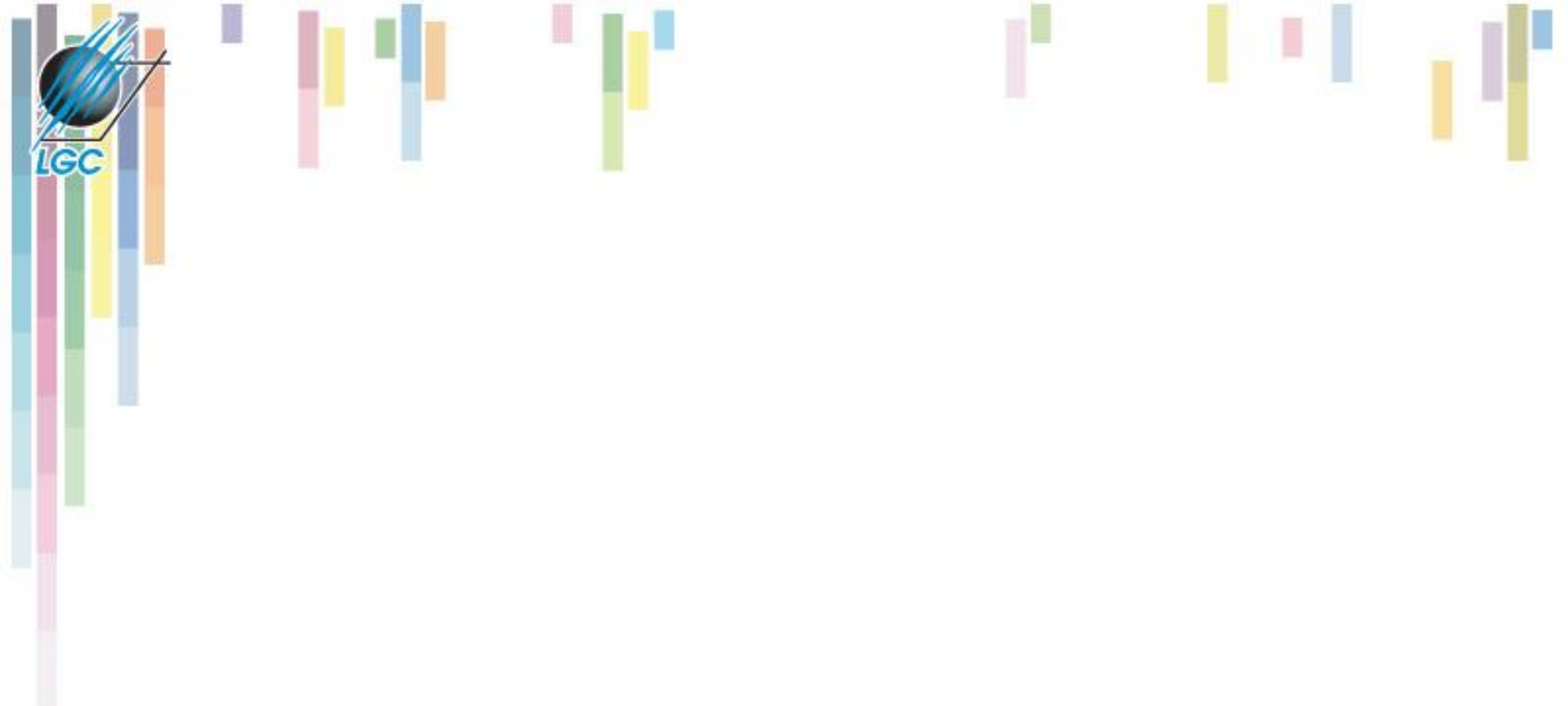
# Aktuální data pro síťové analýzy

- **Rodos** <http://rodosdata.it4i.cz/> vytvořit nad silniční dopravou komplexní informační 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.



