



# Kartografické modelování

## V – síťové analýzy vzdáleností

jaro 2017

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

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

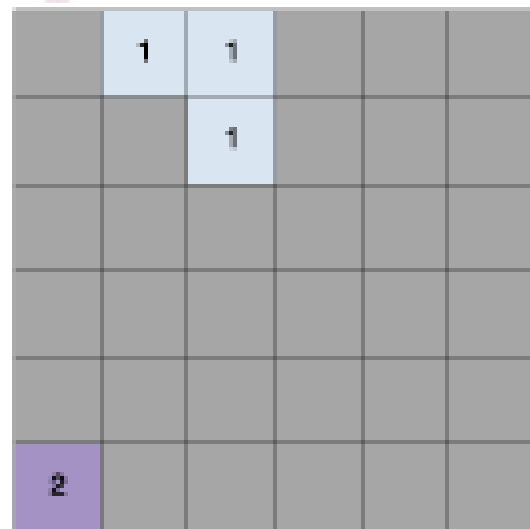


# Výsledek Cost distance

- 0 – je pro zdrojové buňky.
- No data – zůstávají bez hodnot.

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



Source\_Ras



Cost\_Ras

=



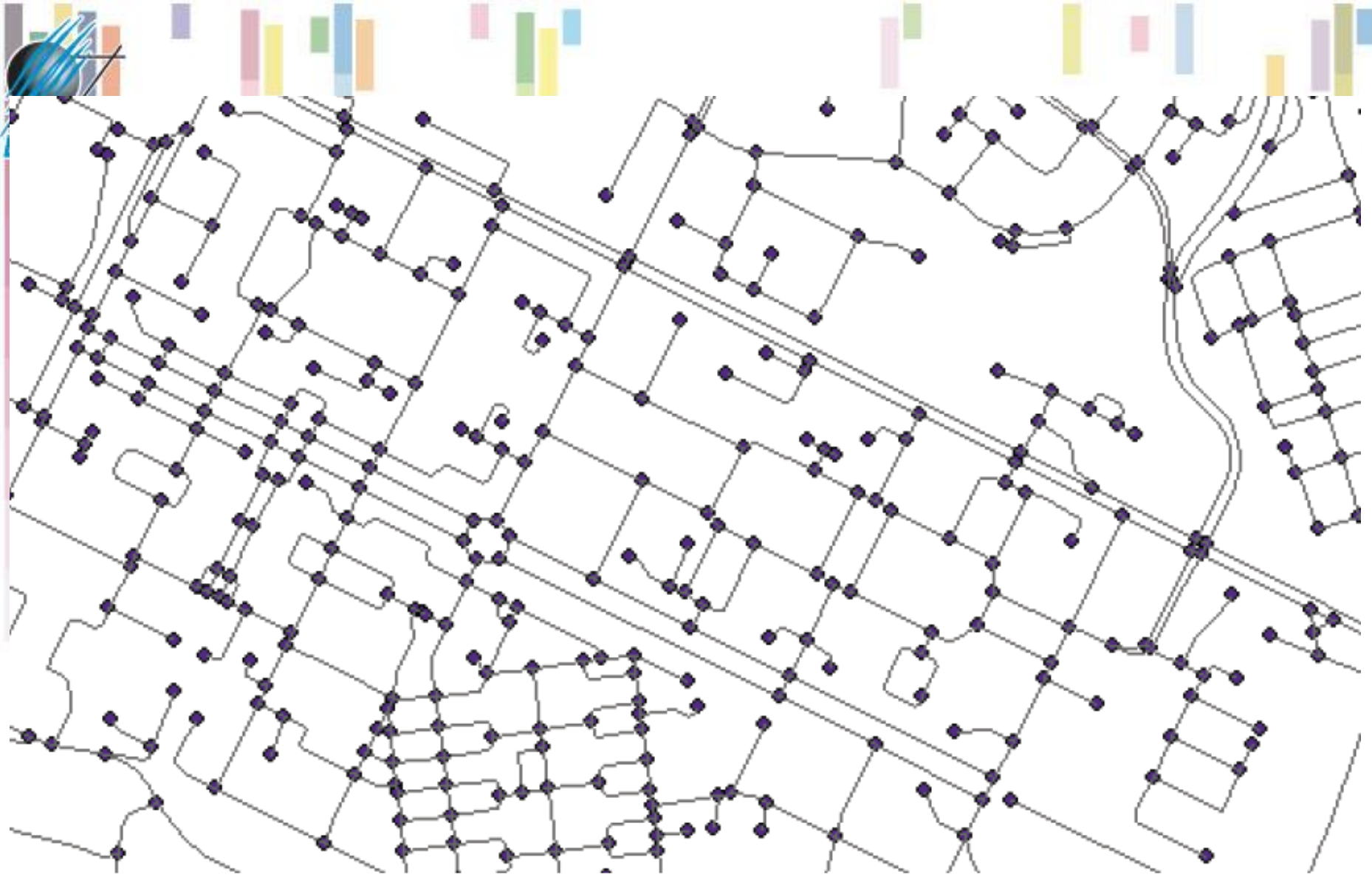
Cost\_Dist



# **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:

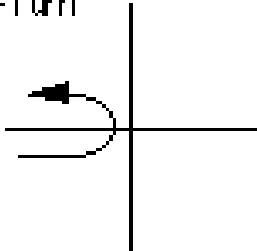
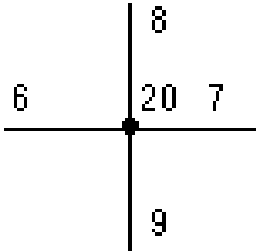
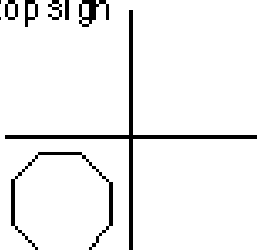
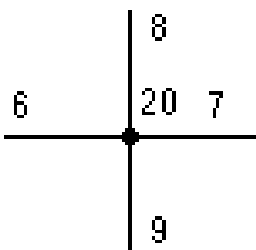
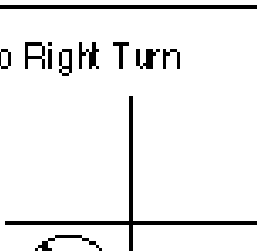
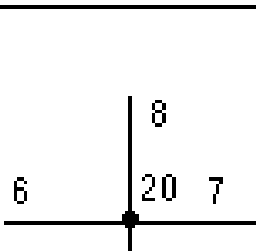
- **Uzlová pravidla** definují směr pohybu uzlem.
  - Například, pokud budu mít uliční síť, na některých křižovatkách není povoleno odbočení doleva či doprava.
  - Náklady na odbočení v různých směrech.
- **Hranová pravidla** definují směr a rychlost pohybu po hraně.
  - Ulice mohou být jednosměrné,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

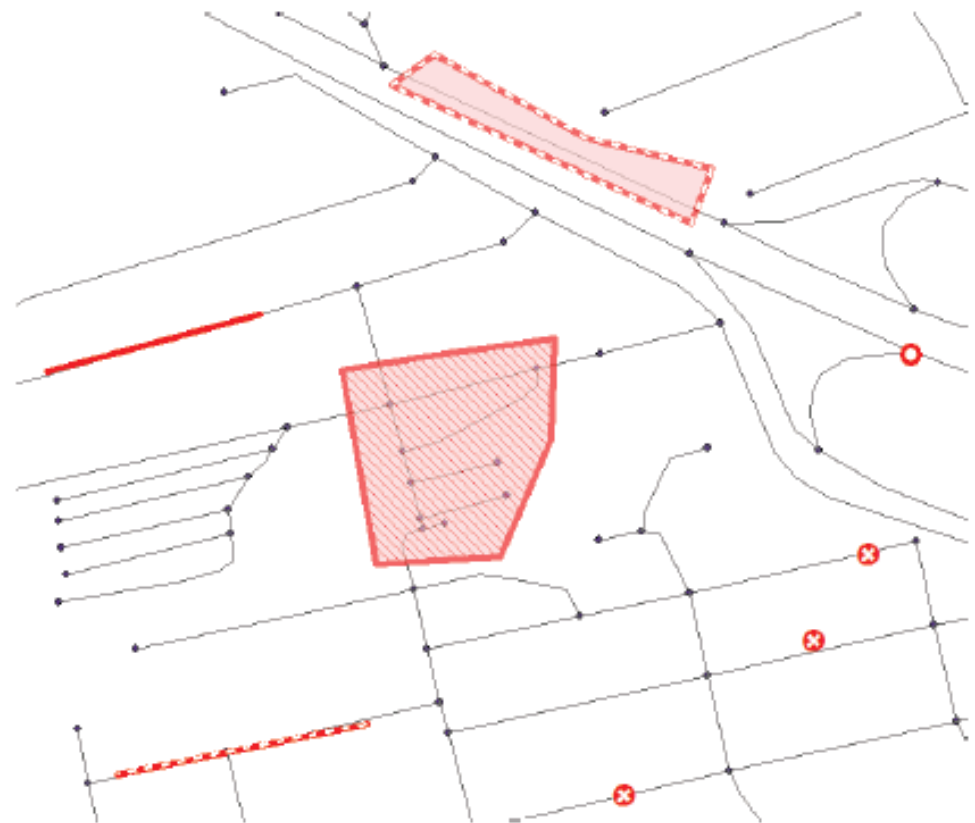
Situation	Representation	Turntable																				
U-Turn 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE#</th> <th>FROM ARC#</th> <th>TO ARC#</th> <th>ANGLE</th> <th>TIME IMPEDANCE (seconds)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>180</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>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



