



# Kartografické modelování

## VIII – Modelování vzdálenosti

jaro 2018

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

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

# Vzdálenostní funkce

## VEKTOR

## RASTR

- Základem je Euklidovská vzdálenost

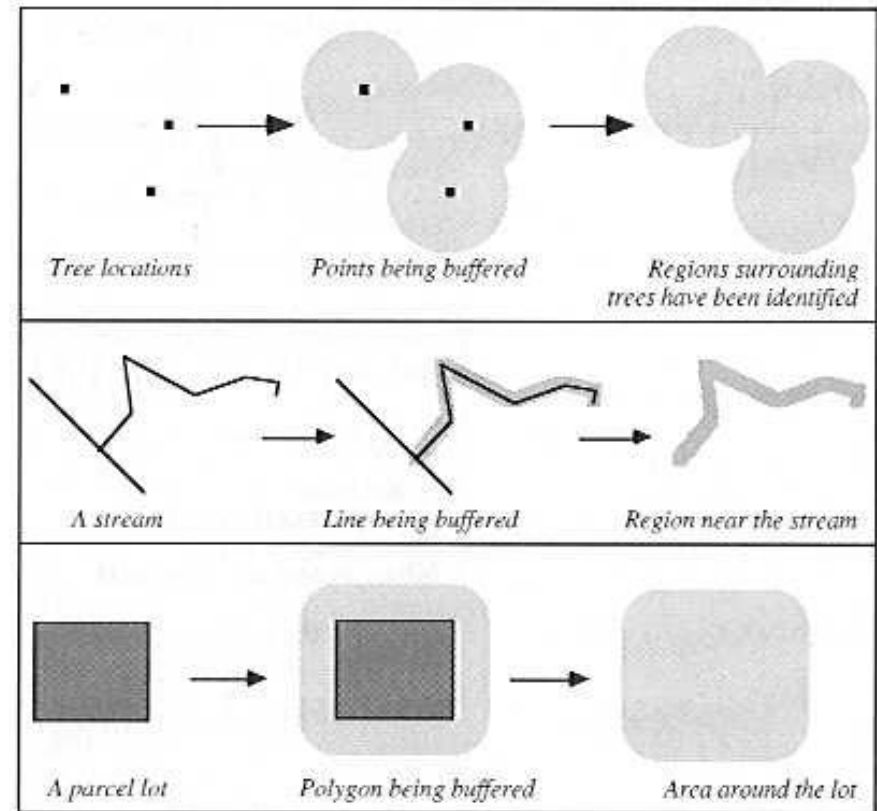
- Matice vzdáleností
- Identifikace nejbližšího souseda

- **Obalová/Nárazníková zóna**

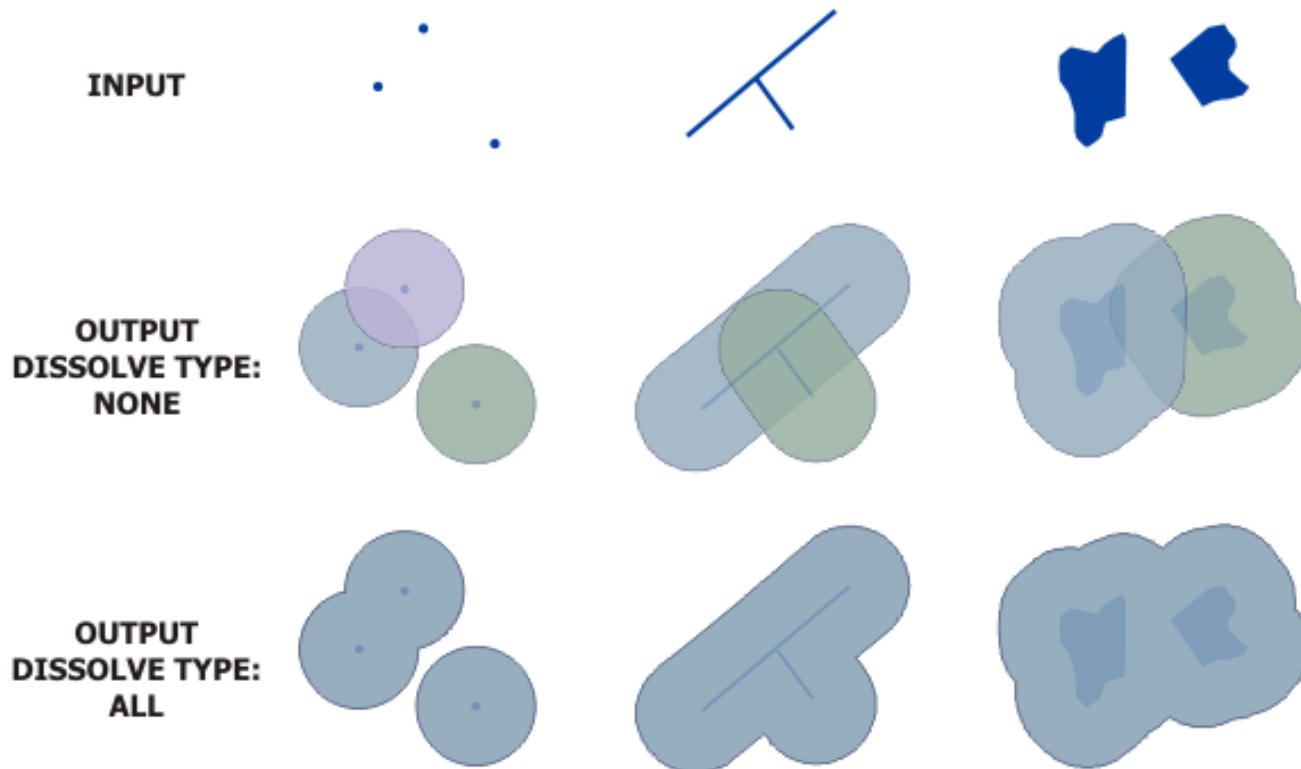
- **Obalová/Nárazníková zóna – buffer**
- **Nákladové vzdálenosti**
  - Funkce šíření a proudění

# Analýza vzdáleností - opakování

- Tvorba obálek (buffer)
- Konvexní obálka (convex hull)
- Nearest - geometrie
- Analýzy sousedství (Proximity analysis) – Thiesen polygons, Voronoi – konstrukce??