# Dopravní tok a časové změny

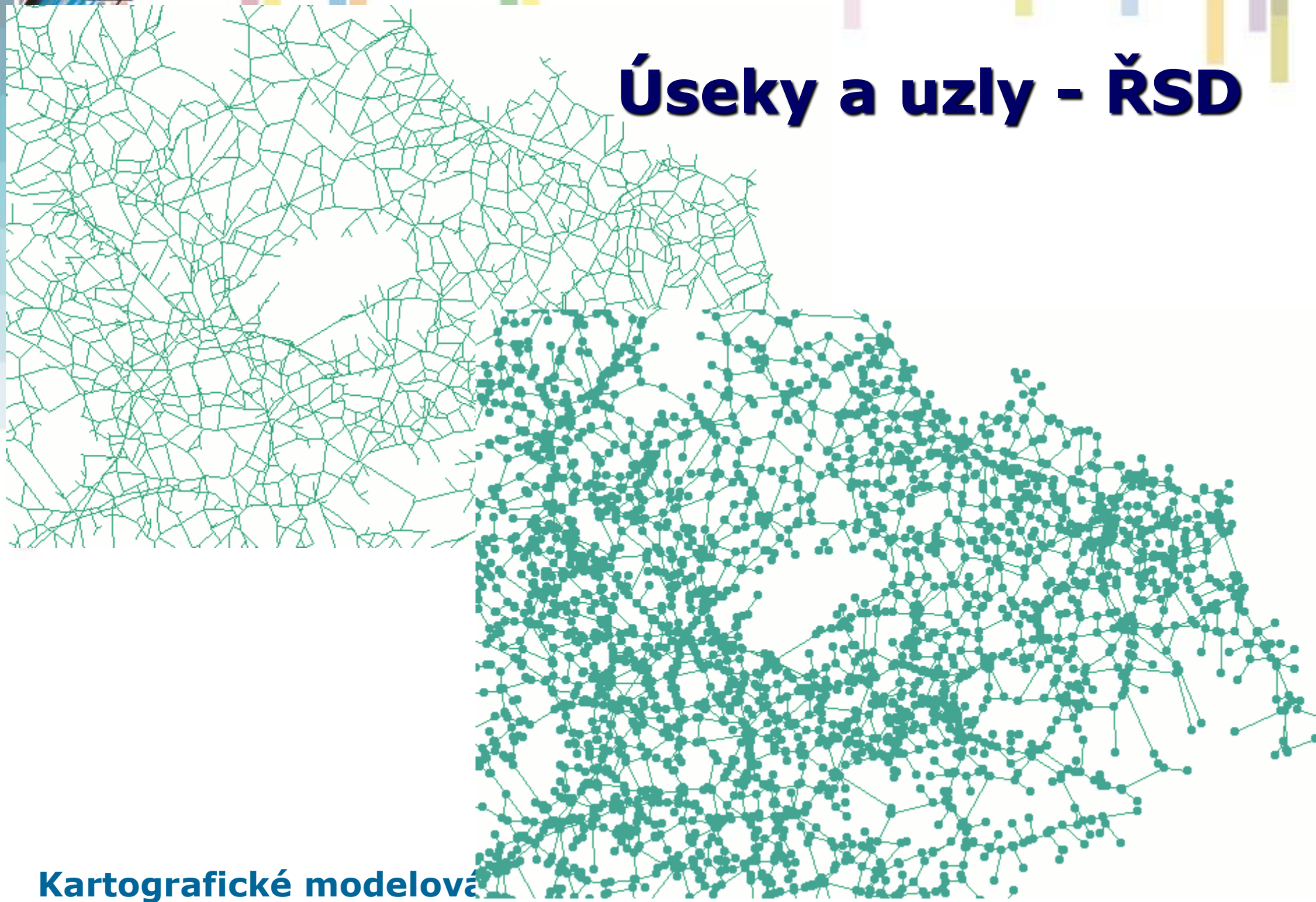




# **JAK SI VYTVOŘIT VLASTNÍ SÍŤ?**



# Úseky a uzly - ŘSD



Kartografické modelování

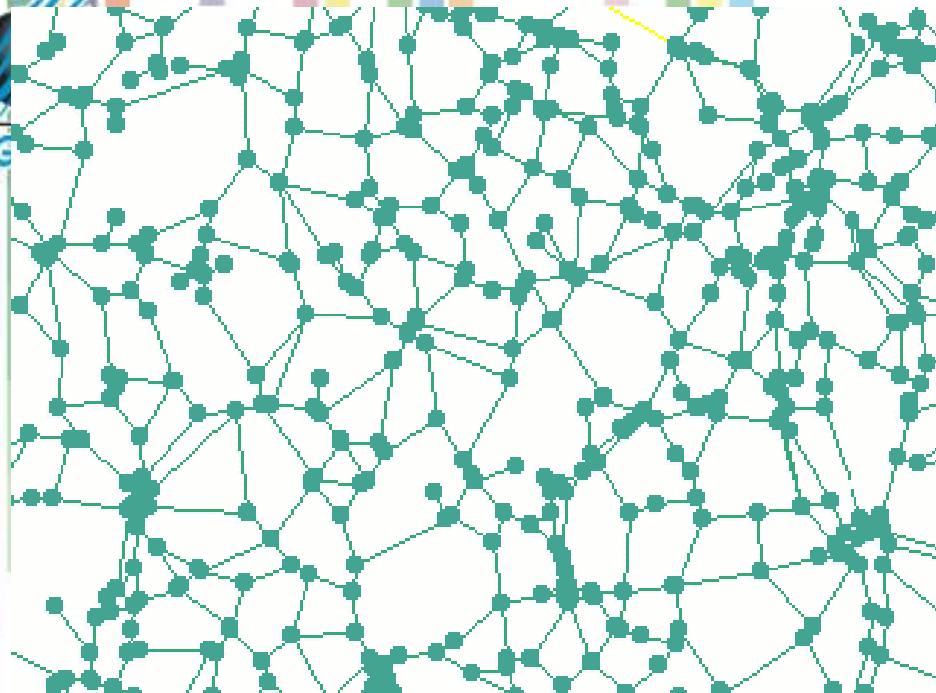
# Vlastnosti úseků

Attributes of Useky.shp

<i>Shape</i>	<i>Cis_useku</i>	<i>Dat_zaznam</i>	<i>Adminj</i>	<i>Delka_us</i>	<i>Dopr_smery</i>	<i>Fapr_vetev</i>	<i>Kod_tr_kom</i>	<i>Silnice</i>	<i>Vz</i>
PolyLine	0134A001 0134A002	20071005	CZ0413	2632	0		4	2188	
PolyLine	0134A001 1112A037	20071005	CZ0413	1180	0		3	218	
PolyLine	0142A002 0142A001	20071005	CZ0422	832	0		4	25221	
PolyLine	0142A002 0144A049	20071005	CZ0422	875	0		4	25211	
PolyLine	0142A003 0142A002	20071005	CZ0422	5174	0		4	25211	
PolyLine	0142A003 0142A004	20071005	CZ0422	760	0		4	25213	
PolyLine	0143A001 0143A007	20071005	CZ0412	3037	0		2	25	

- **Delka\_us** - délka silničních úseků vyjádřená v metrech
- **Kod\_tr\_kom** - kód třídy komunikace

# Uzly



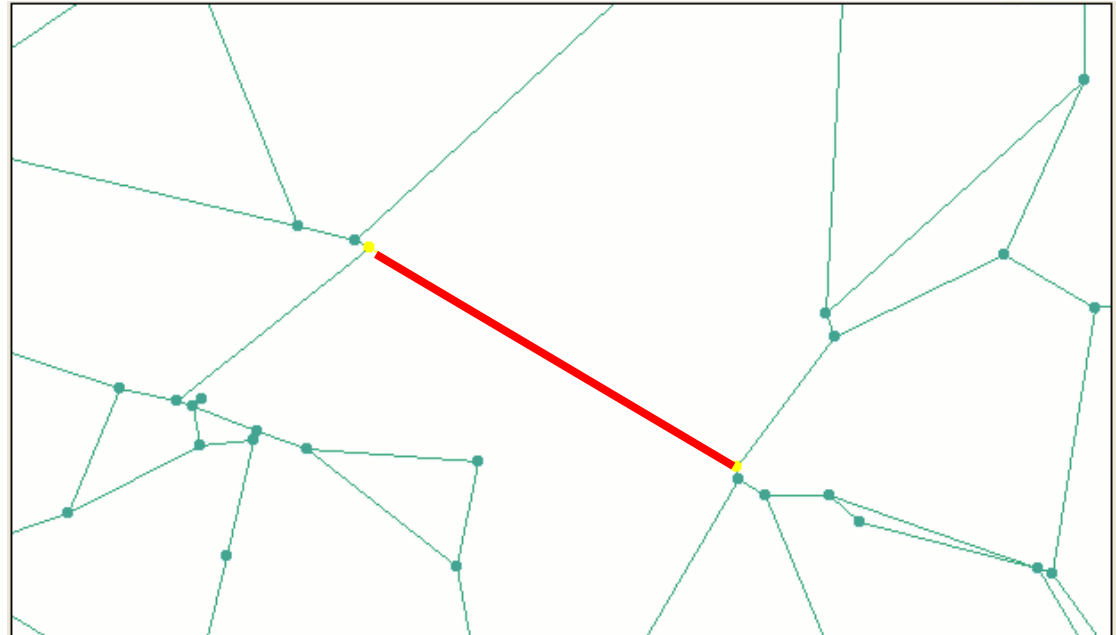
Shape	Cis_useku	Dat_zaznam	Adminj	Delka_us	Dopr_smery	Fapr_vetev	Kod_tr_kom	Silnice	Vybr_sa	Vym_taha	Fe
PolyLine	1541A075 1541A009	20071005	CZ0805	5719	0		2	56			
PolyLine	1541A075 1541A049	20071005	CZ0805	3573	0		4	4676			
PolyLine	1541A182011543A18103	20071005	CZ0803	4259	1		1	D47 2			
PolyLine	1541A182021541A077	20071005	CZ0803	655	0		2	58			
PolyLine	1541B001 1541A039	20071005	CZ0805	3015	0		4	01136			
PolyLine	1541B002 1543A026	20071005	CZ0806	2453	0		4	46610			
PolyLine	1542A001 1541A18202	20071005	CZ0803	800	0		2	58			

**Kartografické modelování**



# Úsek + uzly

Adm1	Adm2	Iczuj	Iczuj_text
CZ0805	CZ0805	50701	HLUCIN
CZ0805	CZ0805	50670	DOLNI BENESOV
CZ0413	CZ0413		
CZ0413	SRN		
CZ0422	SRN		
CZ0422	CZ0422		
CZ0422	CZ0422	66212	NACETIN U KALKU
CZ0422	CZ0422	66212	NACETIN U KALKU
CZ0413	CZ0413		
CZ0413	SRN		
CZ0413	SRN	55547	POTUCKY