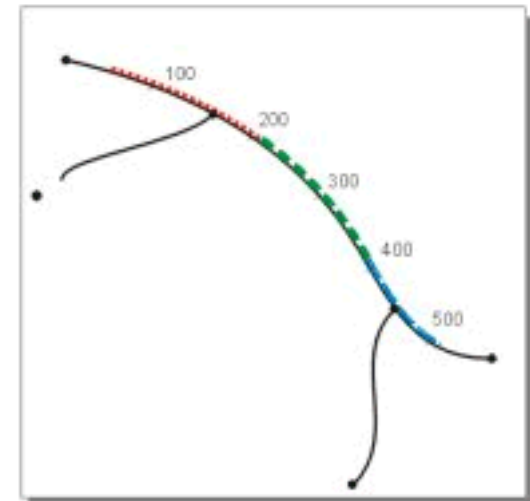
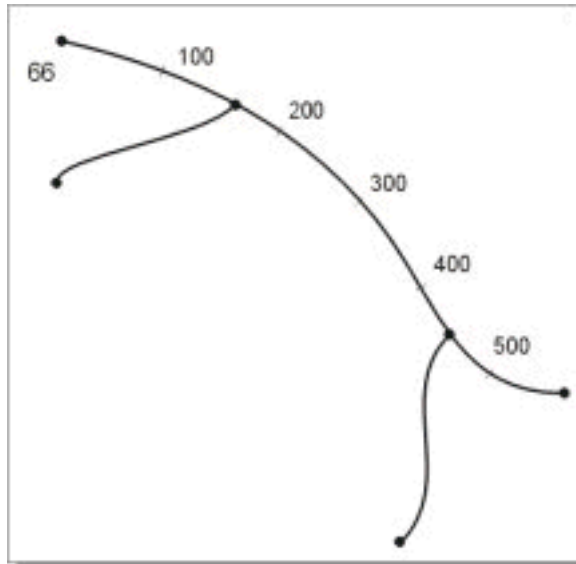


# Dynamická segmentace a lineární referencování

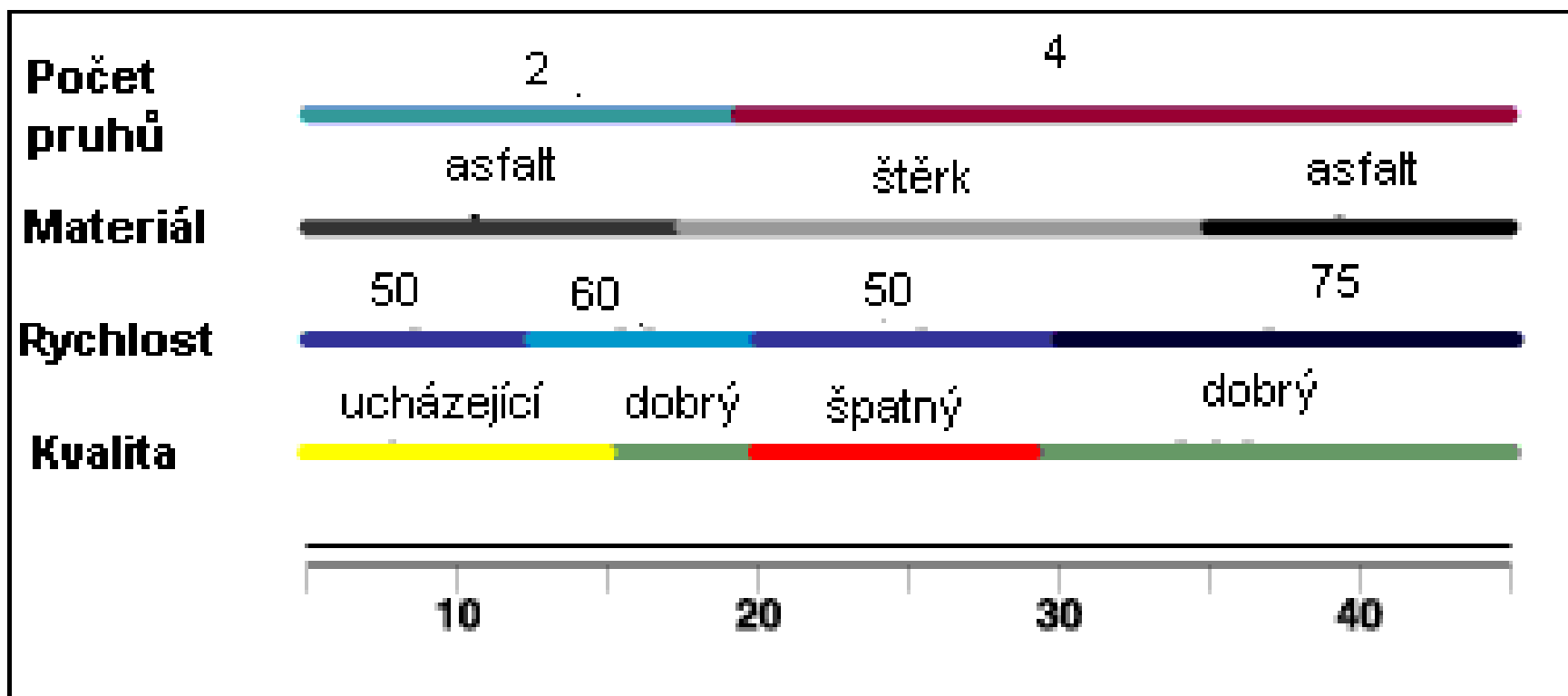
- Pravidla jsou obvykle **uložena v atributových tabulkách**.
- Protože změna atributu nemusí vždy přijít pouze v uzlu (například změna max. povolené rychlosti), využívá se někdy speciální datový model pro liniové vrstvy – **dynamickou segmentaci**.
- Je nutné definovat:
  - **Cestu** (linear feature)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

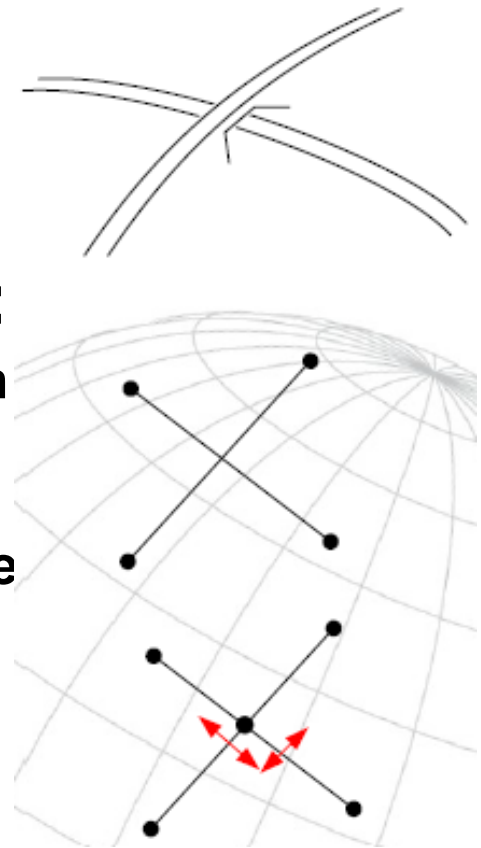
- **Cena cesty** (pomocí max. rychlosti, času cesty a vzdálenosti) – základní atribut síťových dat, hrana musí obsahovat tento atribut vyjádřený alespoň jedním z těchto způsobů.
- **Lze vytvořit i další modifikace cen cesty:**
  - Může se měnit s **denní dobou** – ráno, odpoledne, v noci.
  - Může **záviset 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).