# Konstrukce bufferu - vektor

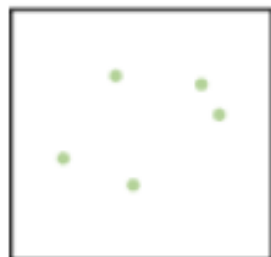




# Konvexní obálka

OUTPUT MINIMUM BOUNDING GEOMETRY TYPES

MULTIPOINT INPUT



CONVEX\_HULL



RECTANGLE\_BY\_AREA



RECTANGLE\_BY\_WIDTH



CIRCLE



ENVELOPE



LINE INPUT



CONVEX\_HULL



RECTANGLE\_BY\_AREA



RECTANGLE\_BY\_WIDTH



CIRCLE



ENVELOPE



POLYGON INPUT



CONVEX\_HULL



RECTANGLE\_BY\_AREA



RECTANGLE\_BY\_WIDTH



CIRCLE

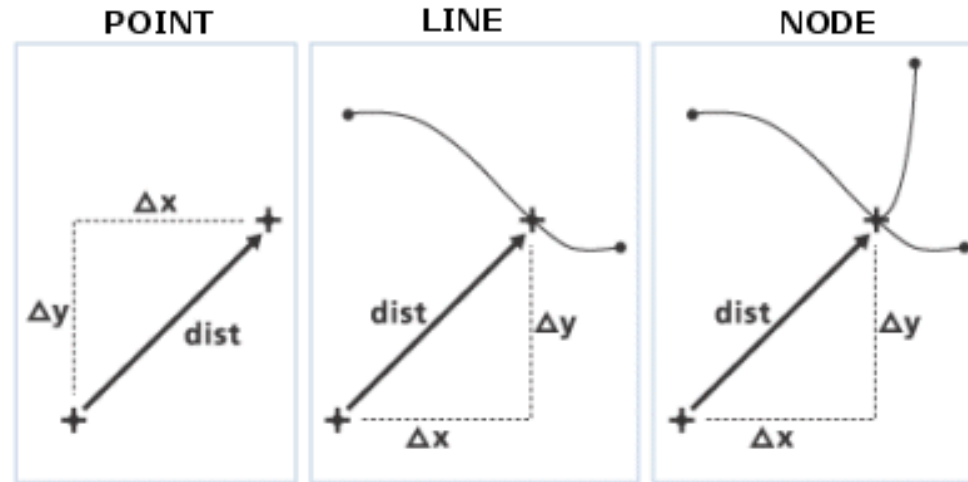


ENVELOPE

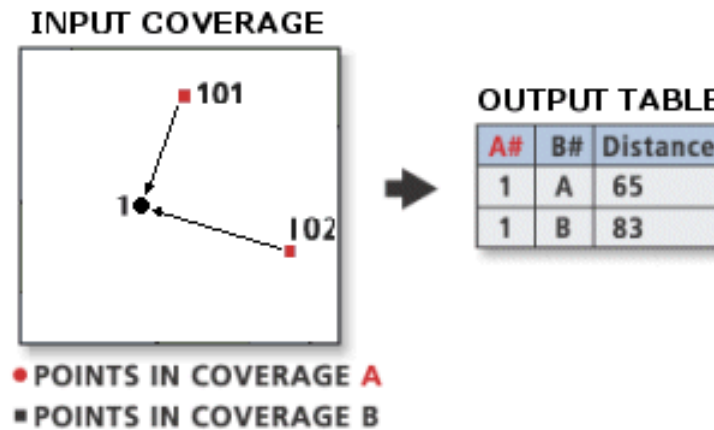


# Vzdálenost objektů

- **Nejbližší objekt**



- **Vzdálenost všech objektů**



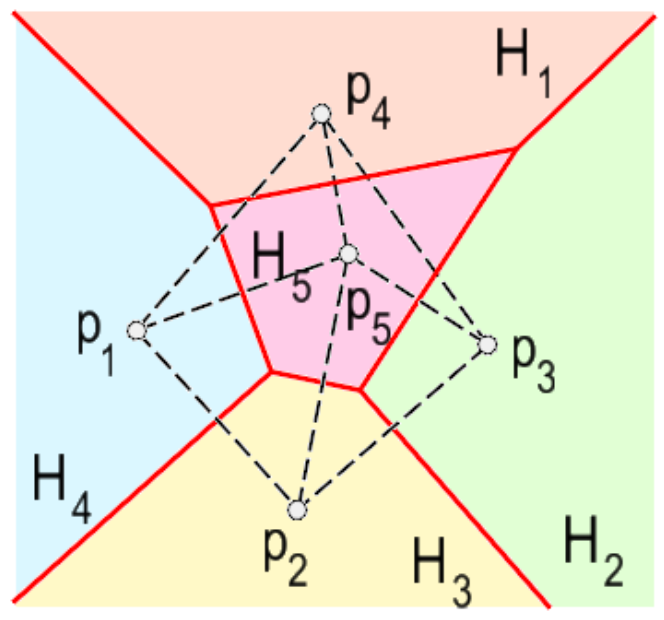
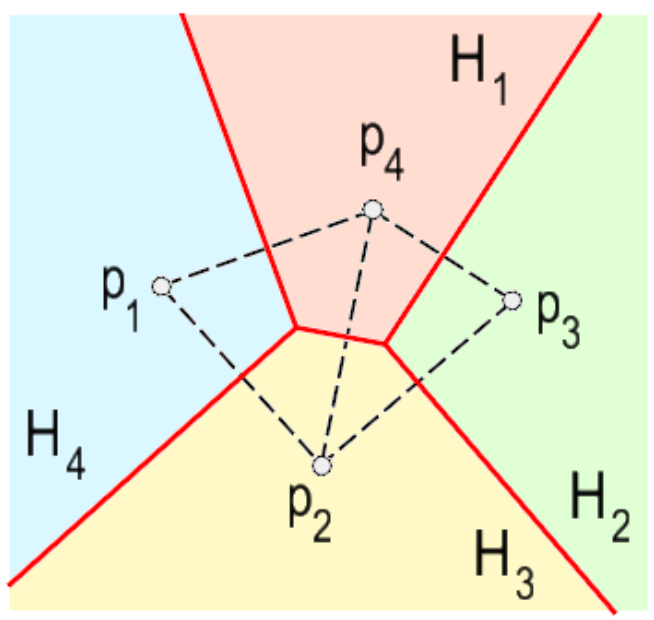
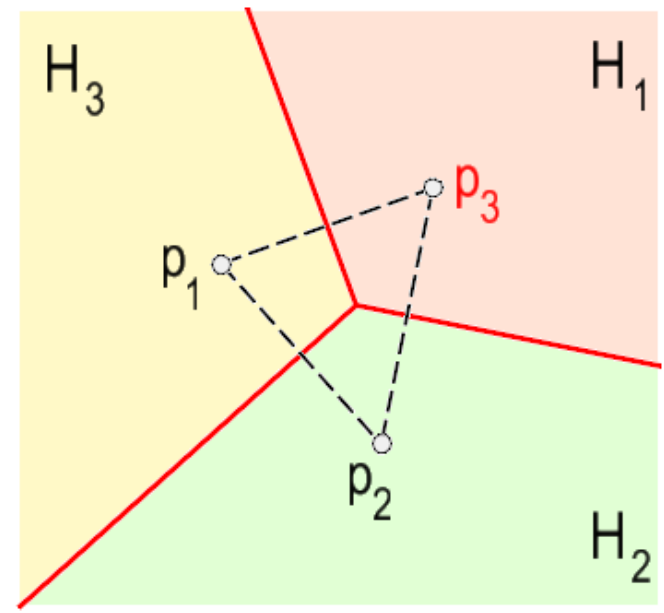
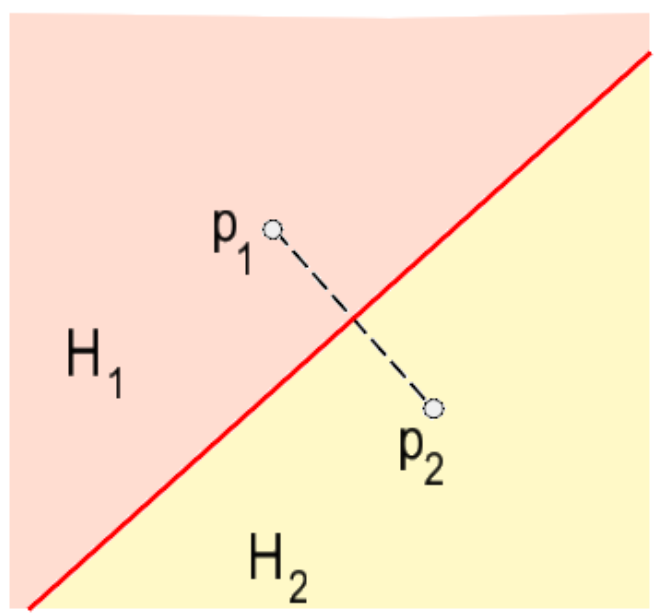


# Principy výpočtu vzdáleností

- **Výpočet vzdálenosti závisí na typu geometrie (a souřadnicovém systému). Tři hlavní pravidla určující způsob výpočtu:**
  - Vzdálenost mezi body je přímá spojnice obou bodů.
  - Vzdálenost mezi bodem a linií je buďto kolmice, nebo vzdálenost k nejbližšímu vrcholu.
  - Vzdálenost mezi liniemi je určena vzdálenostmi vrcholů jednotlivých segmentů (více možností, počítá se nejkratší).

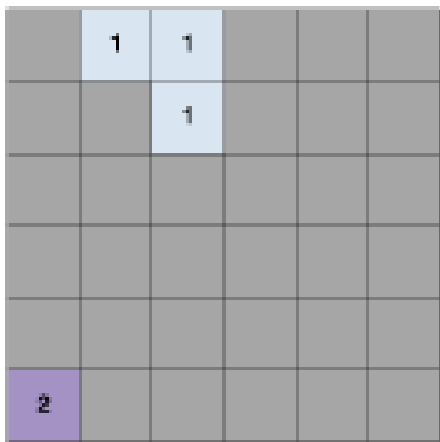
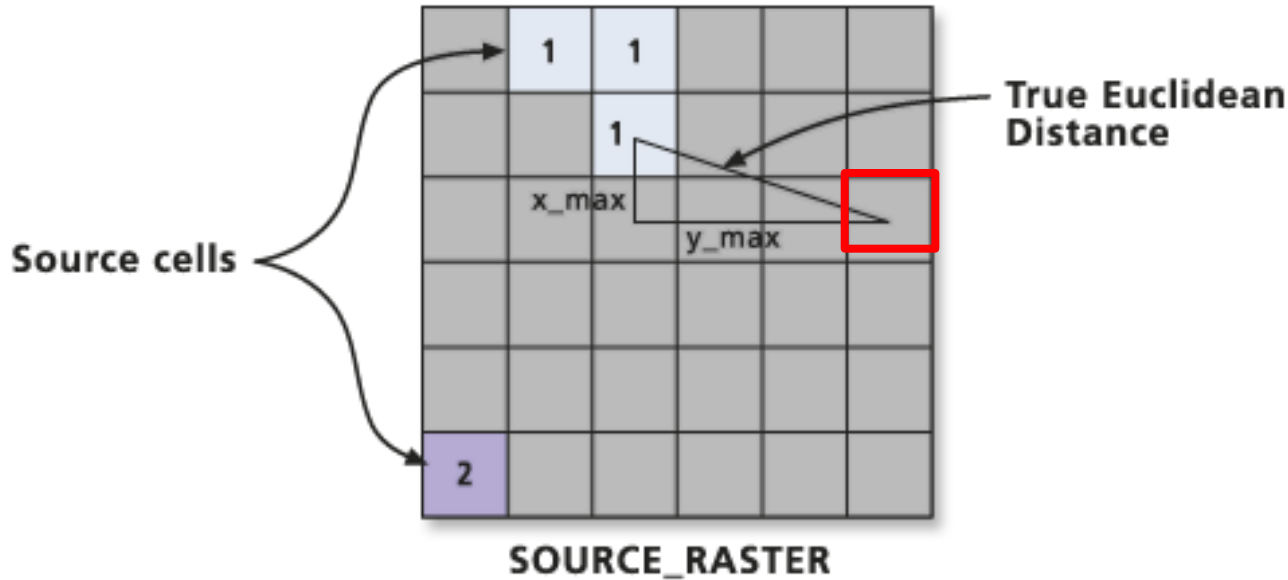
INPUT FEATURES	NEAR FEATURES			
	POINT	MULTIPOINT	LINE	POLYGON
POINT	<p>Input feature distance Near feature</p>			
MULTIPOINT				
LINE			<p>extended segment</p>	
POLYGON	<p>perpendicular to segment</p>			