Os_useku	Dat_zaznam	Admiry	Delka_us	Dopr_smeri	Fapr_vetev	Kod_tr_kom	Silnice	Vybr_sa	Vym_taha	Feaz_kom1	Feaz_kom2	Feaz_kom3	Feaz_kom4	Eta
75 1541A009	20071005	CZ0805	5719	0		2	56							
75 1541A049	20071005	CZ0805	3573	0		4	4676							
82011543A18103	20071005	CZ0803	4259	1		1	D47 2							
82021541A077	20071005	CZ0803	655	0		2	58							
01 1541A039	20071005	CZ0805	3015	0		4	01136							
02 1543A026	20071005	CZ0806	2453	0		4	46610							
01 1541A18202	20071005	CZ0803	800	0		2	58							

Kartografické modelování



# Ohodnocení úseků hran

- **Metrika?**
- **čas, potřebný pro pohyb v síti silničních komunikací.**

Třída silniční komunikace	Průměrná dopravní rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]
Dálnice a silnice pro motorová vozidla	85
Silnice 1. třídy	75
Silnice 2. třídy	55
Silnice 3 třídy	40

- **Délka komunikací (hran) a průměrná rychlost=čas.**

**Kartografické modelování**



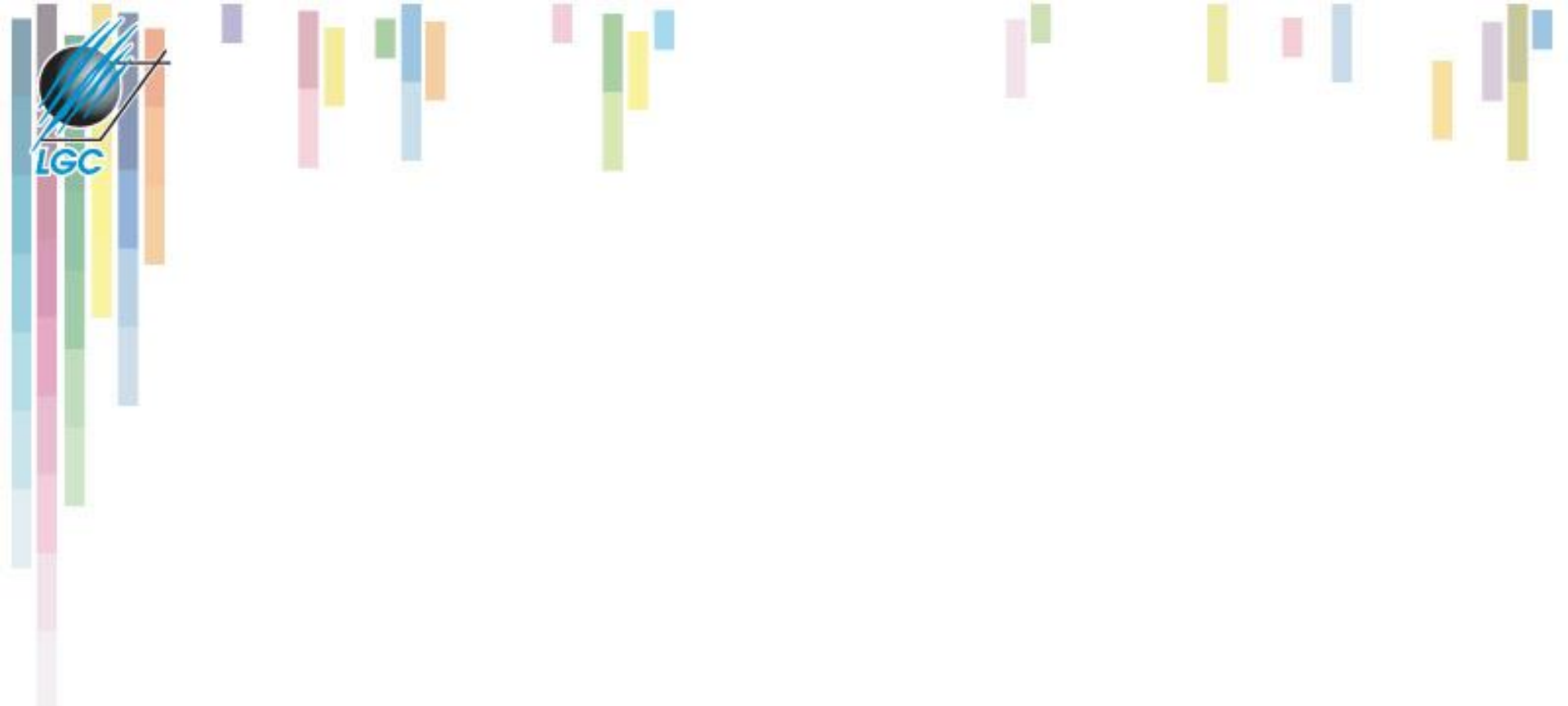
# Ohodnocení úseků

- Pro úseky silnic jednotlivých tříd jsou přiřazeny průměrné rychlosti a vypočítán čas potřebný k jejich překonání.

The screenshot displays the ArcView GIS 3.3 interface. The main window shows a map of road segments. Overlaid on this are several windows:

- Attributes of Useky.shp**: A dialog box for editing field values. The field `[Kod_tr_kom]` is set to `"2"`.
- Field Calculator**: A dialog box for calculating field values. The expression `[Delka_us] / [prum_rychl]` is entered, and the result is being calculated for the `cas_useku` field.
- Attributes of Useky.shp (Table)**: A data table showing the results of the calculation. The columns are `Delka_us`, `Dopr_smery`, `Papr_vetev`, `Kod_tr_kom`, `Silnice`, `Vybr_sit`, `Vym_tahy`, `Peaz_kom1`, `Peaz_kom2`, `Peaz_kom3`, `Peaz_kom4`, `Etah1`, `Etah2`, `Etah3`, `Etah4`, `Poradi_us`, `prum_rychl`, `cas_useku`, and `Cost`.