**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.







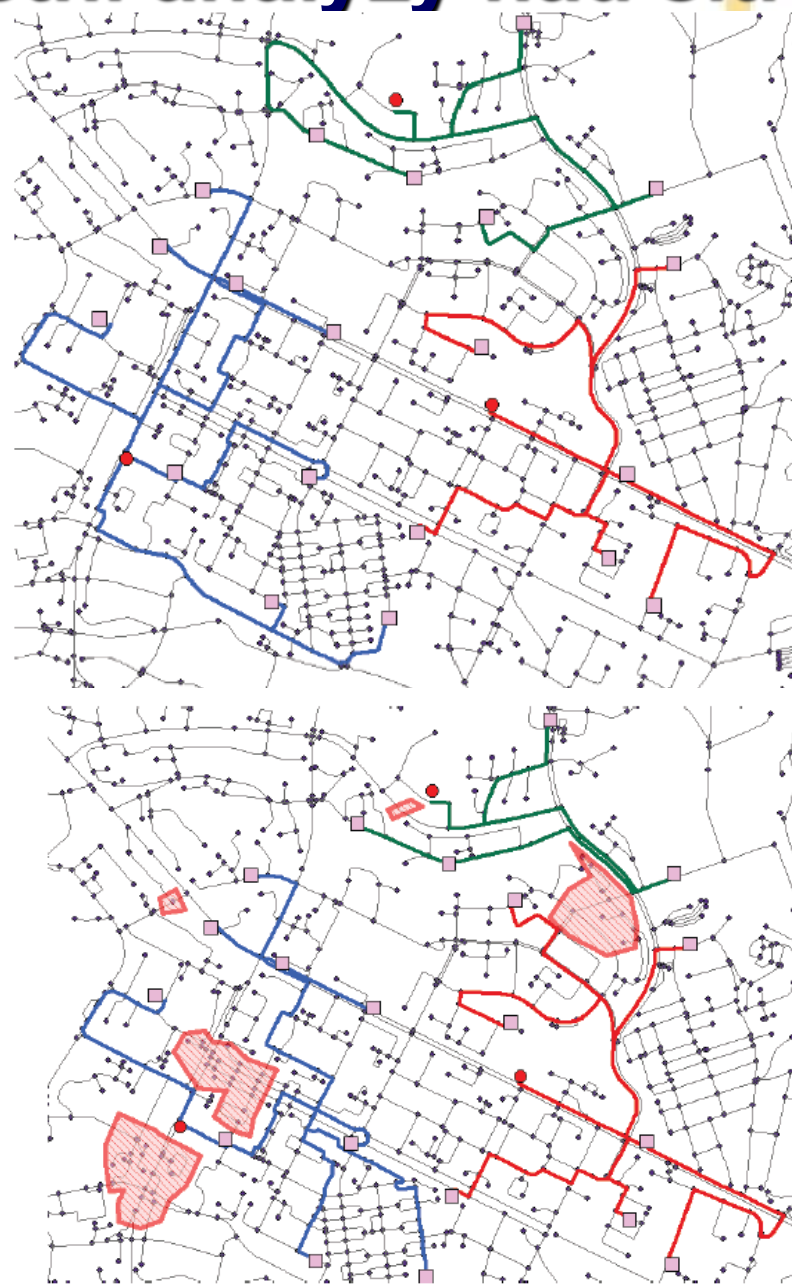


# Vlastní analýzy nad sítí

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

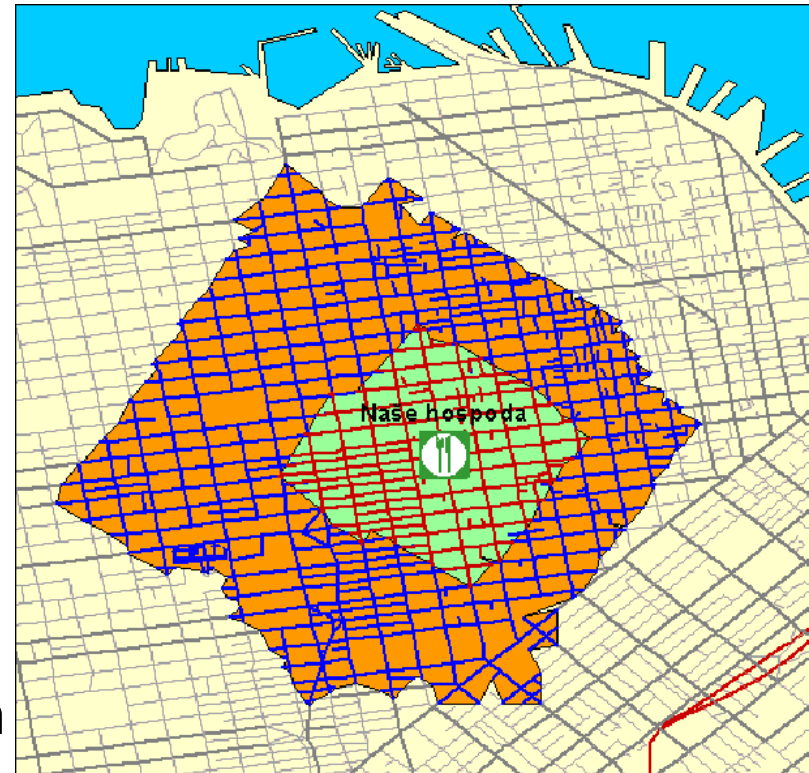
- Příklad: Hromadná dopravní nehoda ve velkém městě. Jde o to, nalézt co nejrychlejší způsob, jak se k nehodě dostat sanitkou. Řešení je nalezení optimální cesty od optimálního zařízení k nehodě.
- Je možné ještě hledat optimální cestu od nehody do **nejbližší nemocnice**. Tyto cesty totiž vzhledem ke 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**



## Alokace zdrojů – další možnost aplikace analýzy sítí.

- 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 useky ve výstavbě, obsahuje i polní a lesní cesty, pro jednotlivé úseky je evidováno větší množství atributů, neobsahuje úseky v soukromých a uzavřených areálech.