# Euklidovské vzdálenosti



=



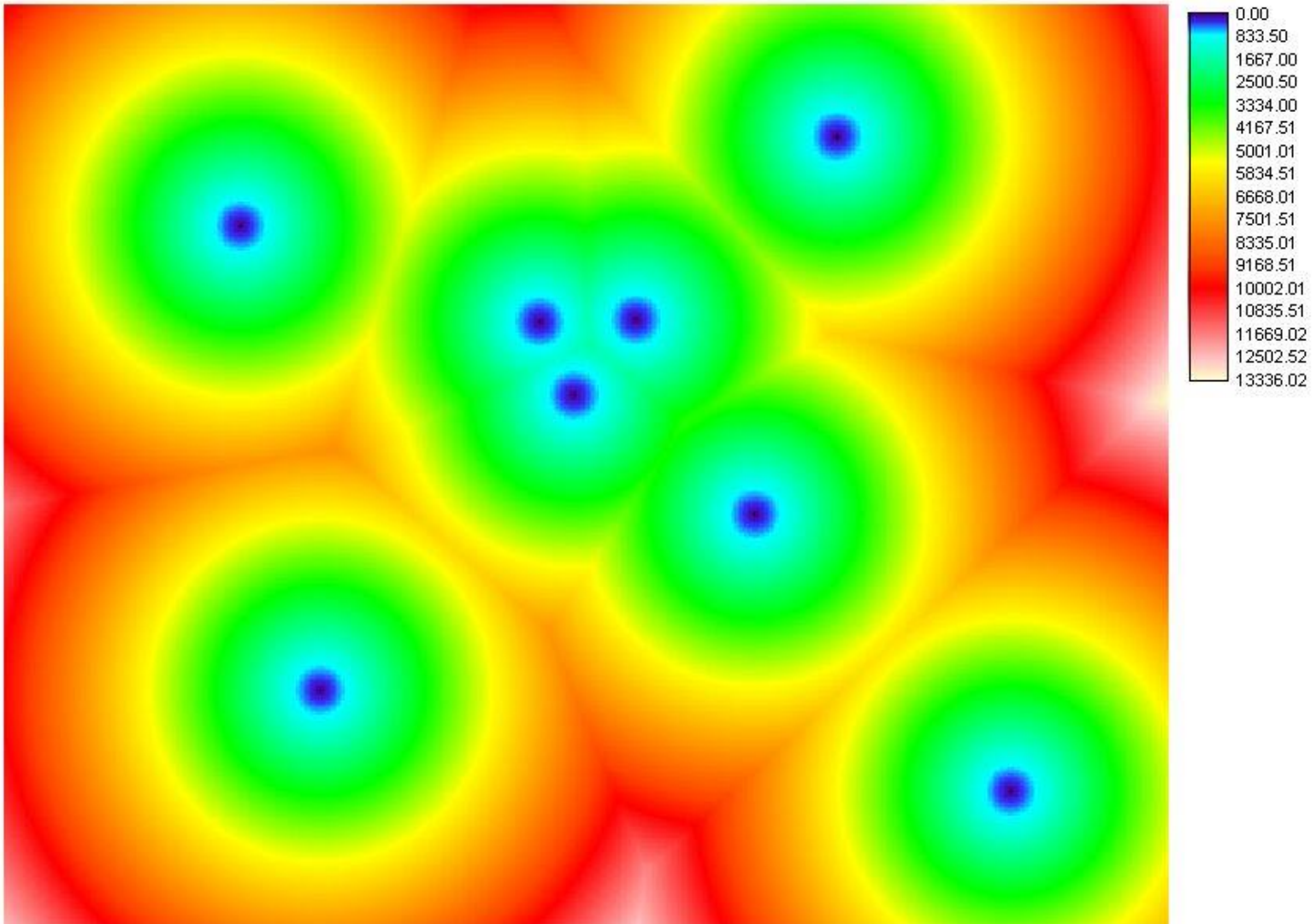
Value = NoData

Kartog

Source\_Ras

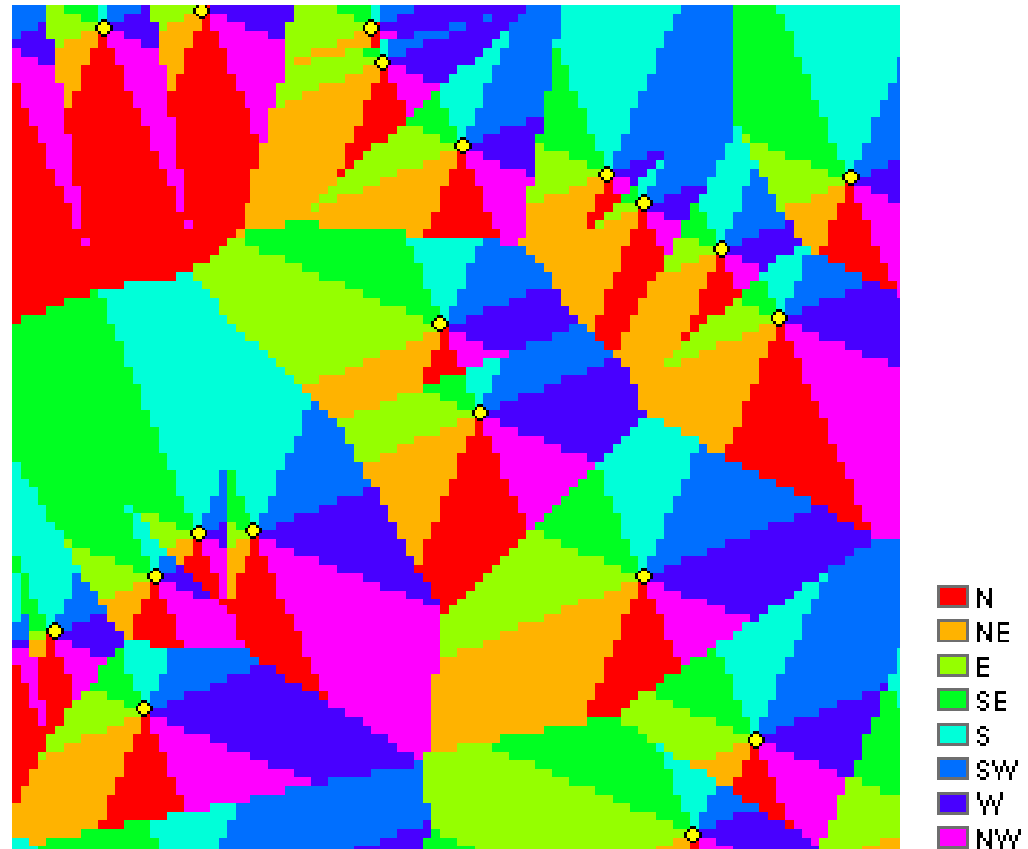
Euc\_Dist

# Euklidovské vzdálenosti (2)



# Další eukleidovské míry

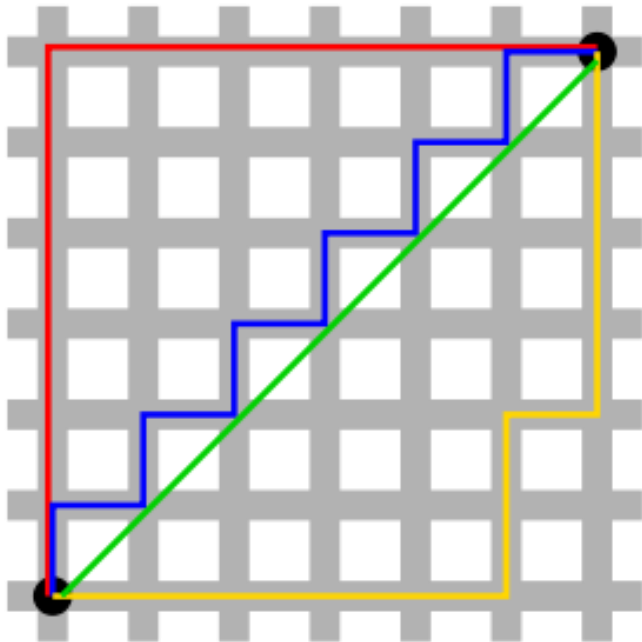
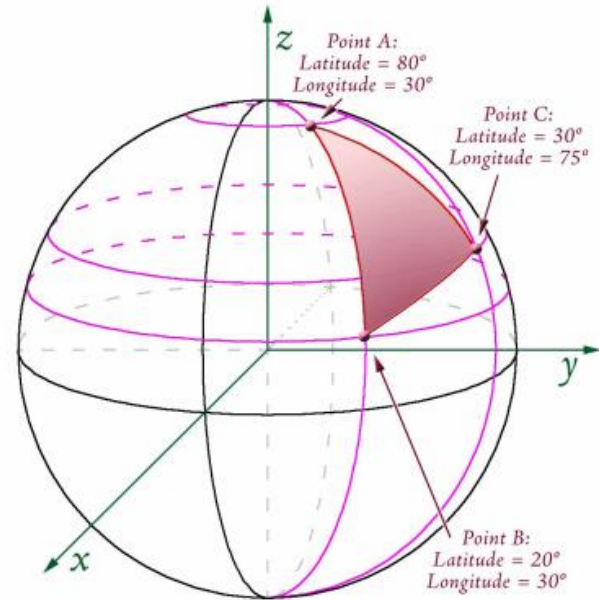
- **Směr k nejbližšímu zdroji** – úhel ve stupních k nejbližšímu zdroji.
- 360 st., 0=S,





# Neuklidovské vzdálenosti

- Sférická vzdálenost
- Manhattan distance
- Nákladové vzdálenosti



$$\sqrt{72} \approx 8.4853$$

Kartografické modelování



# Vážené vzdálenosti

- Vážená vzdálenost si všímá jedné podstatné vlastnosti, a to, že při běžných vzdálenostních analýzách se vůbec neuvažují vlivy okolí, vše je měřeno **vzdušnou čarou** za ideálních podmínek.
- V reálném světě ale tento model zdaleka **neodpovídá skutečnosti**.



# Vážené vzdálenosti

- **Reálná vzdálenost často neodpovídá vzdálenosti „vzdušnou čarou“ („as the crow flies“).**
  - Má na ni vliv tvar terénu (do kopce se jde hůře než z kopce), tvar komunikační sítě, povrch a jeho prostupnost a další.
  - Tyto faktory lze do analýzy zahrnout právě pomocí vážené vzdálenosti.
- **Nejprve se vytváří povrch nákladů / nákladový vzdálenostní povrch (cost surface).**
  - Tento povrch zahrnuje všechny možné vlastnosti reálného světa - faktory, které mohou ovlivnit reálnou vzdálenost (lépe řečeno dobu přepravy) mezi dvěma objekty. Lze jej charakterizovat jako povrch, jehož „**každá buňka ví, jak drahé je její překonání**“.