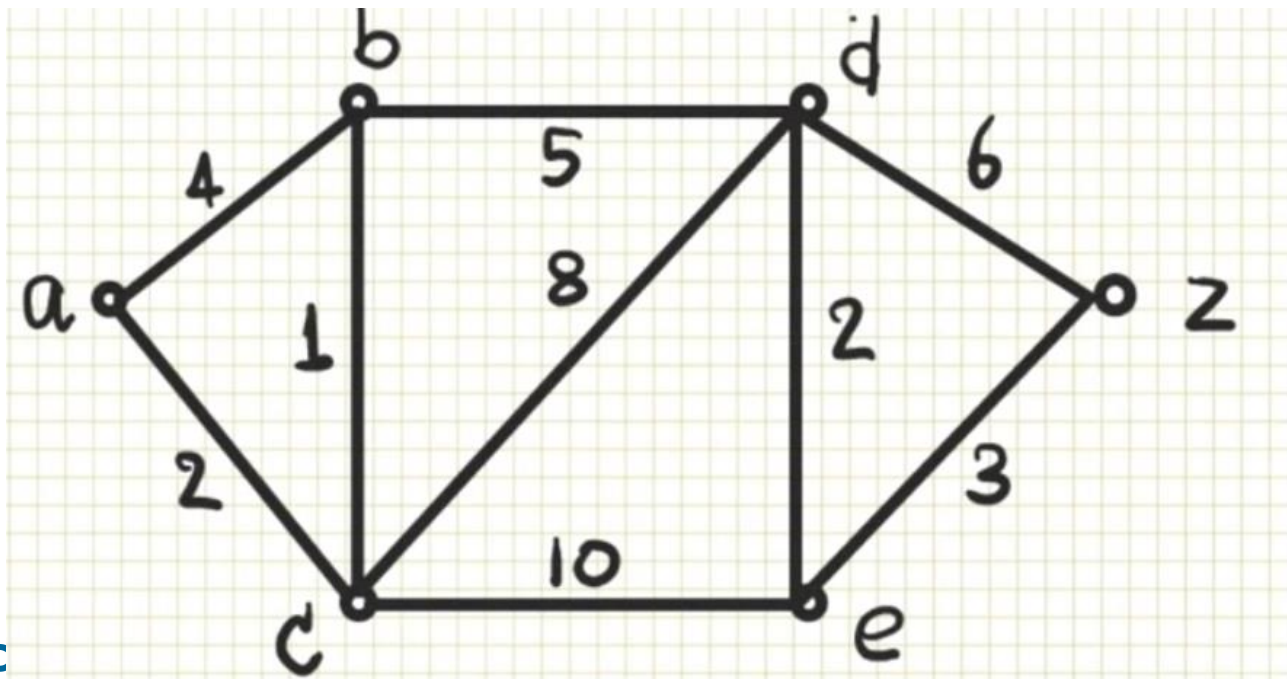
Delka_us	Dopr_smery	Papr_vetev	Kod_tr_kom	Silnice	Vybr_sit	Vym_tahy	Peaz_kom1	Peaz_kom2	Peaz_kom3	Peaz_kom4	Etah1	Etah2	Etah3	Etah4	Poradi_us	prum_rychl	cas_useku	Cost
3037	0		2	25											0008	40	237	237
322	1		2	25	2										0013	55	77	77
328	1		2	25	1										0012	40	75	75
1660	0		3	219											0011	40	466	466
421	1		2	25	B2			219							0011	40	68	68
92	0		2	25											0007	75	146	146
181	0		2	25				219							0009	40	75	75