**Streetnet**



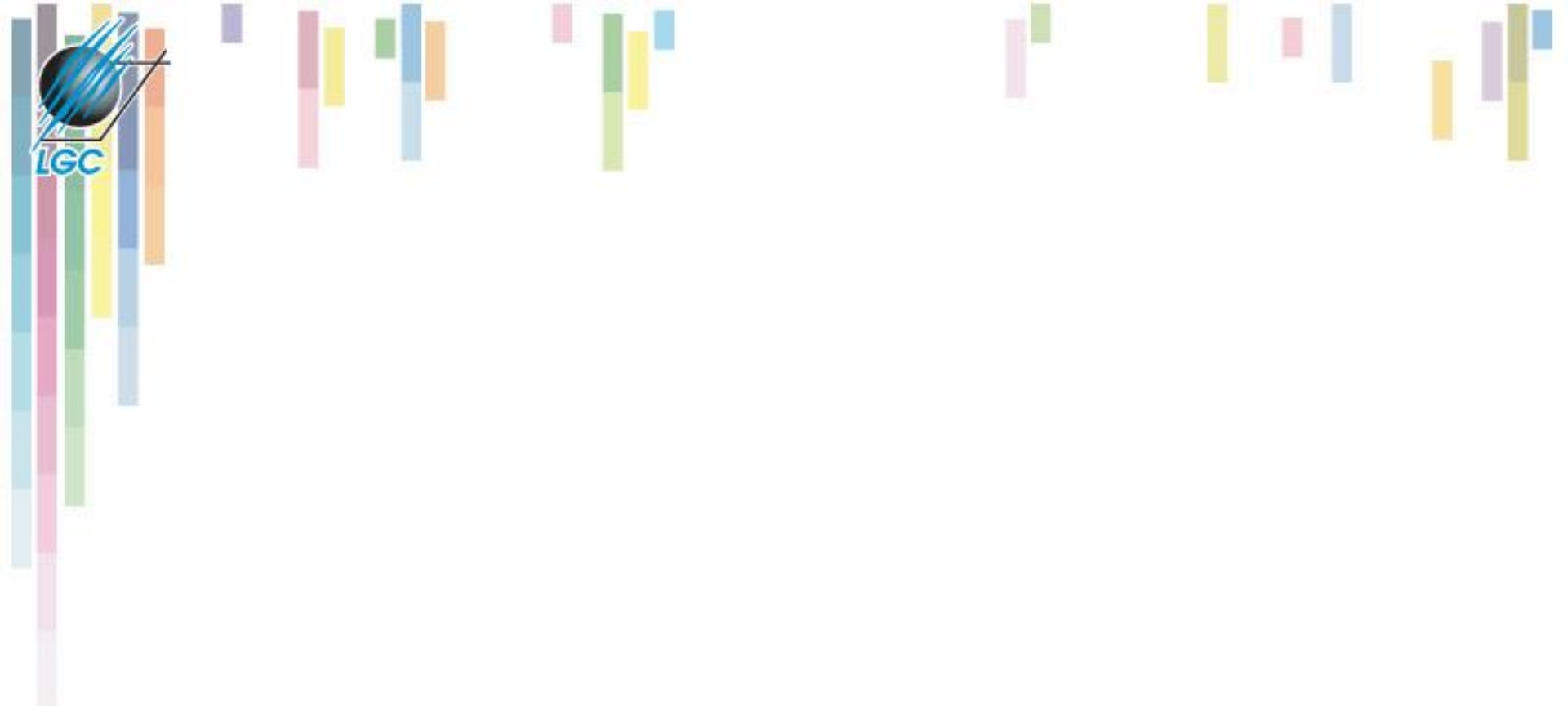
**ZABAGED**

Horák a kol. 2015

**Kartografické modelován**

# Aktuální data pro síťové analýzy

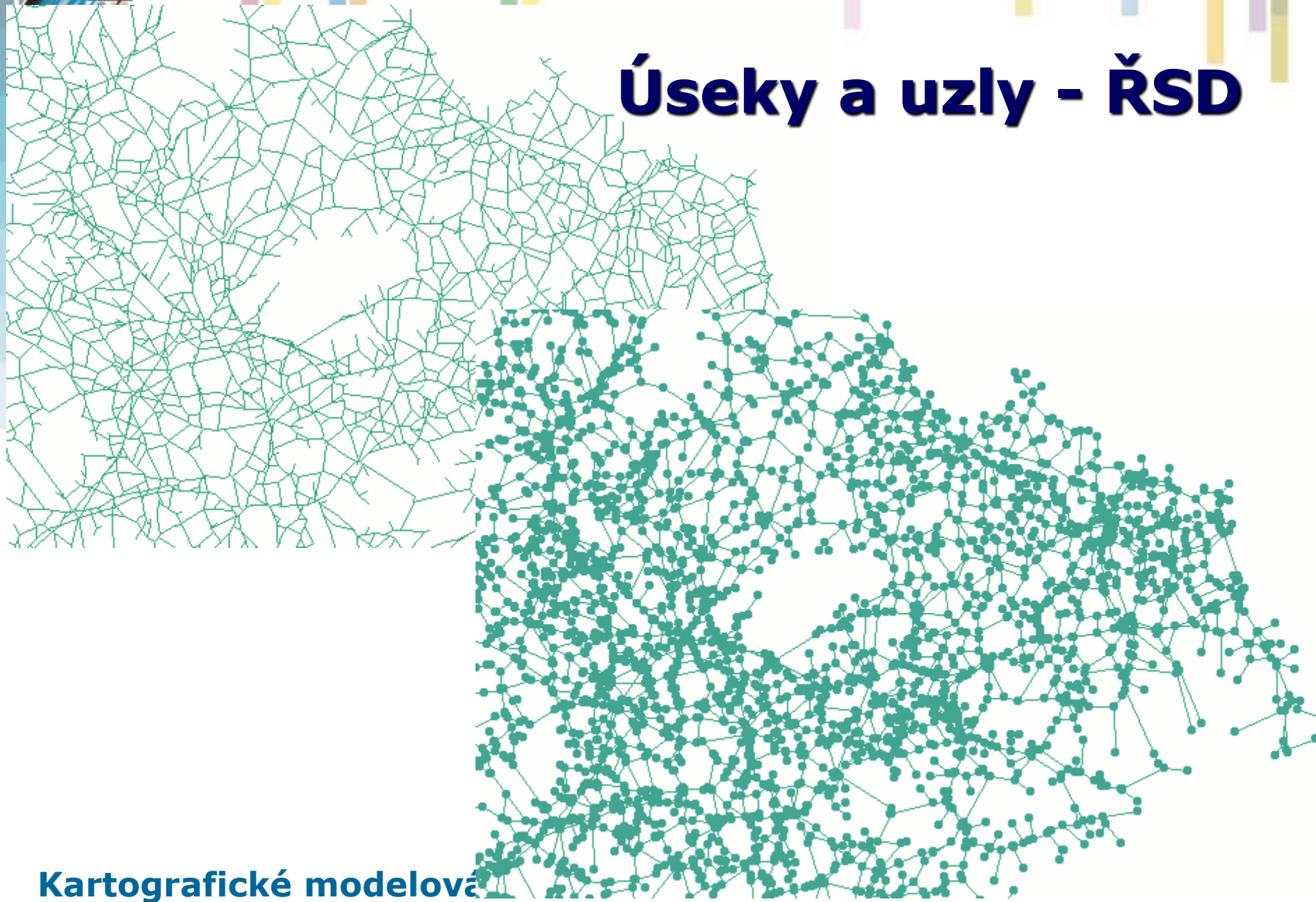
- **Rodos** <http://rodosdata.it4i.cz/> vytvořit nad silniční dopravou komplexní informační nastavbu a integrovat ji do stávajících telematických systémů. Jádrem centra RODOS je Dynamický Model Mobility (DMM), který integruje dynamický model pohybu osob, vozidel a zboží.



# **JAK SI VYTVOŘIT VLASTNÍ SÍŤ?**



# Úseky a uzly - ŘSD



Kartografické modelování



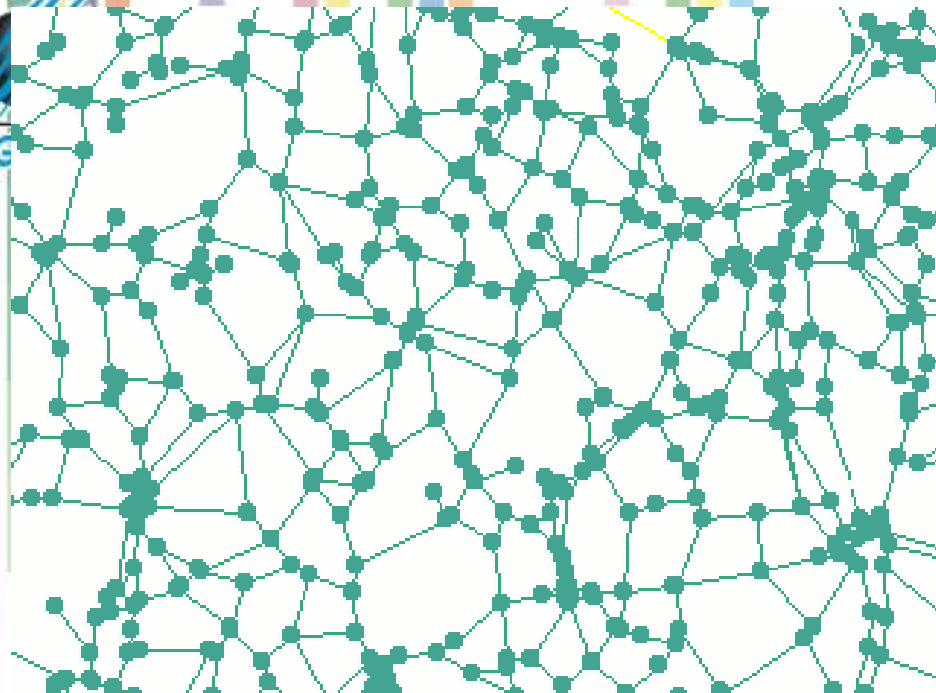
# Vlastnosti úseků

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



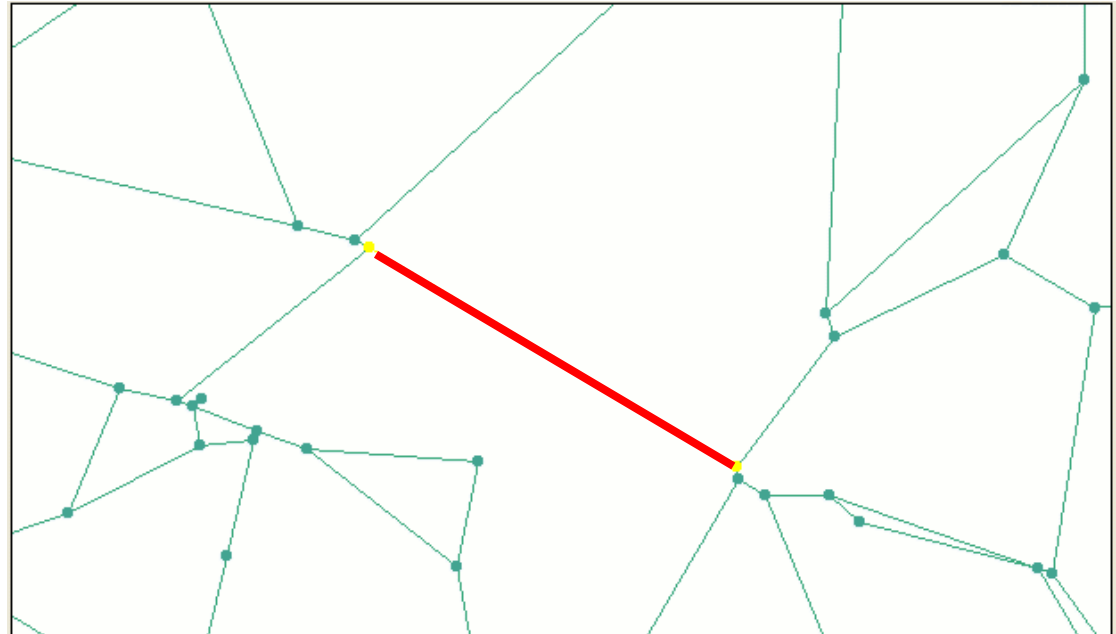
Shape	Cis_useku	Dat_zaznam	Adminj	Delka_us	Dopr_smery	Fapr_vetev	Kod_tr_kom	Silnice	Vybr_sa	Vym_taha	Fe
PolyLine	1541A075 1541A009	20071005	CZ0805	5719	0		2	56			
PolyLine	1541A075 1541A049	20071005	CZ0805	3573	0		4	4676			
PolyLine	1541A182011543A18103	20071005	CZ0803	4259	1		1	D47 2			
PolyLine	1541A182021541A077	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_smery	Fapr_vetev	Kod_tr_kom	Silnice	Vybr_sa	Vym_tahy	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**