  - Jeho správná tvorba je klíčová pro to, aby následující analýzy dávaly reálné výsledky.



# Faktory ovlivňující vzdálenost

- **Vlastnosti reálného světa ovlivňující reálnou vzdálenost:**
  - objekty (antropogenní prvky, krajinný pokryv) nacházející se na povrchu,
  - průběh terénu, s ním související převýšení,
  - převládající směr větru,
- **následně se modelují jako faktory ...**
- **Faktory modelující vlastnosti reálného světa:**
  - frikční povrch,
  - faktor terénu (reliéfu),
  - vertikální faktor,
  - horizontální faktor,
- **se skládají do výsledného povrchu nákladů (nákladového vzdálenostního povrchu)**

**Kartografické modelování**





# Frikční povrch („povrch odporu krajinného pokryvu“)

- vzniká reklasifikací DMÚ (/využití půdy – Land Use) podle nákladovosti na překonání jednotlivých buněk,
- každé buňce se přiřadí informace o tom jak snadno či obtížně se po ní lze pohybovat,
- zohledňuje objekty (antropogenní prvky, krajinný pokryv) nacházející se na povrchu.

Legenda:

1	Silnice
10	Louka
15	Orná půda
20	Lesy - stromy
25	Lesy - křoviny

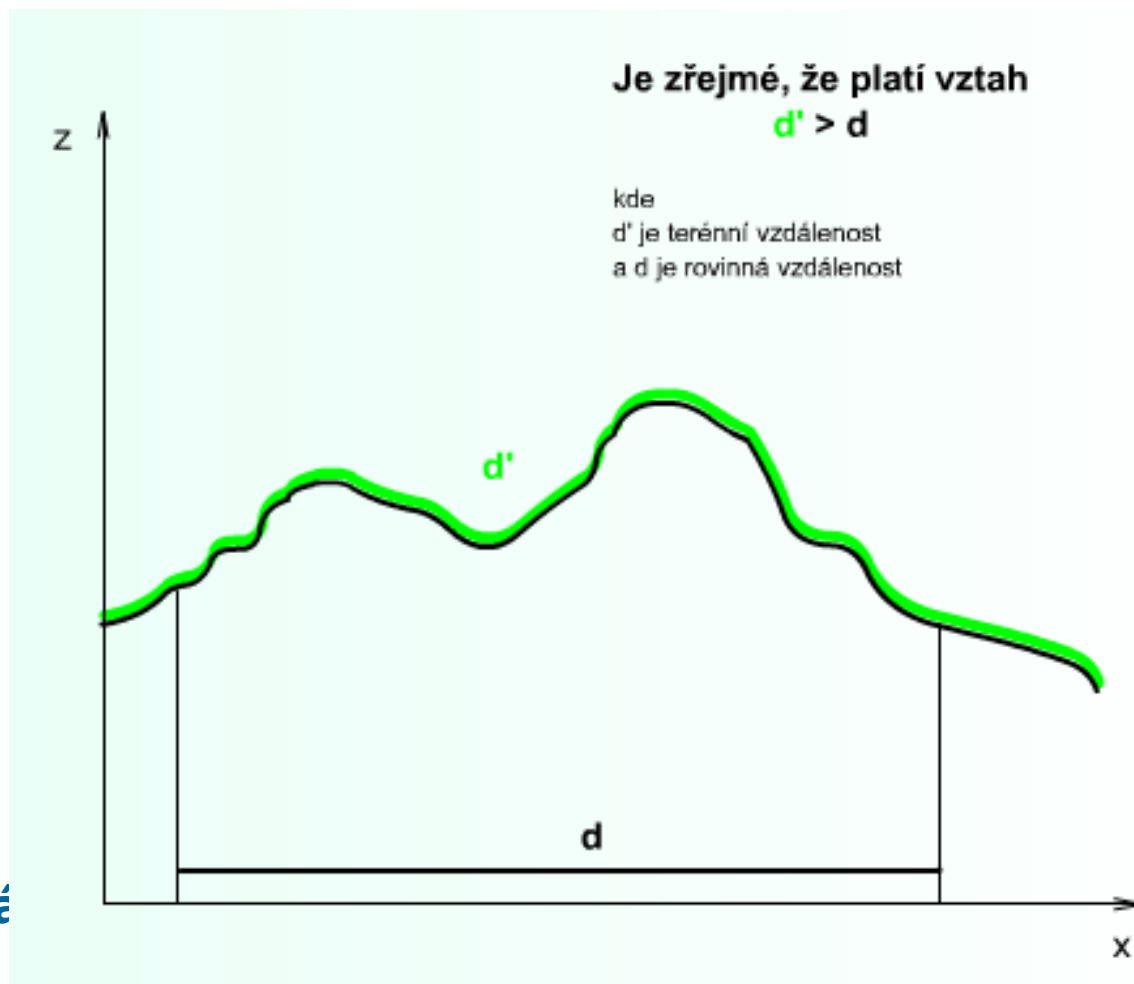
25	25	25	25	25	25	25	25	25	10
25	25	25	25	25	25	25	25	25	10
25	25	20	20	20	20	20	20	20	10
20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	1	1	1	1	1	1
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	15	10	10	10	10	10	10	10	10
15	15	15	10	10	10	10	10	10	10

