

Digitální modely terénu (3)

Prostorová interpolace dat

Ing. Martin KLIMÁNEK, Ph.D.

411 Ústav geoinformačních technologií

Lesnická a dřevařská fakulta,

Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně

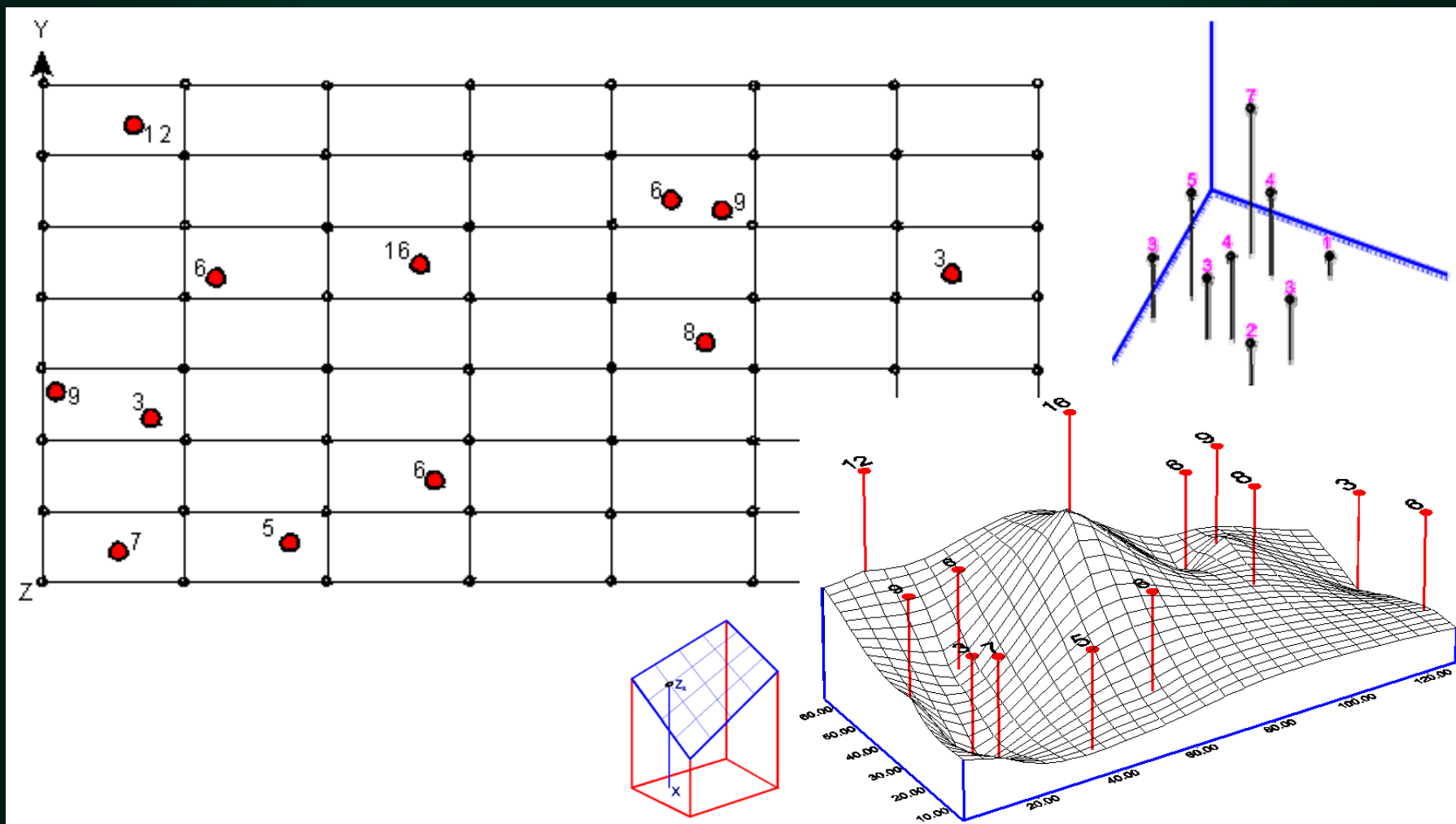


Interpolace - úvod

- procedura odhadu neznámých hodnot ze známých hodnot v okolí
 - interpolace
 - extrapolace
- úkolem interpolace je určit vhodnou funkci $y=f(x)$, která v daných (tzv. uzlových) bodech nabývá známých hodnot
- interpolační funkce $f(x)$ - shoda s původními hodnotami v uzlových bodech
- aproximující funkce $f(x)$ - nahrazuje původní funkci $f_0(x)$ s jistou přesností
- Dodržují se známé hodnoty?
 - interpolační (exaktní) metody (deterministické)
 - aproximující metody (stochastické)