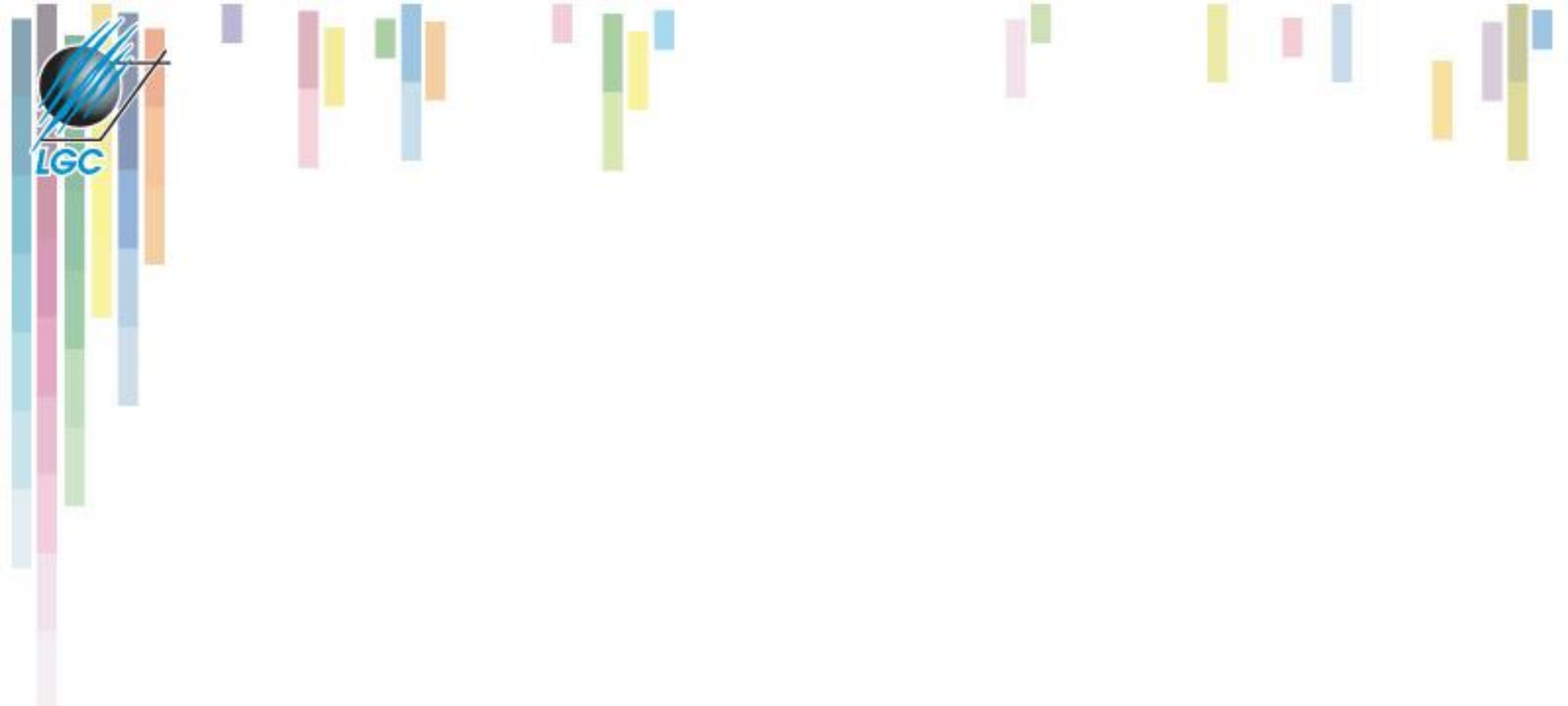
# Ohodnocení úseků

- 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 window 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	237	237

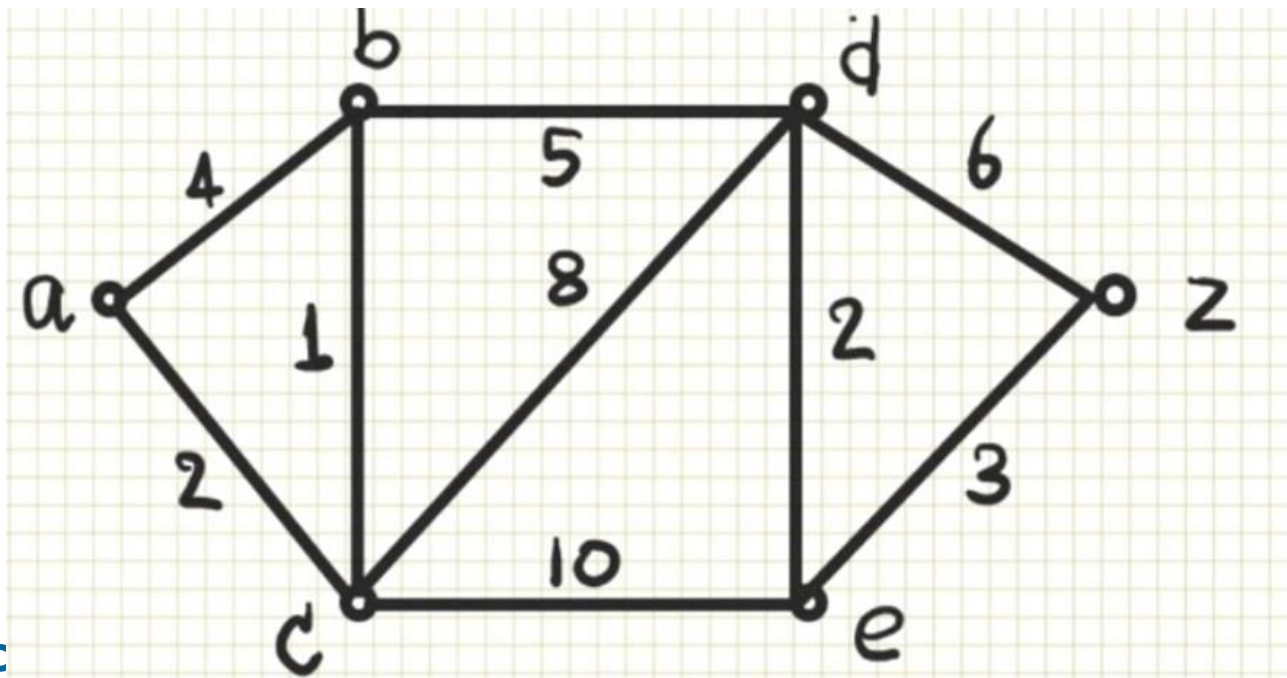


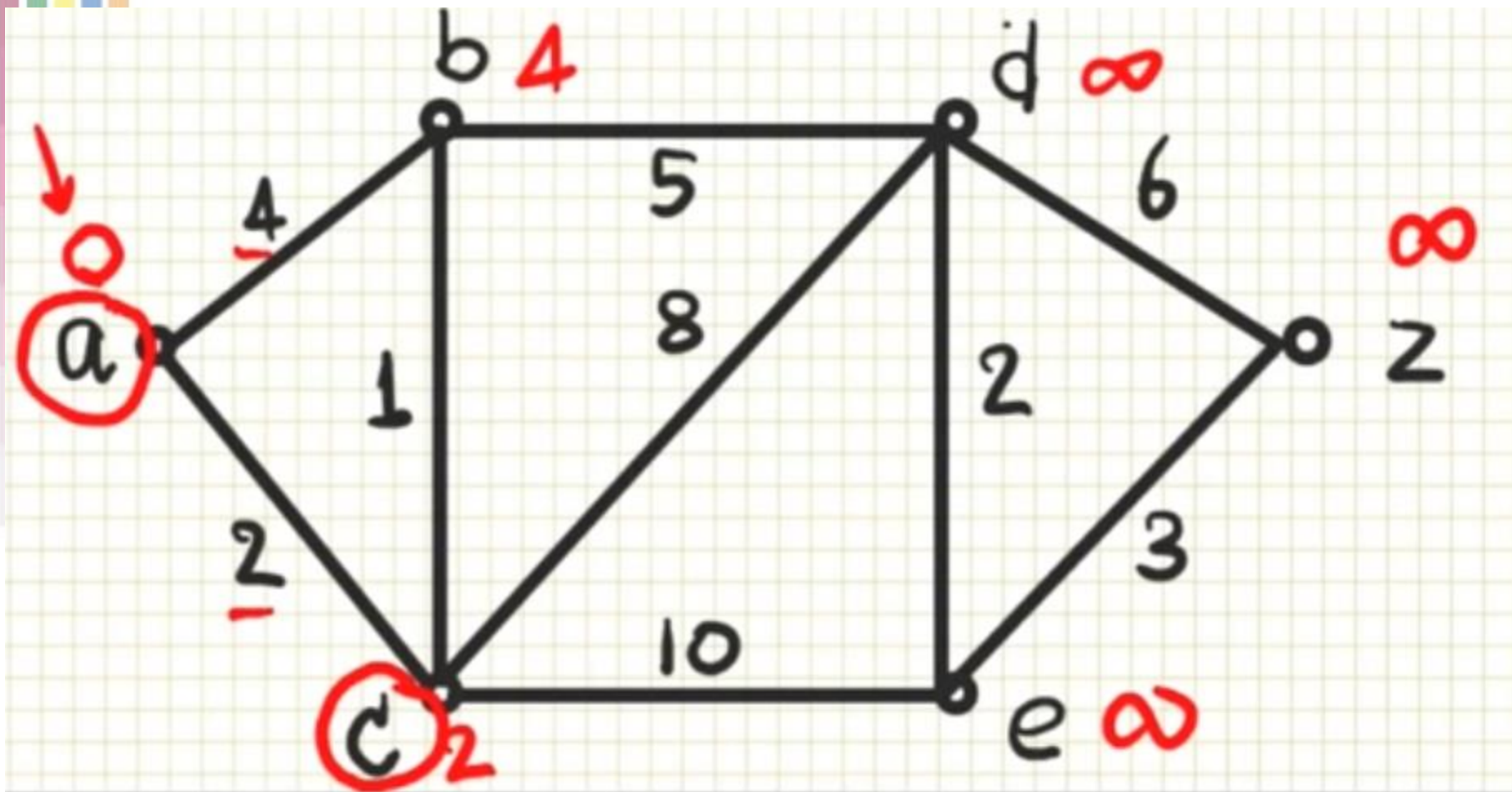
# JAK SE HODNOTÍ SÍŤ?