**Kartografické modelování**



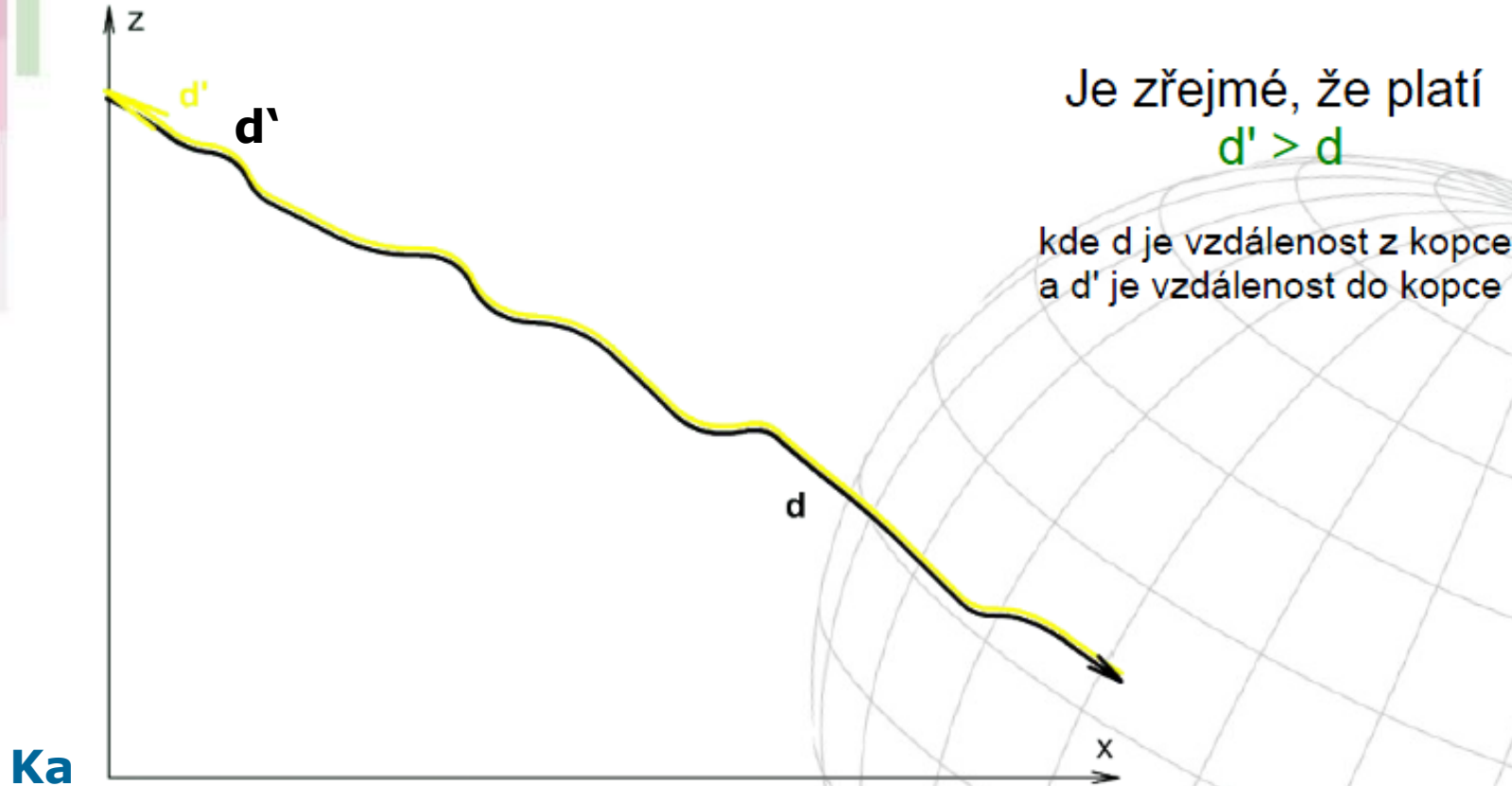
# Faktor terénu (reliéfu)

- **Izotropní (nezávislá na směru), nezáleží na směru pohybu (počítá se z DMR).**



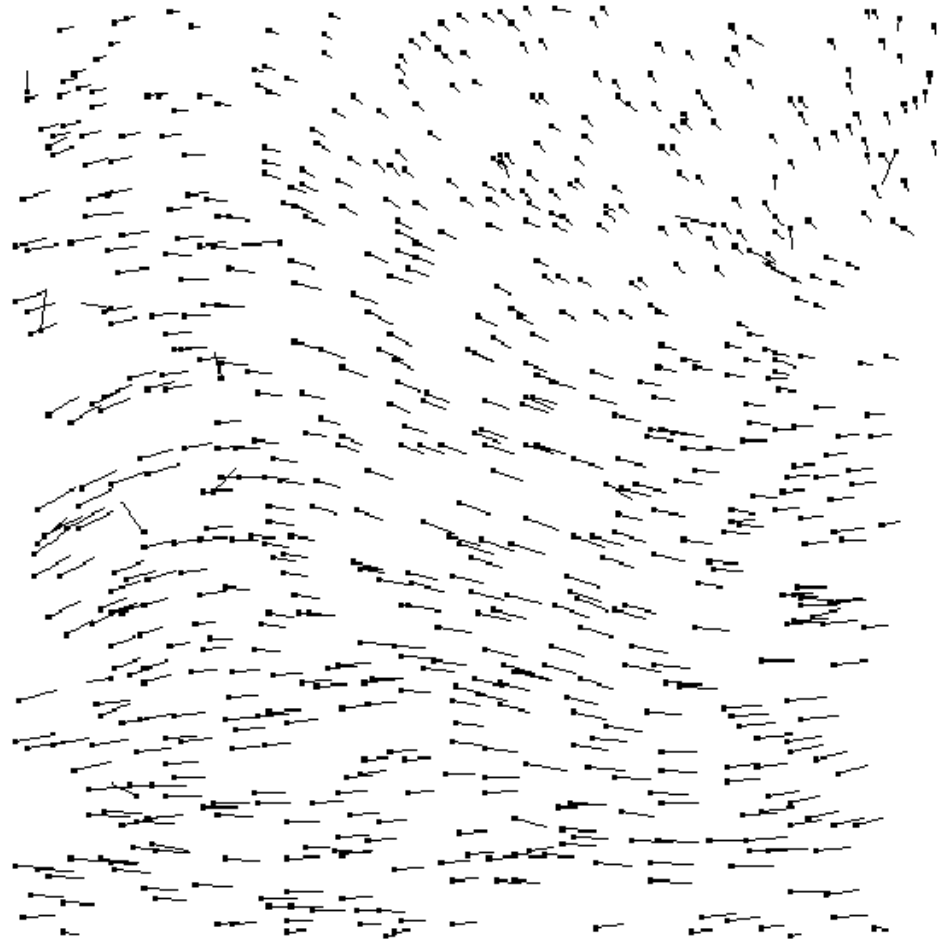
# Vertikální faktor

- anizotropní, záleží na směru pohybu (počítá se ze sklonů svahů).



# Horizontální faktor

- anizotropní
- účinek převládajícího horizontálního směru působení faktoru na energii, kterou musíme vynaložit abychom překonali buňku.



# Povrch nákladů

- Je pak počítán jako **funkce všech faktorů**.
- Každý z modelovaných faktorů má jiný rozsah hodnot.
  - Např. metry pro rovinnou vzdálenost mohou mít jinou váhu než, metry pro převýšení (vertikální vzdálenost). S metry je dále třeba sjednotit jednotky z frikčního povrchu.
- **Obecně nejtěžší část geografických analýz – dokázat vymyslet takový vztah (funkci) aby analýza skutečně dobře fungovala.**

**Povrch nákladů lze charakterizovat jako povrch, jehož každá buňka ví, „jak drahé je její překonání“.**

- **Zanedbáme-li všechny další faktory, můžeme za základní povrch nákladů považovat i frikční povrch.**