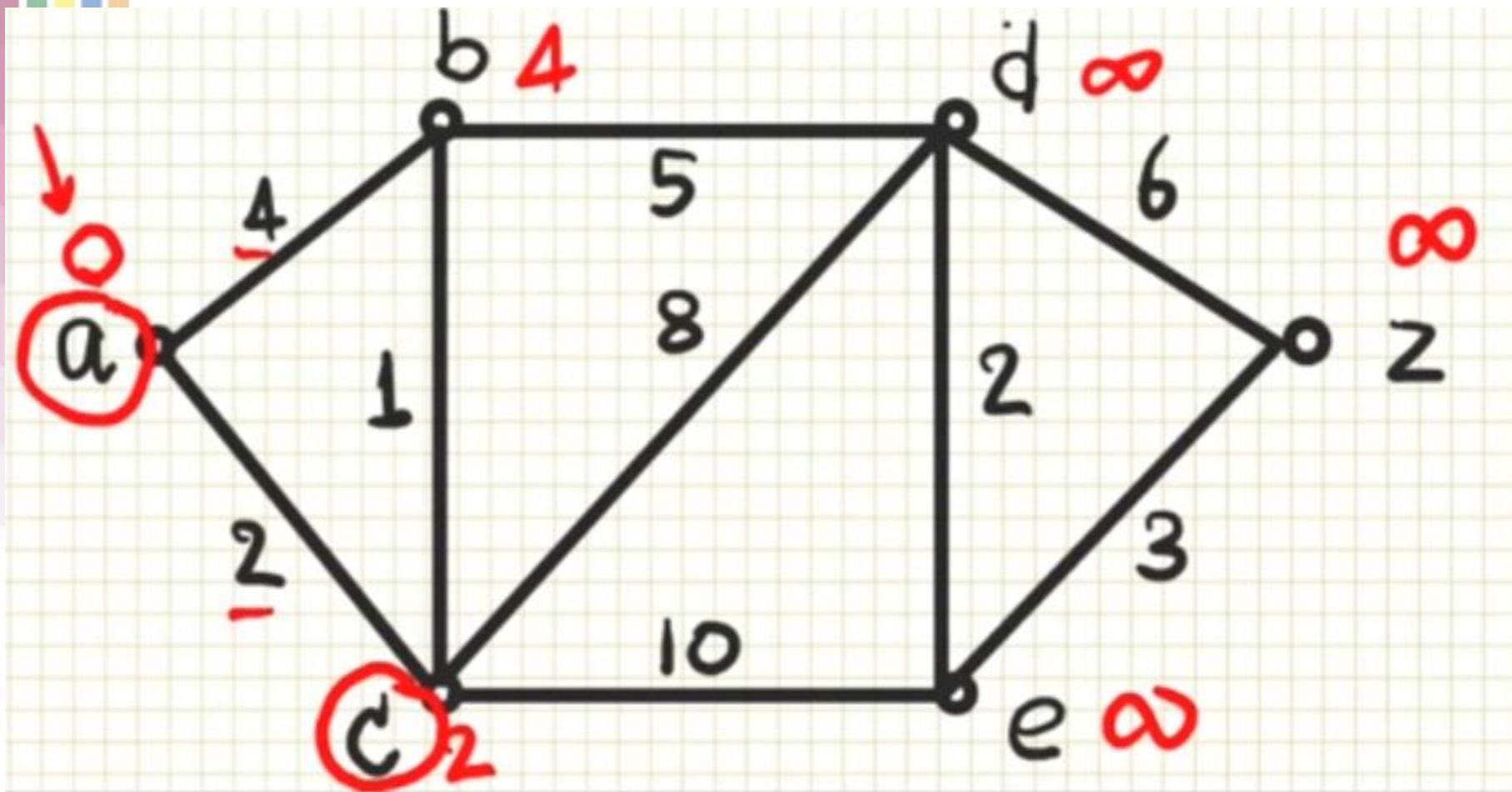
# **JAK SE HODNOTÍ SÍŤ?**

# Dijkstra algoritmus

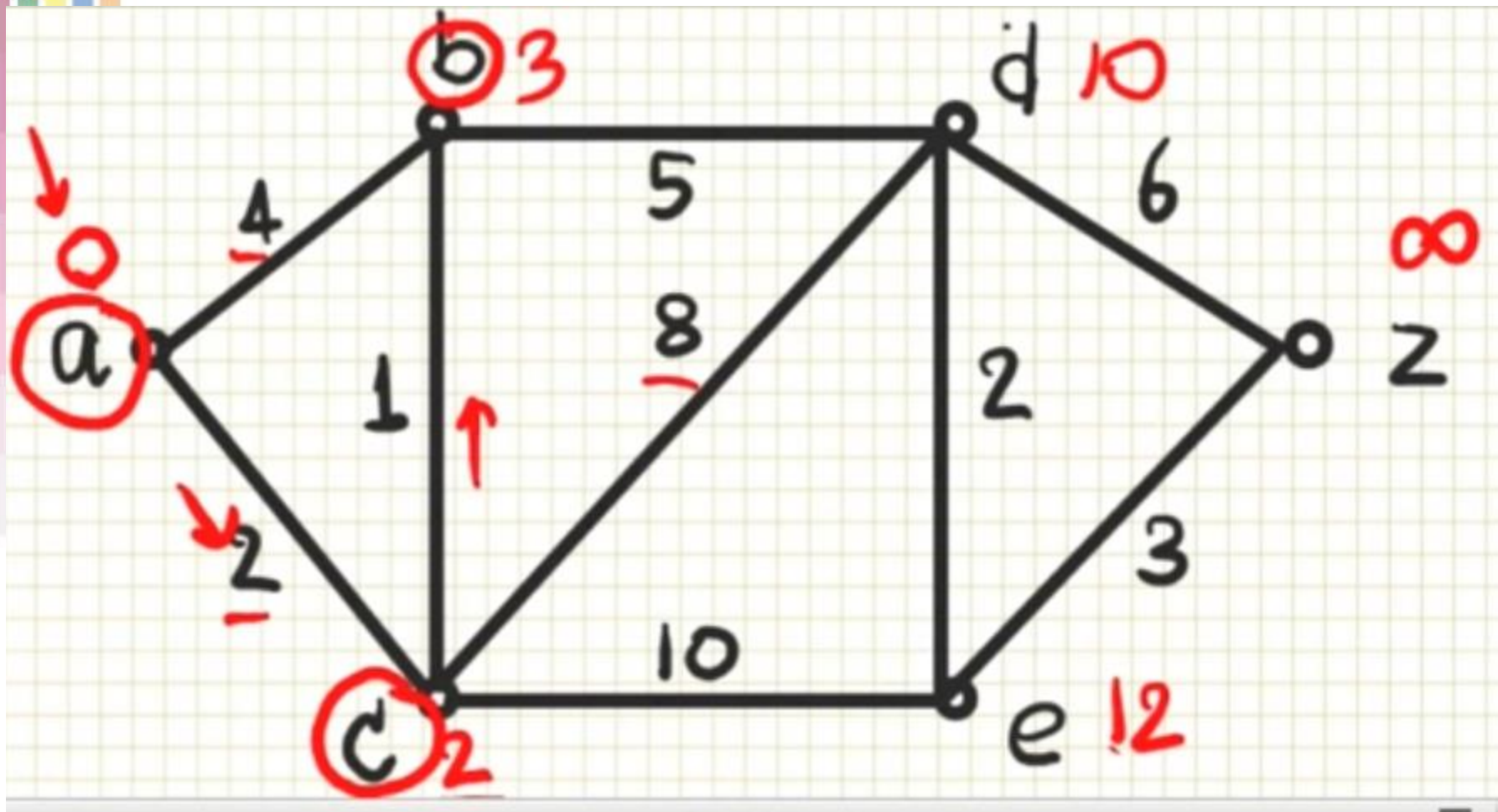
Algoritmus sloužící k nalezení **nejkratší cesty v grafu**. Je **konečný** (pro jakýkoliv konečný vstup algoritmus skončí), protože v každém **průchodu** cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá **právě jeden uzel**, průchodů cyklem je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů. Funguje nad **hranově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