# Dijkstra algoritmus

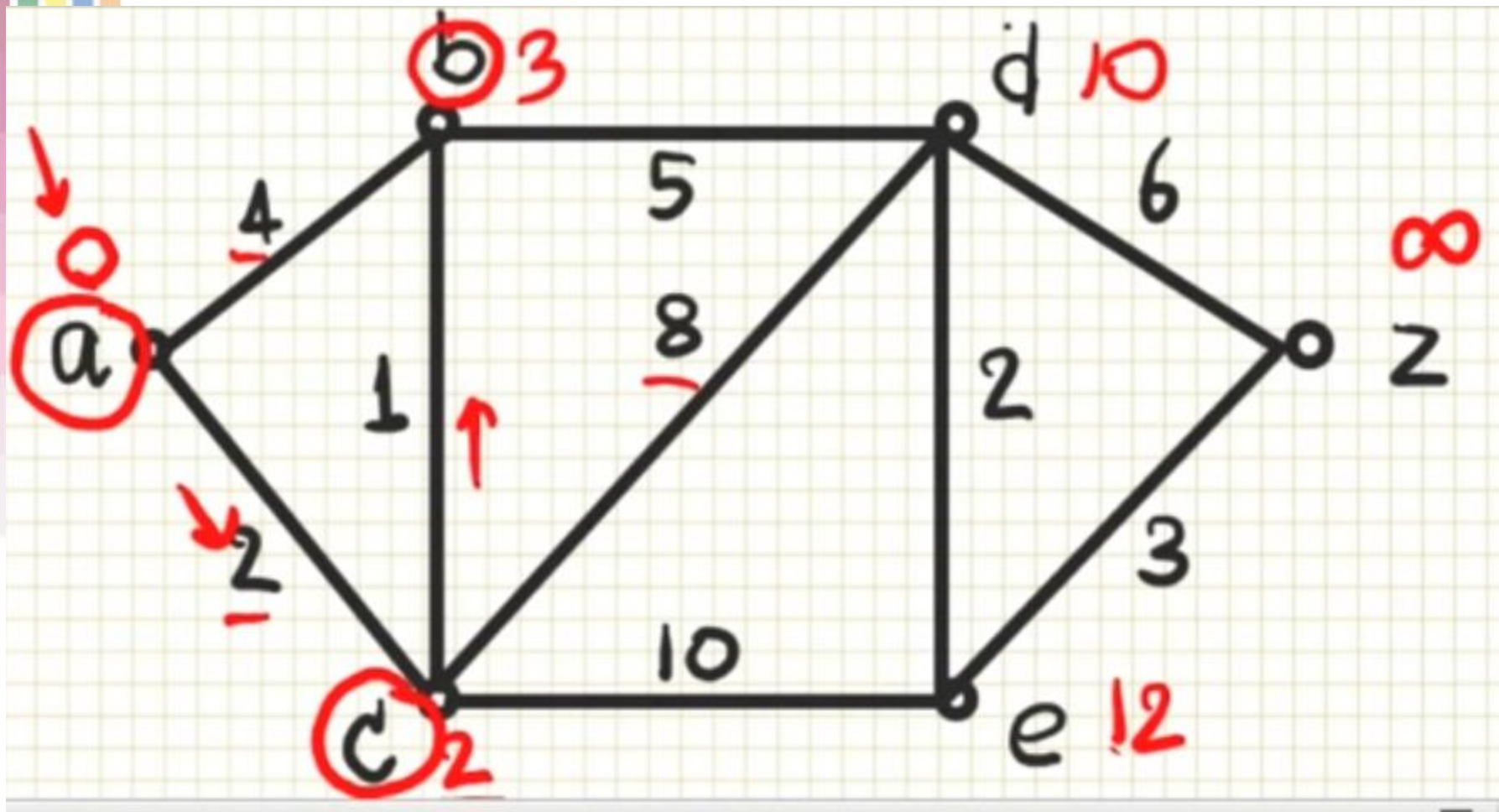
Algoritmus sloužící k nalezení **nejkratší cesty v grafu**. Je **konečný** (pro jakýkoliv konečný vstup algoritmus skončí), protože v každém **průchodu** cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá **právě jeden uzel**, průchodů cyklem je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů. Funguje nad **hranově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