# Povrch vážené vzdálenosti

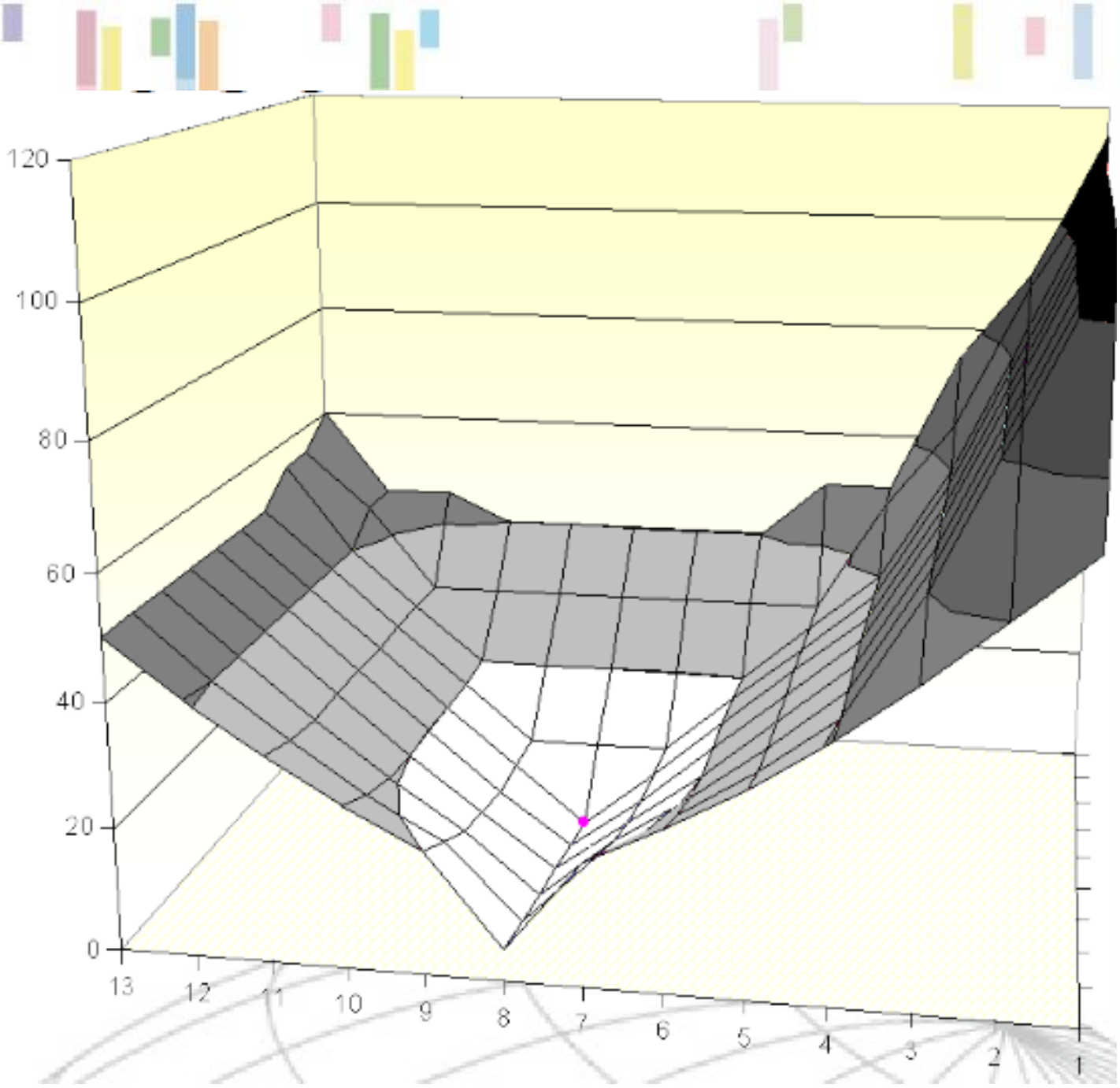
- počítá se z povrchu nákladů
- lze jej charakterizovat, jako povrch, který má minimum v cílovém bodě a každá jeho buňka ví kudy se dostat do cílového bodu nejrychleji.
- lze jej popsat jako "hrbolatý trychtýř", jehož ústím je právě cílový bod.

25	25	25	25	25	25	25	25	25	10
25	25	25	25	25	25	25	25	25	10
25	25	20	20	20	20	20	20	20	10
20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	1	1	1	1	1	1
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	15	10	10	10	10	10	10	10	10
15	15	15	10	10	10	10	10	10	10

Legenda:

1	Silnice
10	Louka
15	Orná půda
20	Lesy - stromy
25	Lesy - křoviny

115	110	110	110	110	110	110	110	110	70
90	90	85	85	85	85	85	85	85	60
75	65	60	60	60	60	60	60	60	50
50	50	40	40	40	40	40	40	40	41
50	30	30	30	30	30	30	30	31	33
40	30	20	20	20	20	20	21	23	26
40	30	20	10	10	10	11	13	16	20
40	30	20	10	0	1	2	3	4	5
40	30	20	10	10	10	11	13	16	20
40	30	20	20	20	20	20	21	23	26
45	30	30	30	30	30	30	30	31	33
45	45	40	40	40	40	40	40	40	41
60	55	55	50	50	50	50	50	50	50





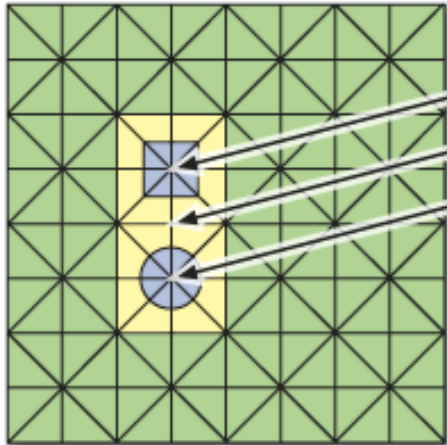


# Výpočet frikčního povrchu (cost distance)

- Ve výstupním rastru jsou buňkám přiřazeny hodnoty **akumulované vzdálenosti k nejbližší zdrojové buňce**.
- Výpočet používá **teorii grafů – hrana a uzel** (střed buňky a jejich spojnice).
- Každá **spojnice** má určitý **odpor** závisející na hodnotě váhy buněk. Odpor se odvozuje z buněk na obou koncích hran.
- **Výpočet závisí na:**
  - **Velikosti buňky** (v základních měřících jednotkách – pixel)
  - **Prostorové orientaci uzlů** – přímý x šikmý.



# Výpočet ceny pro sousední buňky



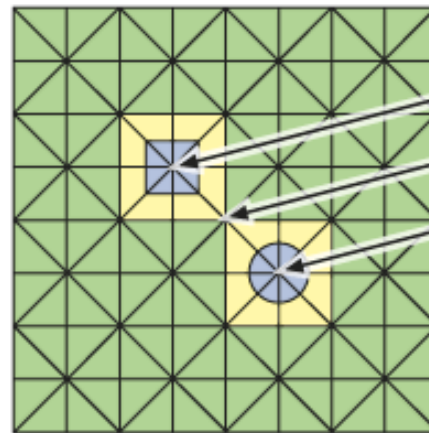
Starting point (cost 1)

a1

End point (cost 2)

$$a1 = \frac{\text{cost 1} + \text{cost 2}}{2}$$

Horizontal and vertical node calculations



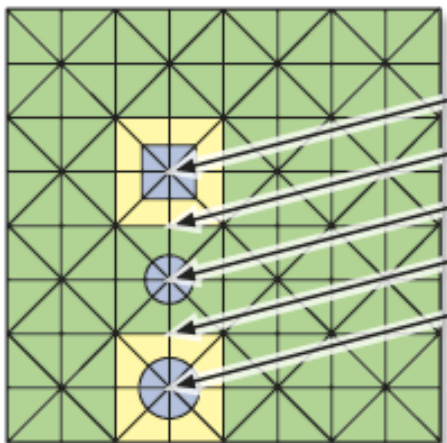
Starting point (cost 1)

a1

End point (cost 2)

$$a1 = 1.4142 \frac{(\text{cost 1} + \text{cost 2})}{2}$$

Horizontal and vertical node calculations



Starting point (cost 1)

a1

Mid point (cost 2)

a2

End point (cost 3)

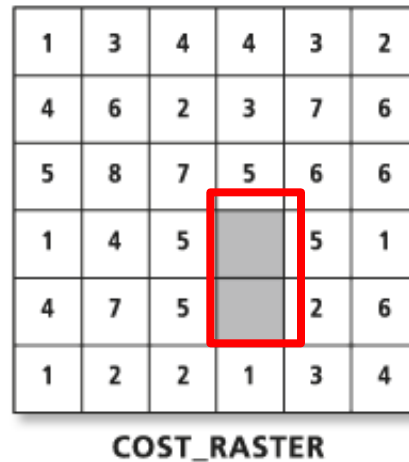
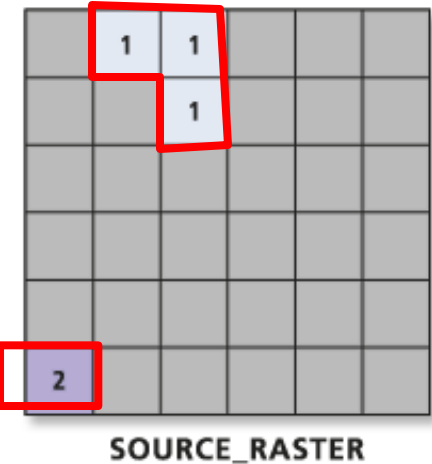
$$a2 = \frac{\text{cost 2} + \text{cost 3}}{2}$$

$$\text{accum\_cost} = a1 + a2$$

Accumulative cost node calculations

• 1,4142??