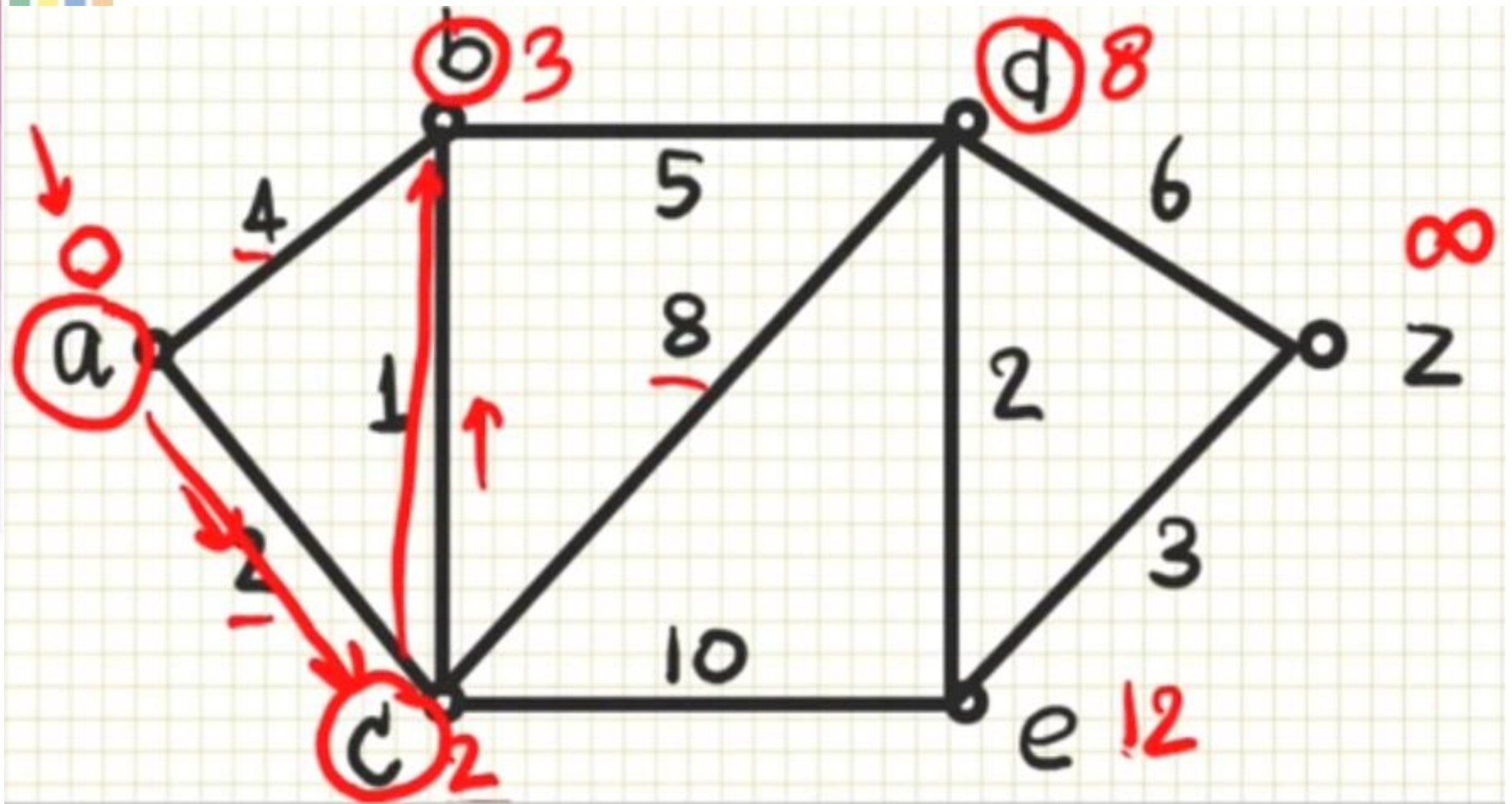


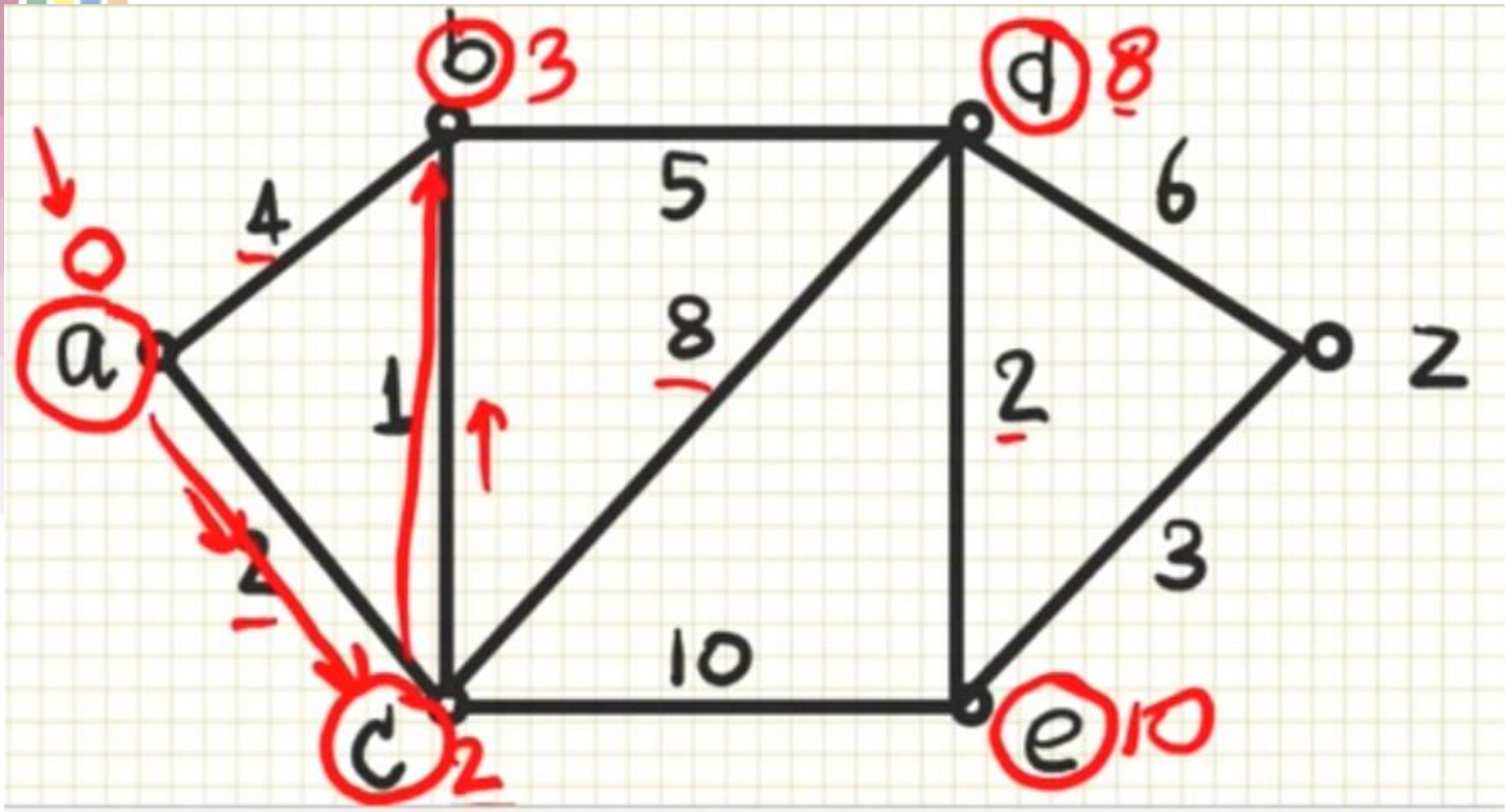


**Kartografické modelování**

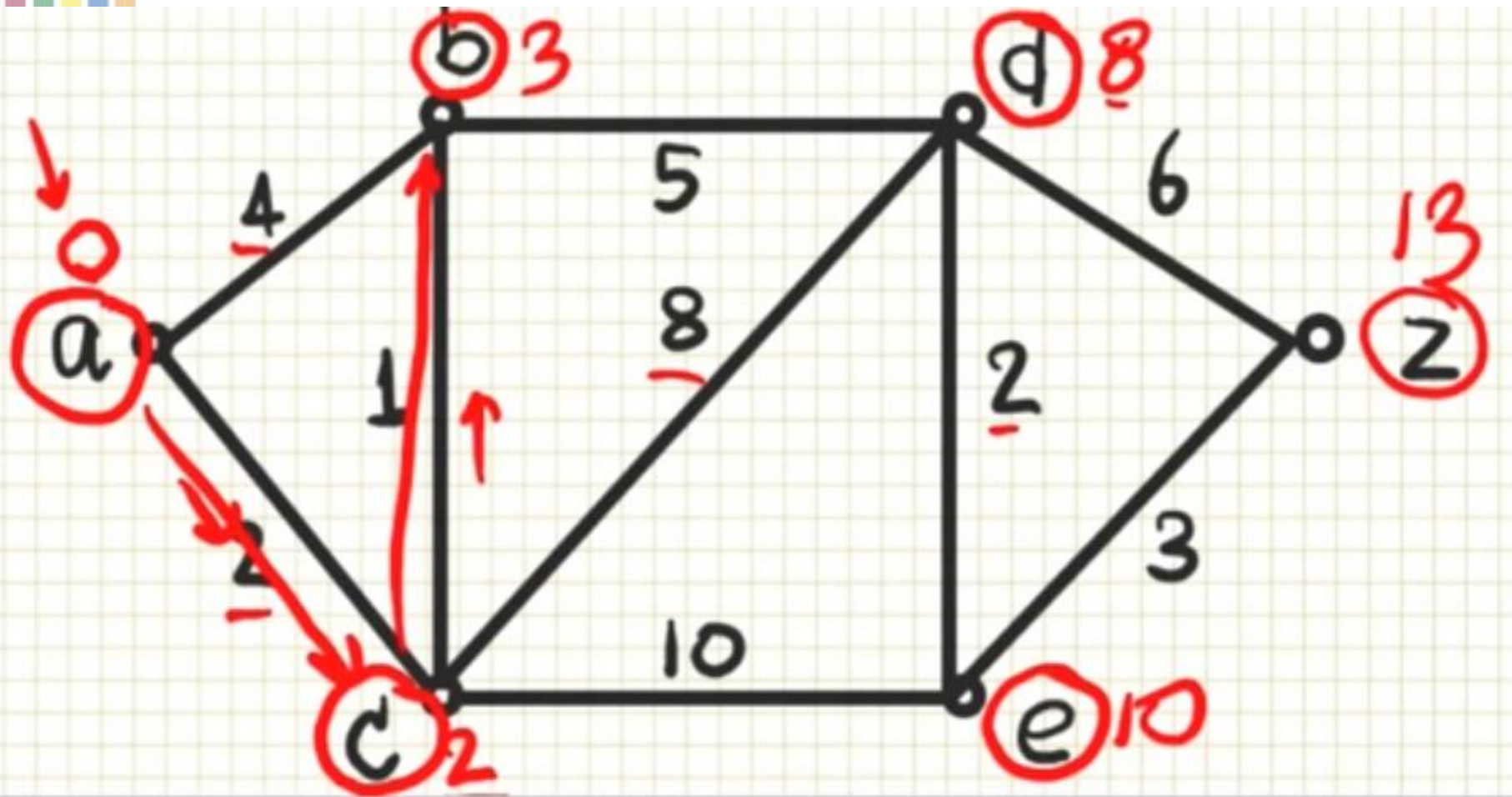


## Kartografické modelování





Kartografické modelování



Kartografické modelování

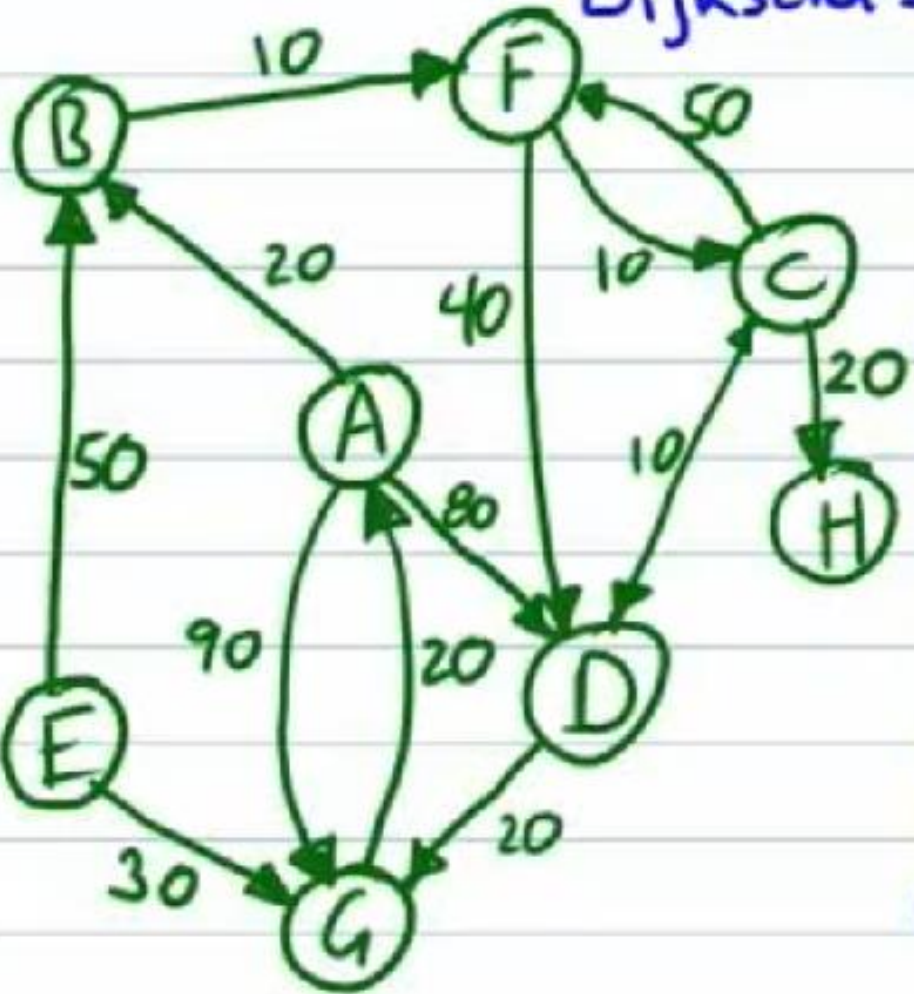


# Dijkstra algorithm

Graph Algorithms:  
Dijkstra's Algorithm