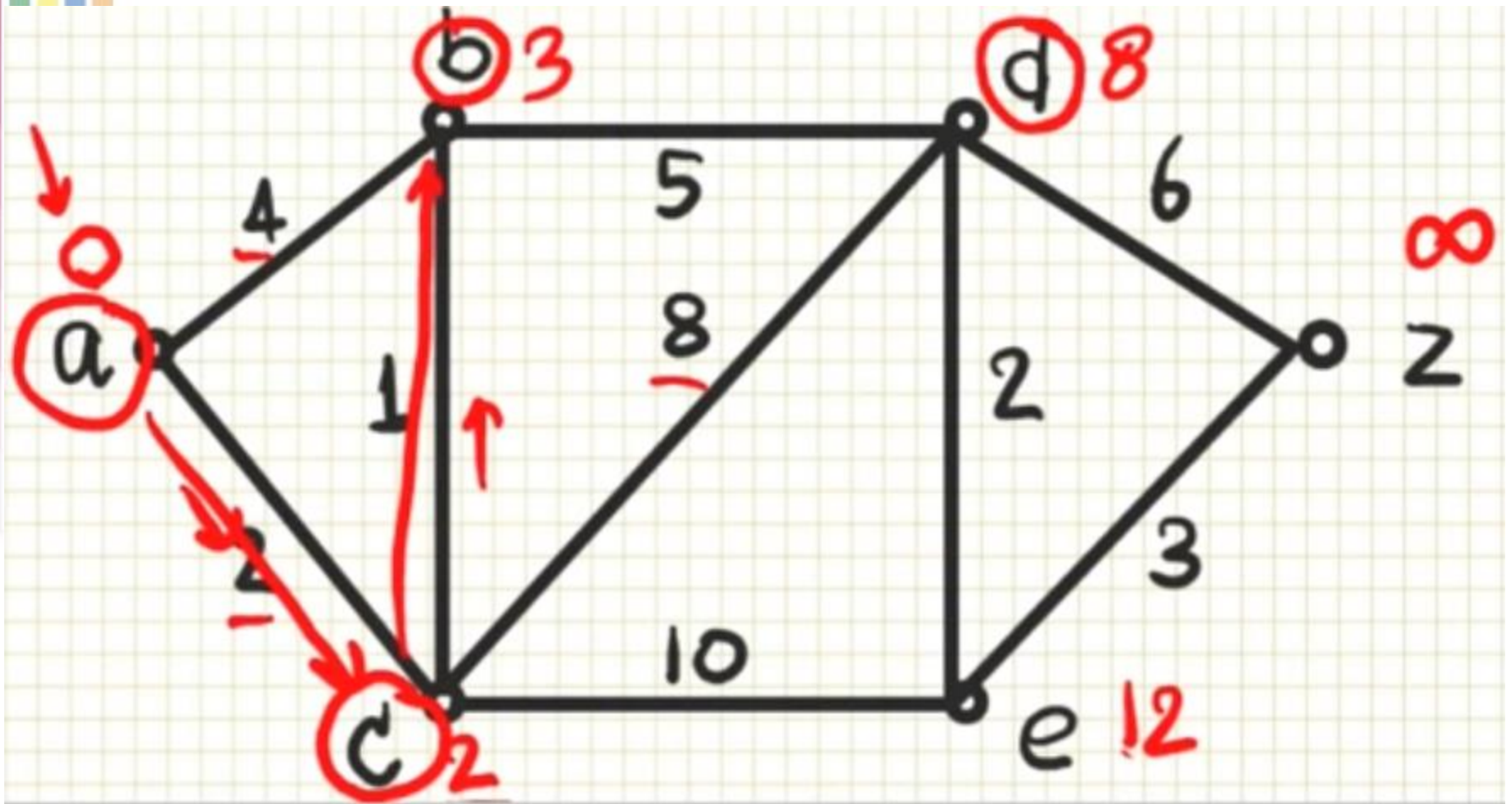


**Kartografické modelování**

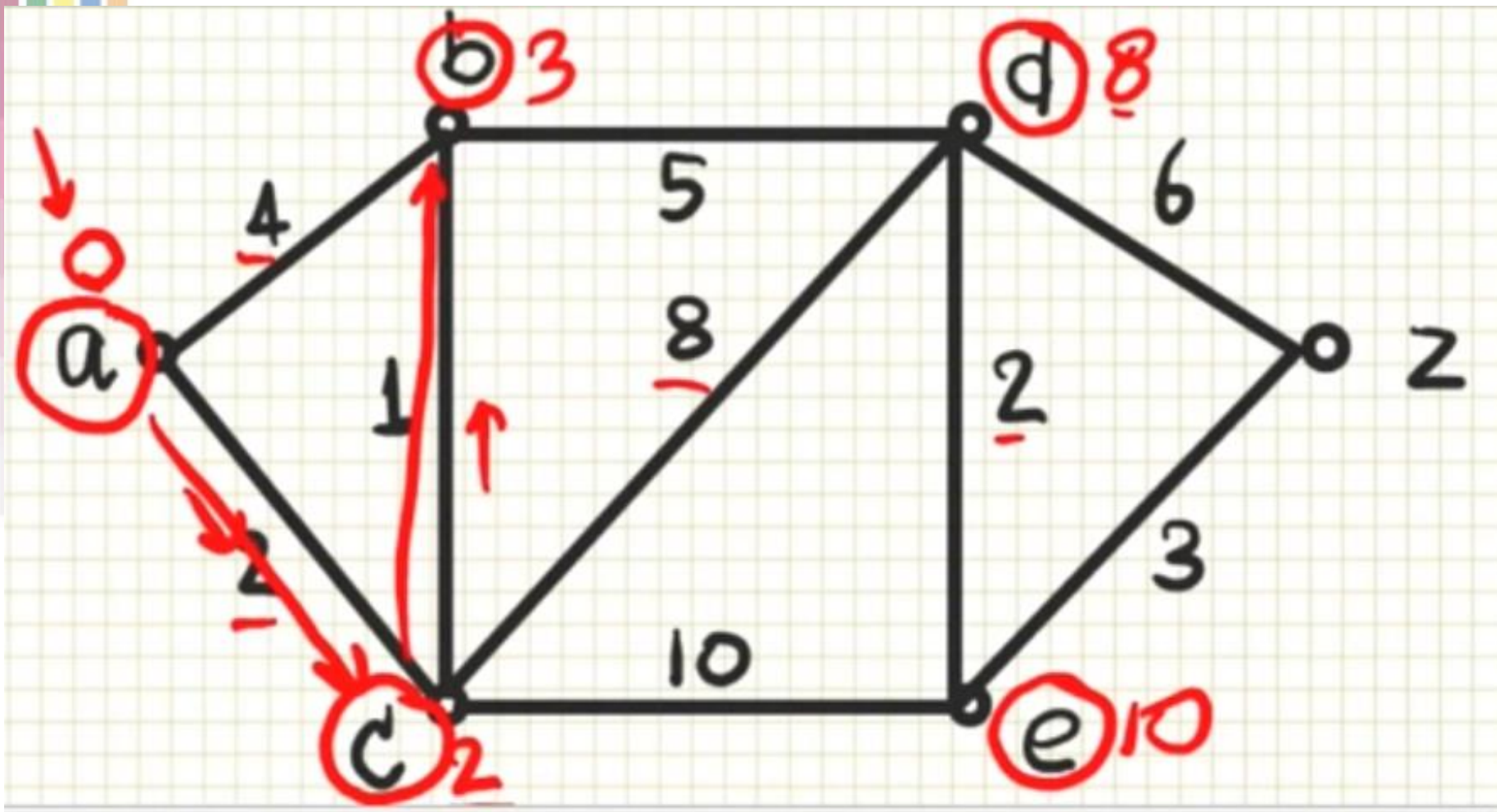




## Kartografické modelování

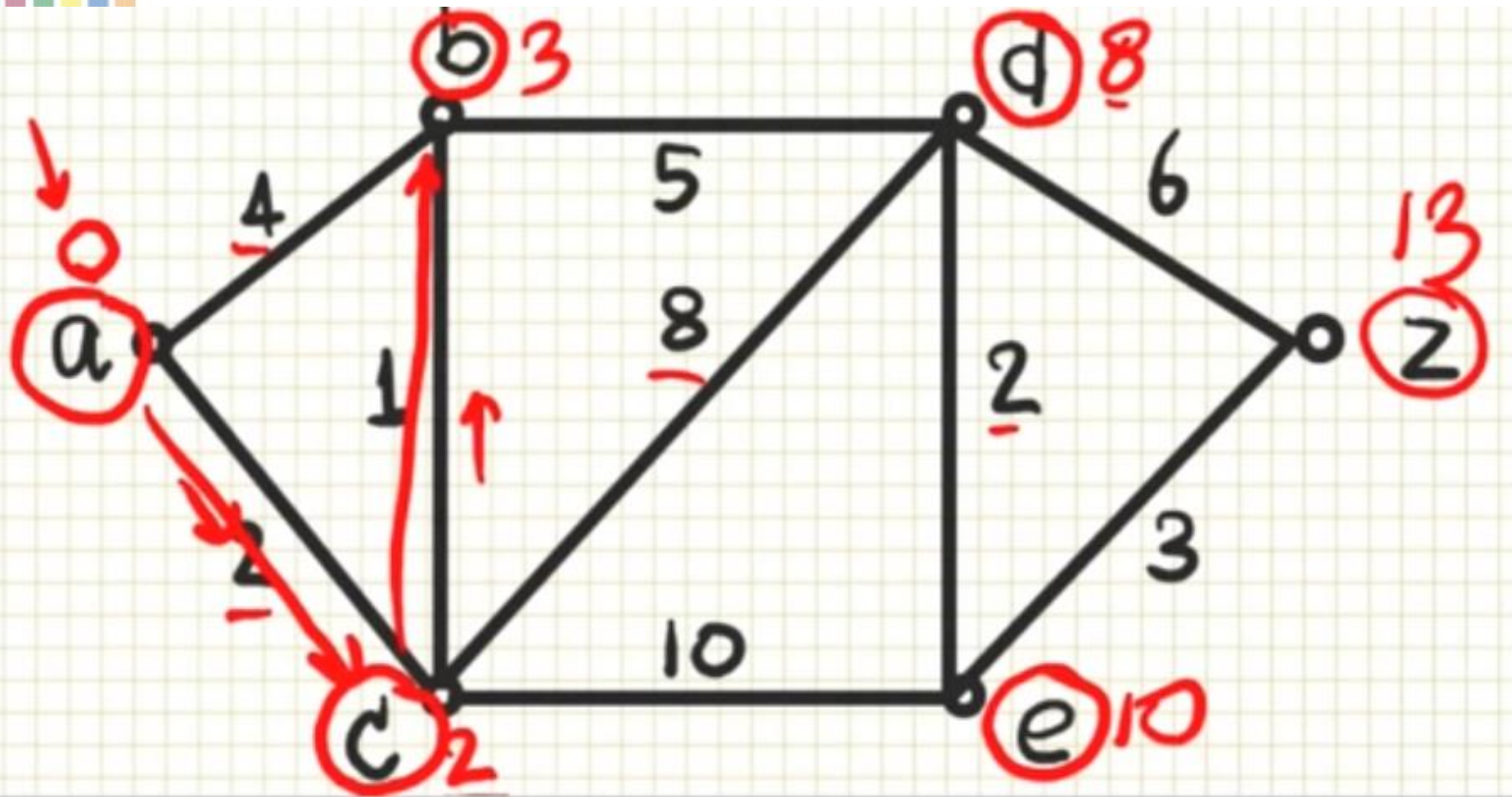


Kartografické modelování



**Kartografické modelování**





Kartografické modelování

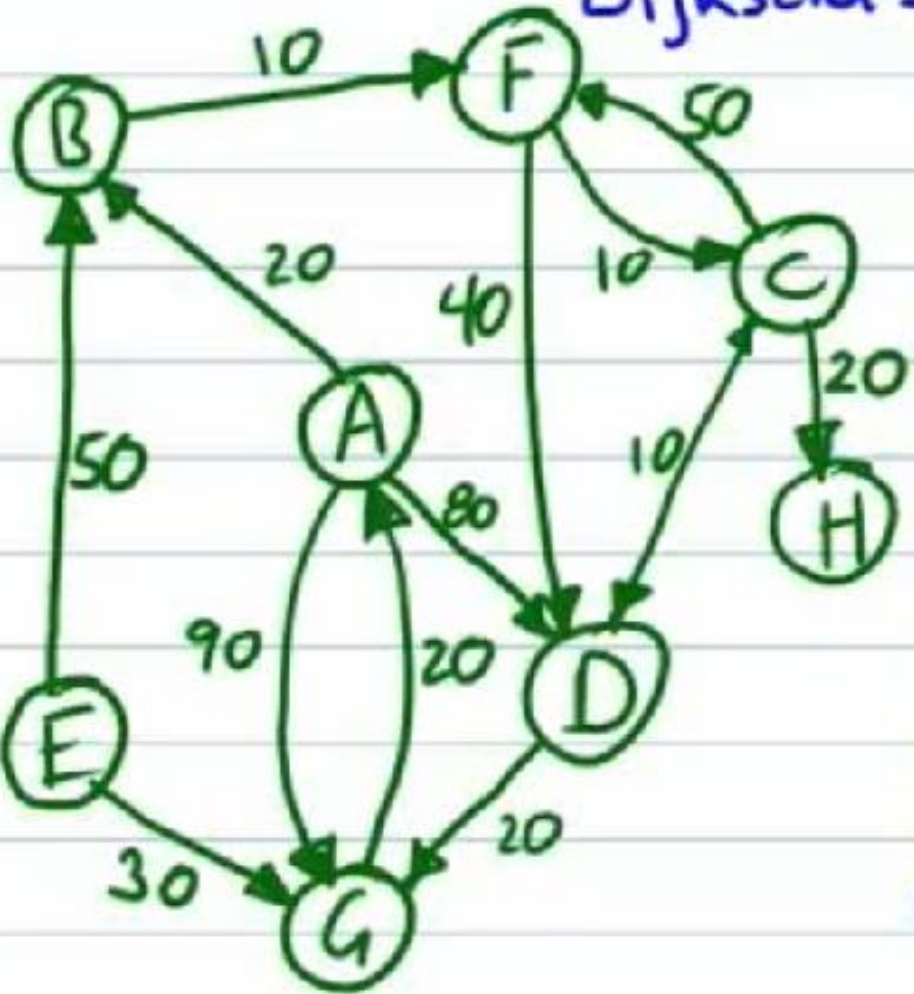


# Dijkstra algorithm

Graph Algorithms:  
Dijkstra's Algorithm

From  
A → B C D E F G H

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧