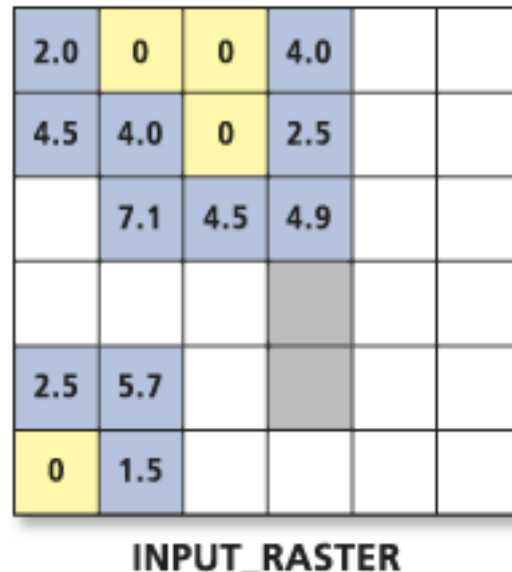
# Příklad vytváření



- Vstupní rastry – zdroje a váhy (ceny).

Value = NODATA

- První přiblížení – pro okolní buňky.
  - 0 = zdroj
- Kartografické mode



Active accumulative cost cell list							
1.5	2.0	2.5	2.5	4.0	4.0	4.5	4.5
4.9	5.7	7.1					

Value = NODATA      Cells on active cost list

Source cell

# Příklad výpočtu pokračování

2.0	0	0	4.0		
4.5	4.0	0	2.5		
	7.1	4.5	4.9		
2.5	5.7	6.4			
0	1.5	3.5			

INPUT\_RASTER

Active accumulative cost cell list							
1.5	2.0	2.5	2.5	4.0	4.0	4.5	4.5
4.9	5.7	7.1					

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list

- Vybrána buňka s nejnižší hodnotou a ta je přiřazena k výstupnímu rastru.
- Je rozšířen seznam aktivních buněk (žlutá) a proběhne další iterace.



# Příklad výpočtu pokračování

2.0	0	0	4.0		
4.5	4.0	0	2.5		
	7.1	4.5	4.9		
2.5	5.7	6.4			
0	1.5	3.5			

INPUT\_RASTER

Active accumulative cost cell list							
2.0	2.5	2.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5
4.9	5.7	6.4	7.1				

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance

- Pokračující iterace.
- Zapojení dalších buněk do výpočtu.

2.0	0	0	4.0	6.7	
4.5	4.0	0	2.5	7.5	
11.0	7.1	4.5	4.9	8.9	
5.0	7.5	10.5		10.6	
2.5	5.7	6.4			
0	1.5	3.5	5.0		

INPUT\_RASTER

Active accumulative cost cell list							
4.9	5.0	5.0	5.7	6.4	6.7	7.1	7.5
7.5	8.9	10.5	11.0				

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list



# 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

	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

=

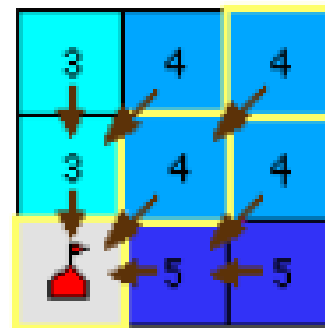
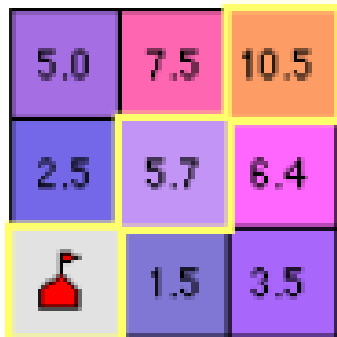
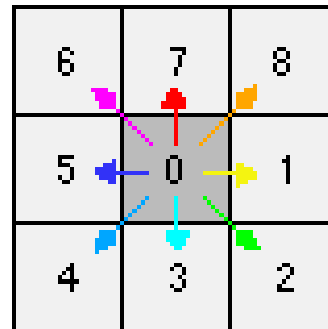
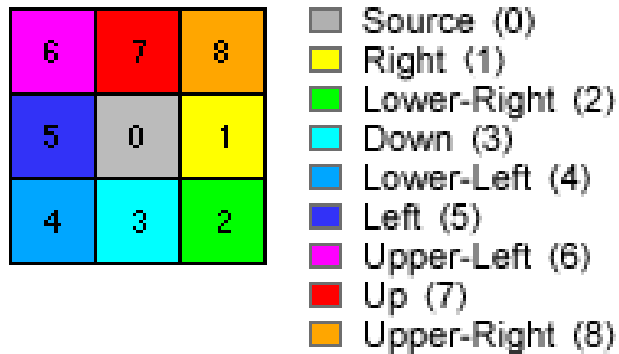
2.0	0.0	0.0	4.0	7.5	10.0
6.0	2.5	0.0	4.0	9.0	13.9
8.0	7.1	4.5	5.0	10.5	12.7
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.5		7.1	11.1
0.0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

Cost\_Dist



# Cesta k nejbližšímu zdroji – backlink rastr

- „Road map“ - identifikuje „nejlevnější“ cestu mezi buňkou a nejbližším zdrojem.
- Využívá algoritmu podobnému D8



Kartograf *Cost-weighted distance* í

*Cost back link output*

6	7	8
5	0	1
4	3	2

# Cost backlink vstupy a výstup

	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

=

1	0	0	5	5	5
7	1	0	5	5	6
3	8	7	6	5	3
3	5	7		3	4
3	4	4		4	5
0	5	5	5	5	5

Cost\_BackLink

Kartografické modelování



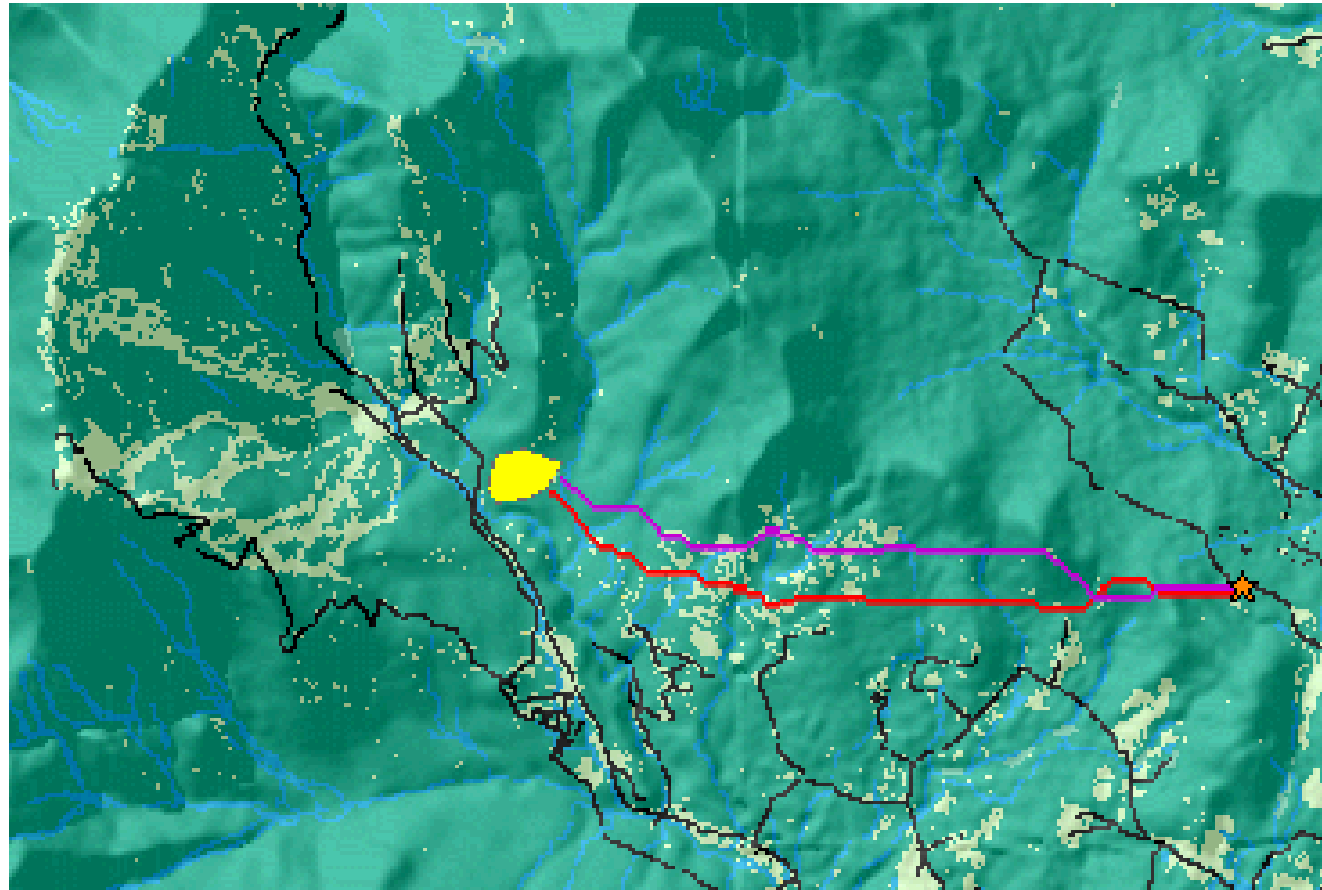
# Nalezení nejlevnější cesty

- Povrch vážené vzdálenosti a hledání nejlevnější cesty
- V praxi je hledání nejlevnější cesty řešeno nad povrchem vážené vzdálenosti tak, že z vybrané buňky se postupuje vždy do té buňky z jejího okolí, do které je to „nejvíce z kopce“ (D8).
- Cesta je jeden pixel široká.
- Využívá výsledků **cost distance** and **back link raster**.
- Příklad – hořlavost povrchového materiálu, znečištění ovzduší...