From  
A → B C D E F G H

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧

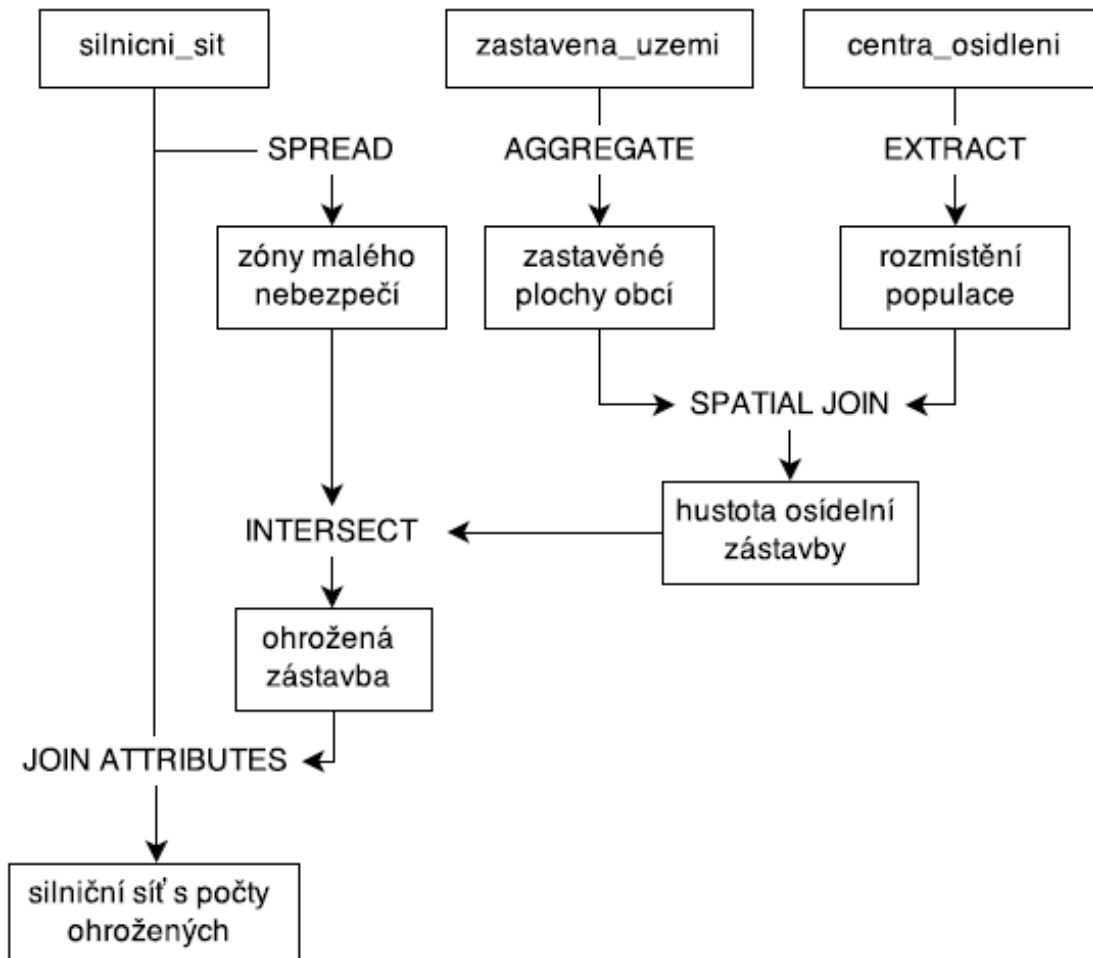




# **Případová studie – přeprava nebezpečného nákladu (Leitgeb 2015)**

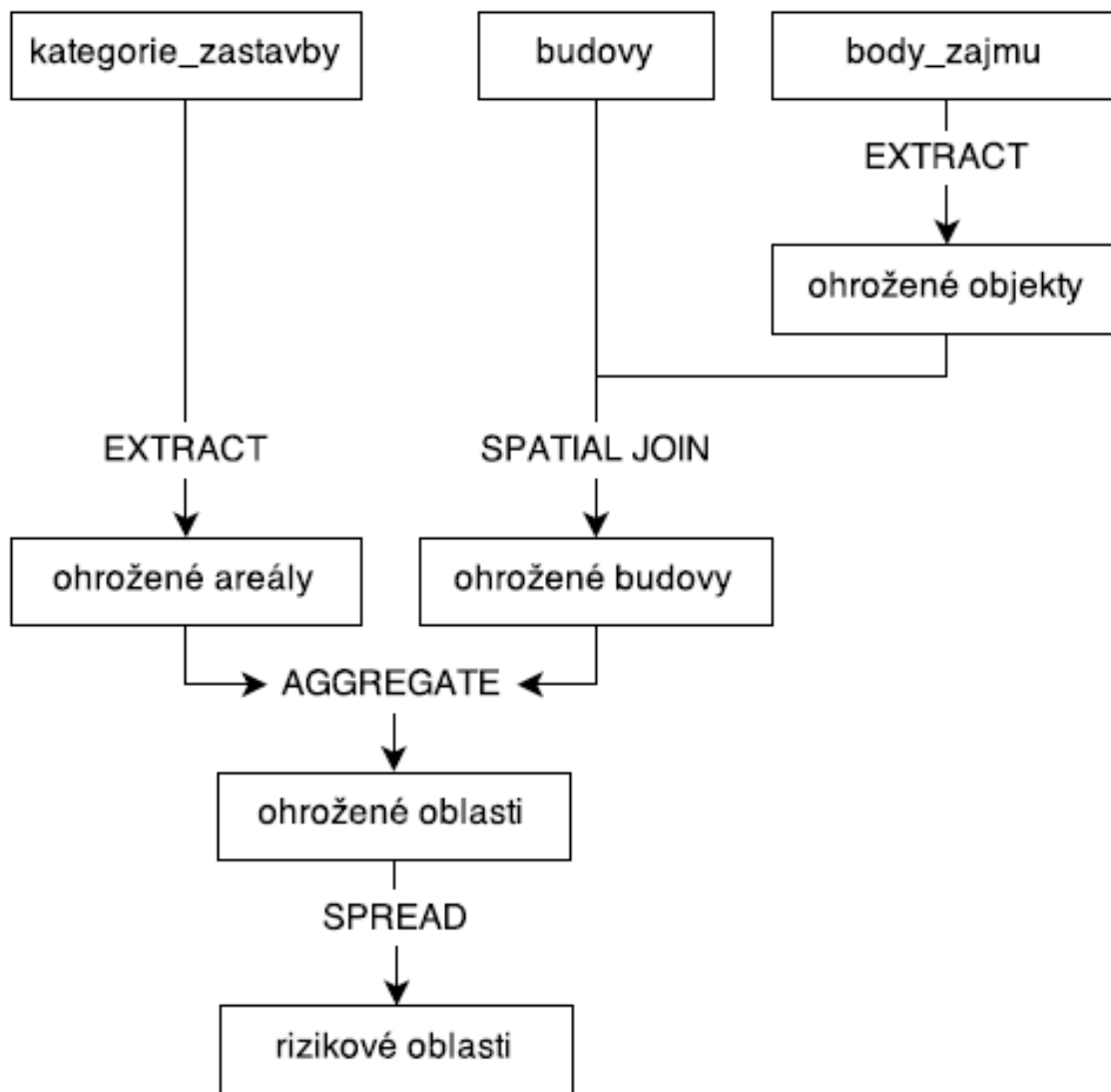
- **Minimalizace ohrožení obyvatelstva při přepravě nebezpečného nákladu (výbušnina, hořlavina...)**