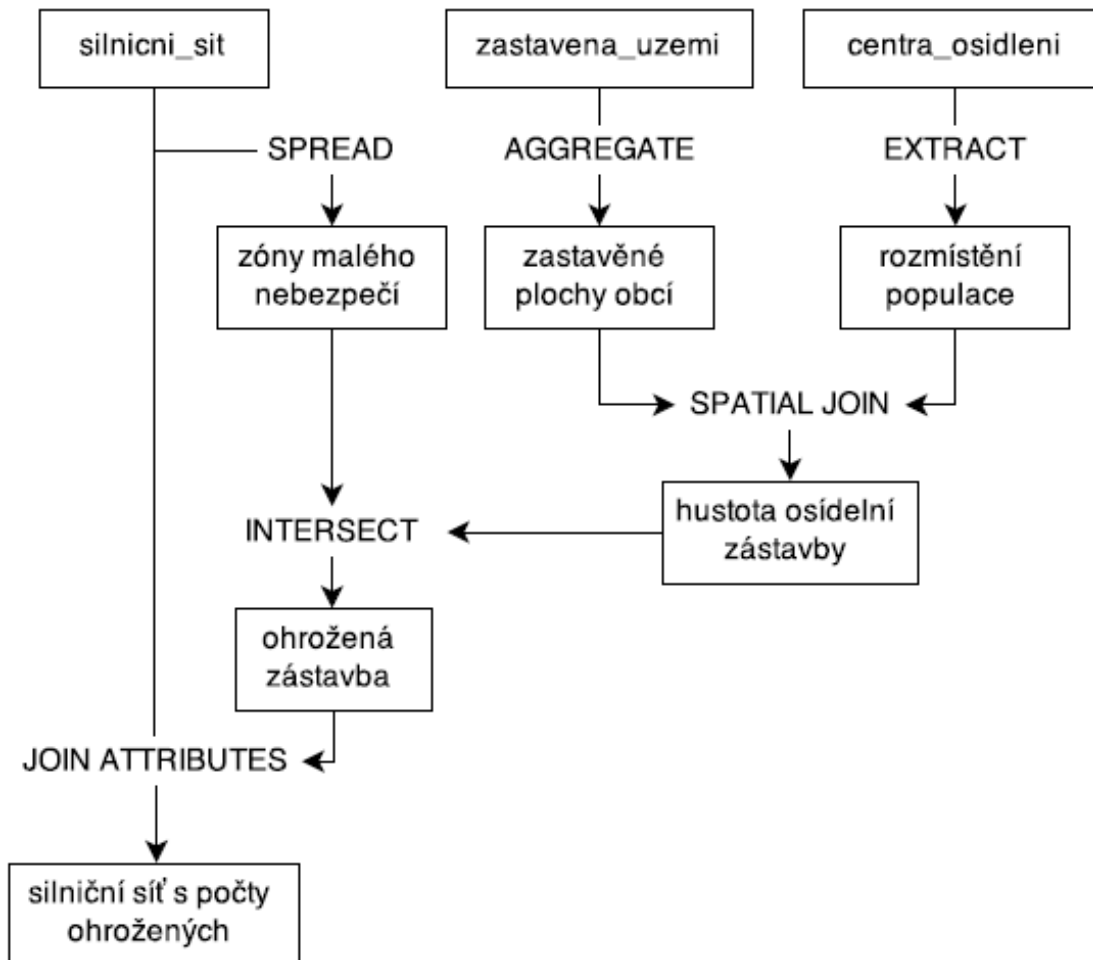




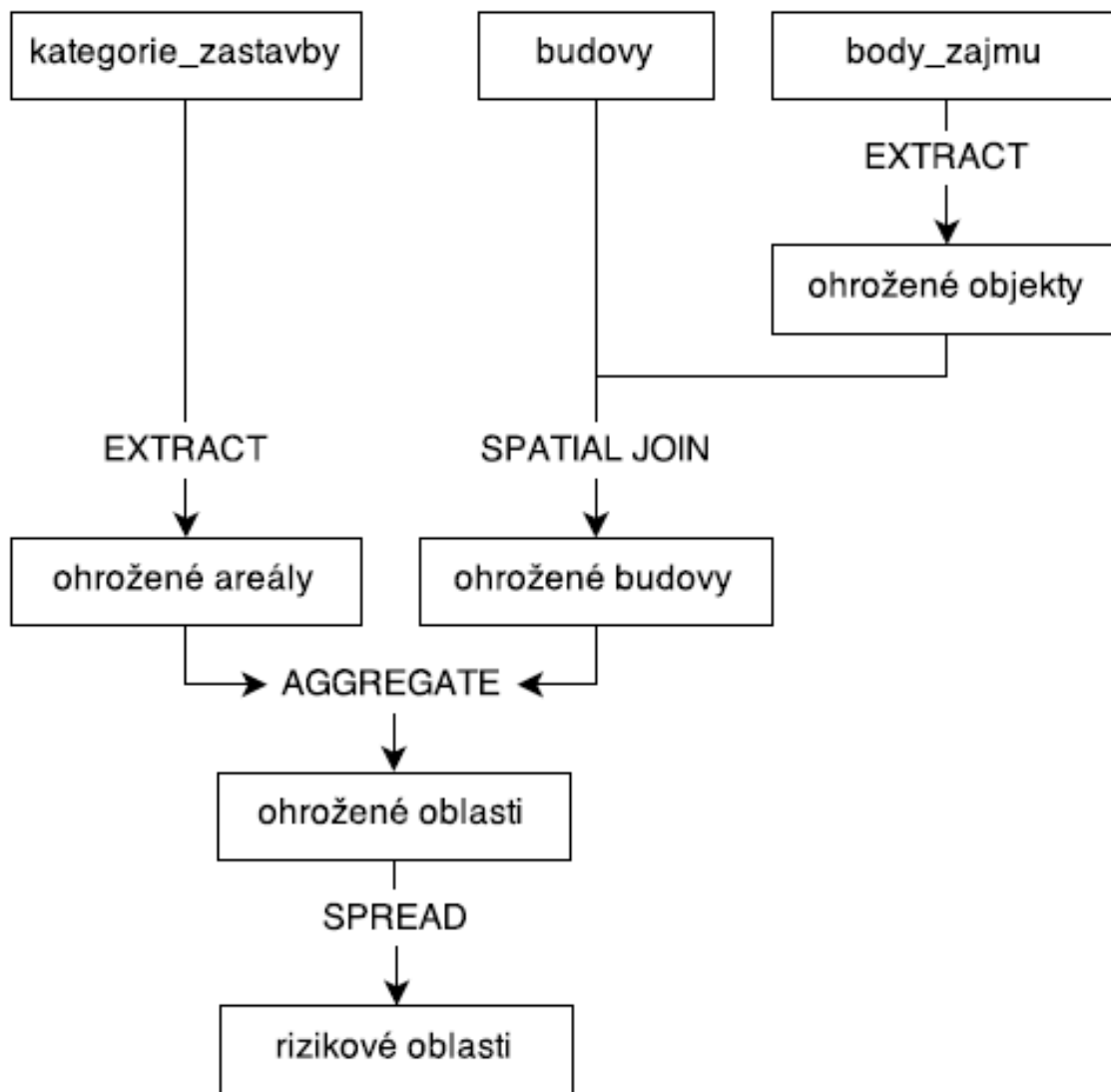
# Případová studie – přeprava nebezpečného nákladu (Leitgeb 2015)

- **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

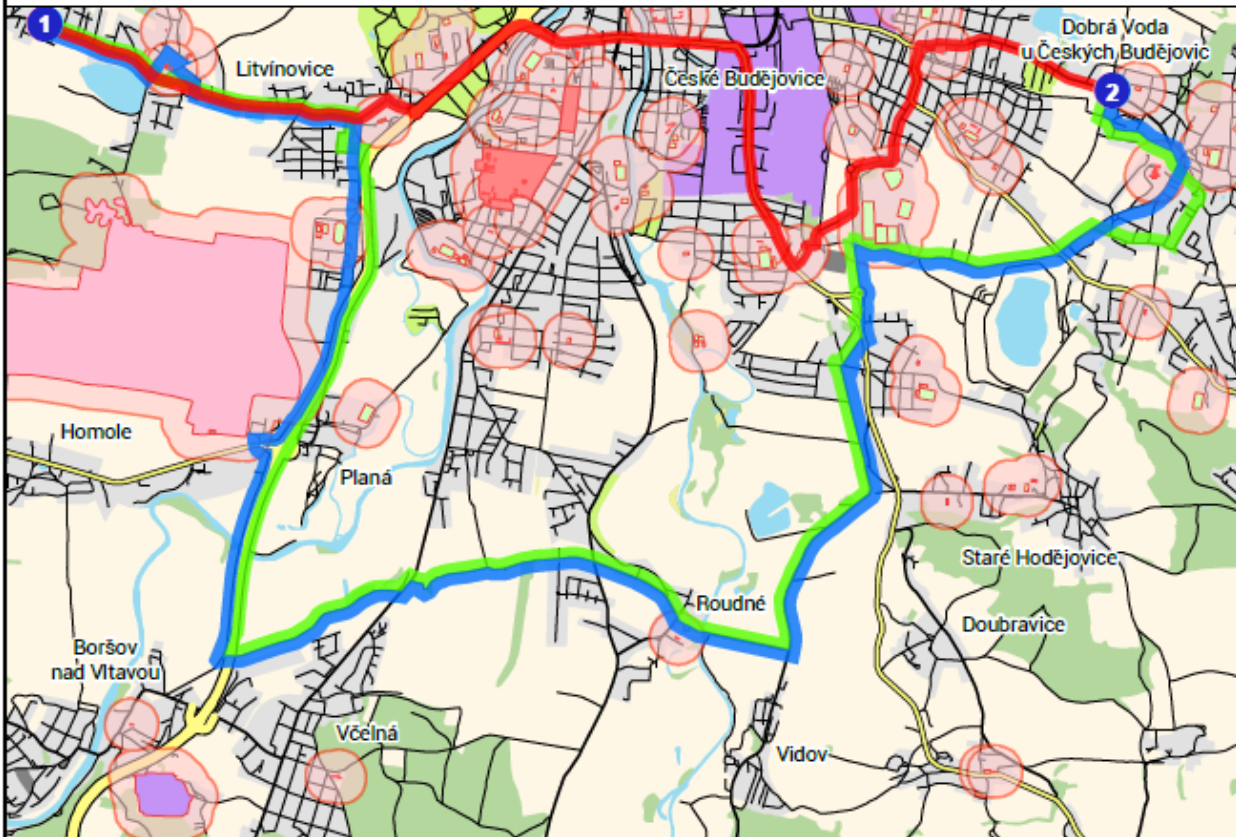




# OPTIMALIZACE TRASY PŘEVOZU VÝBUŠNIN NA MODELOVÉM ÚZEMÍ ČESKOBUDĚJOVICKA

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

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