# Nalezení nejlevnější cesty

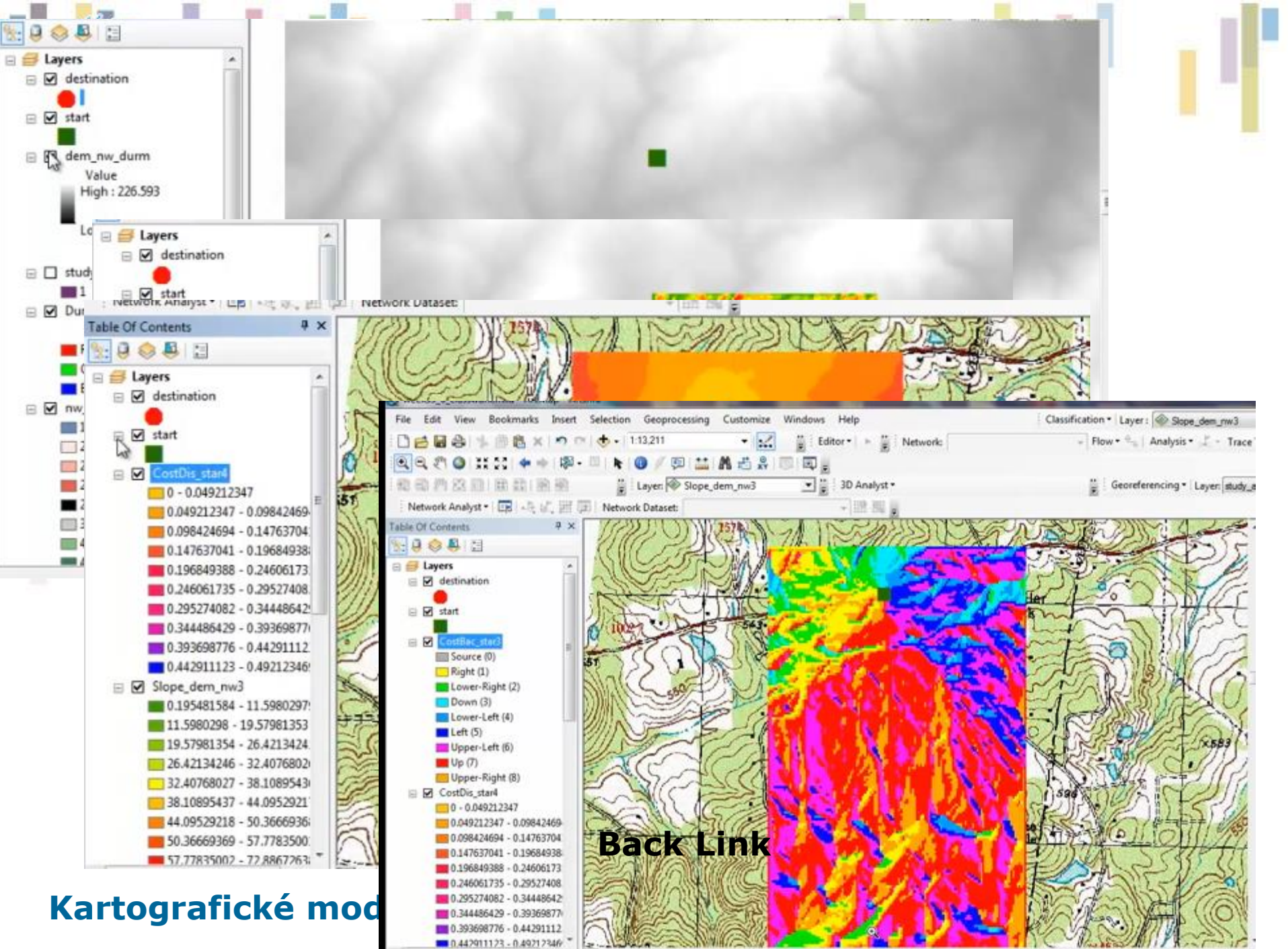
- Alternativy v závislosti na váze jednotlivých faktorů.
- **Frikční povrch** (land use) + **sklon svahu** (vertikální faktor) – výsledek závisí na jejich vahách.



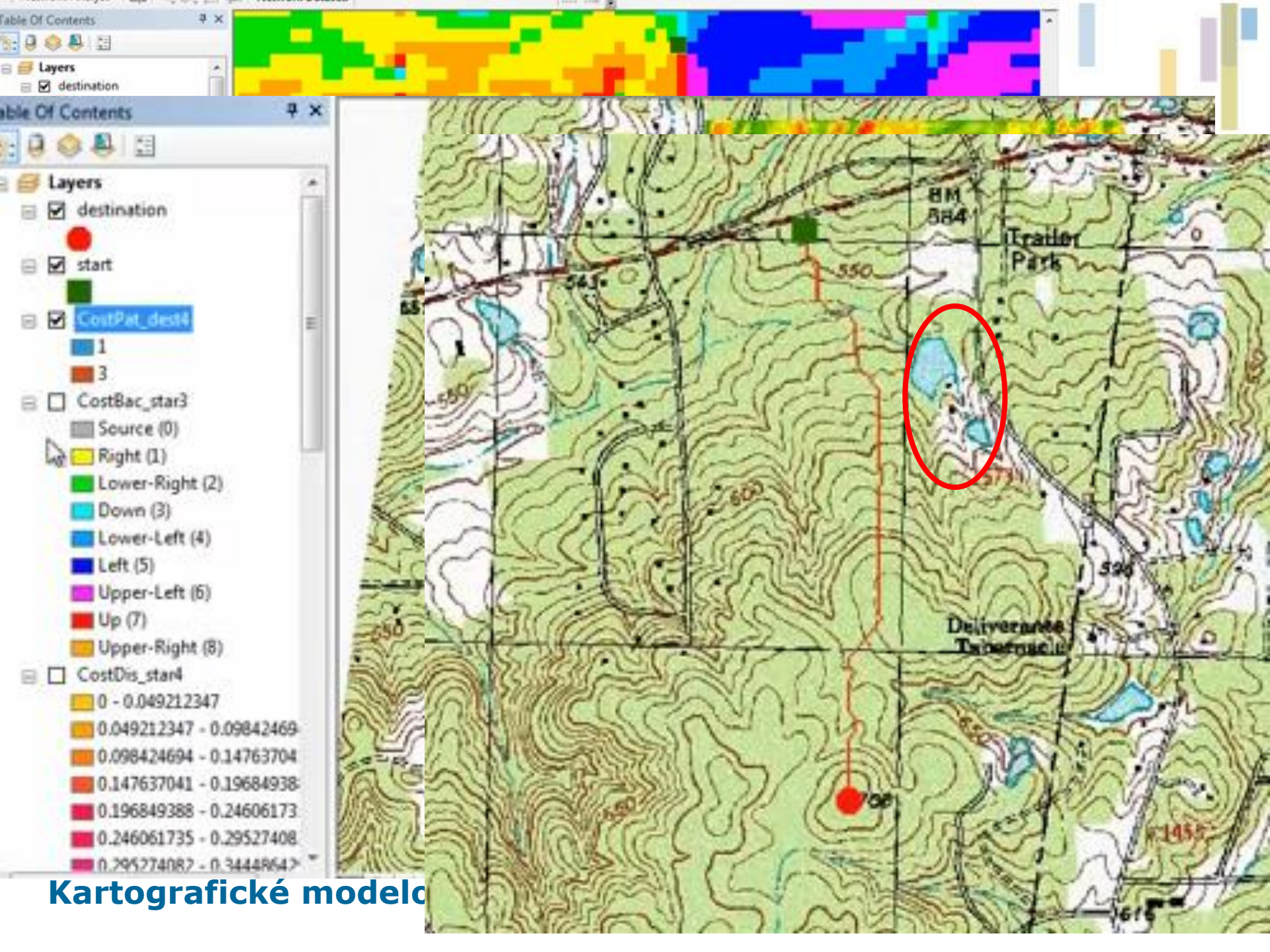
- Cesta s mezi dvěma body minimálním sklonem (jedu na kole s vozíkem 😊).











Kartografické modely