- **ADR klasifikace, vnitřní předpisy PČR a MO.**
- **Kritéria:**
  - populace mimo silnici;
  - budovy s vysokou koncentrací obyvatel a citlivých objektů.

# Minimalizace ohrožení obyvatelstva





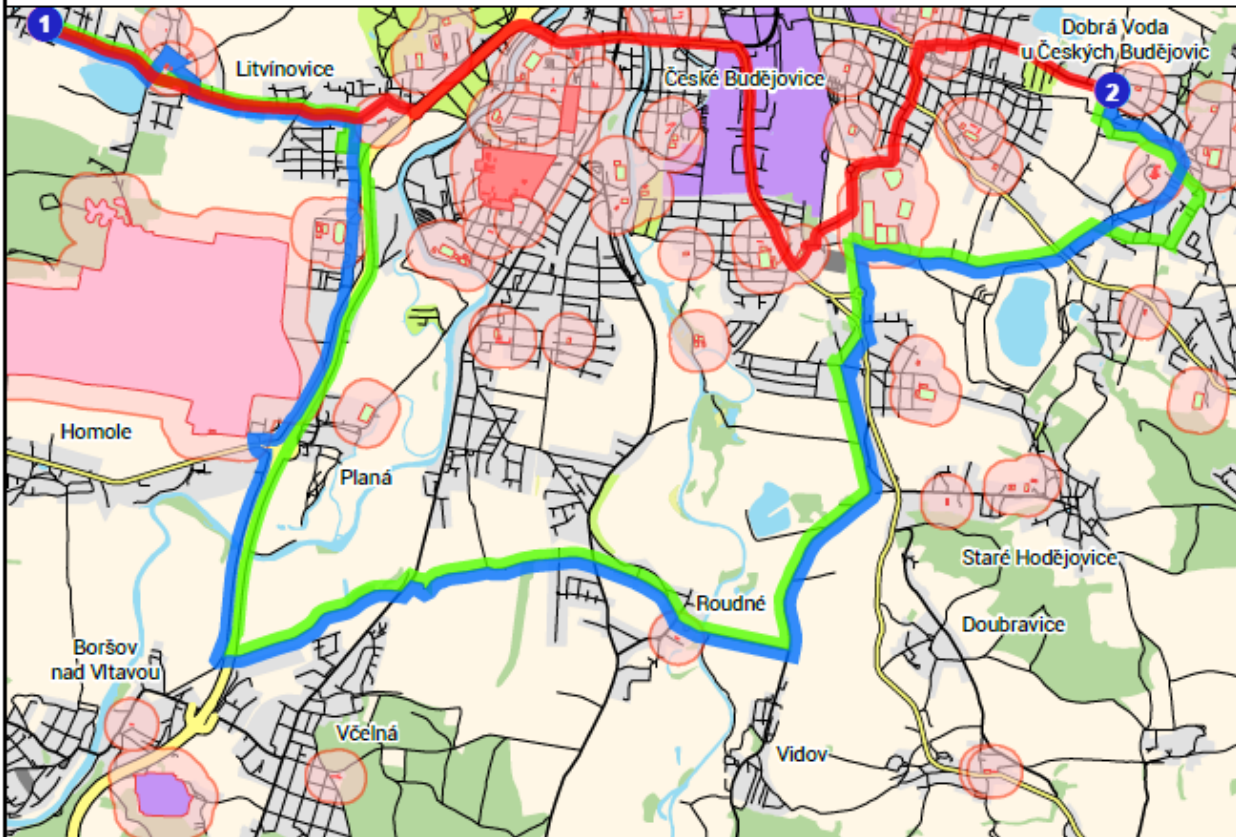
# Minimalizace ohrožení citlivých objektů



# 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