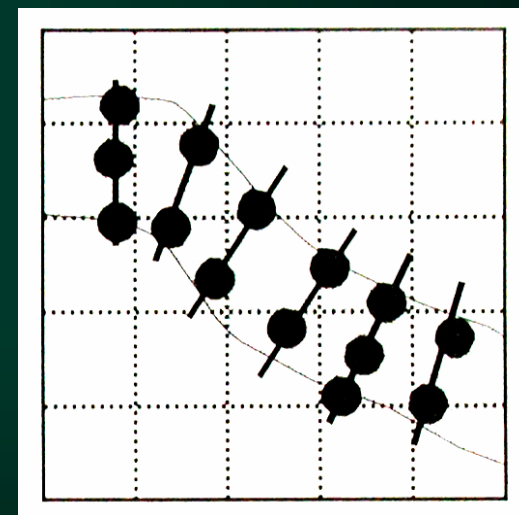
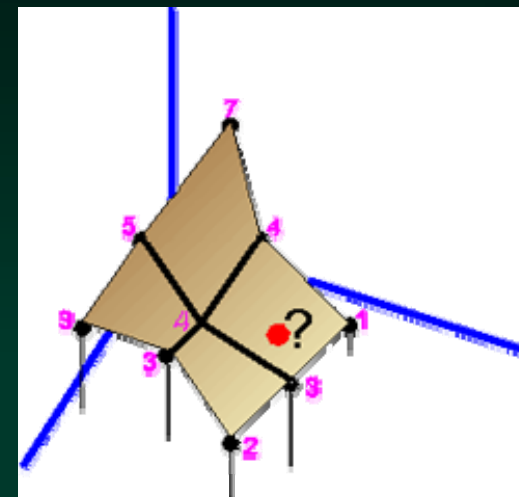
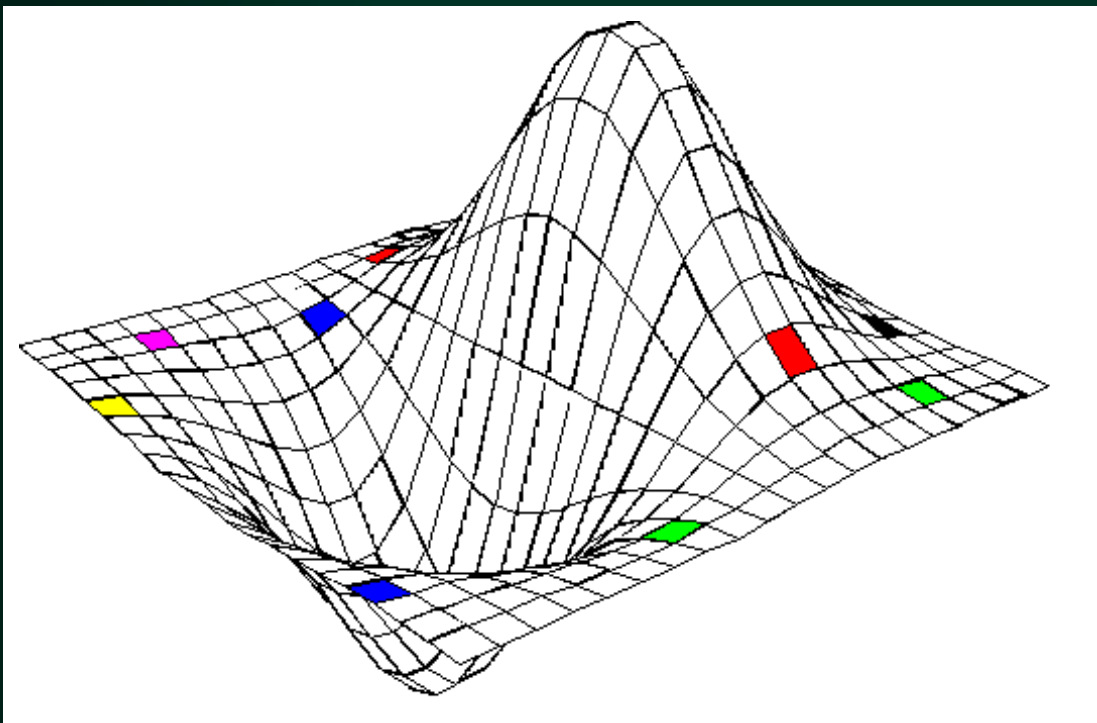
Typy odhadů

- **lokální**
 - odhad veličiny v bodě, kde nebyla zjištěna
 - gridování – odhad pro body pravidelné sítě



Typy odhadů

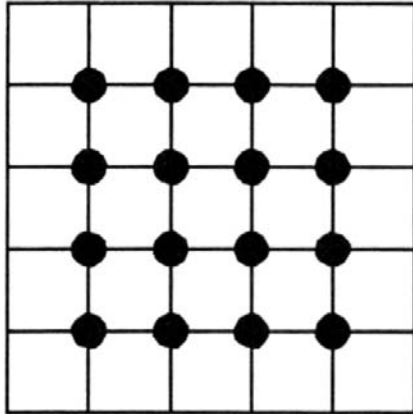
- blokový
- globální



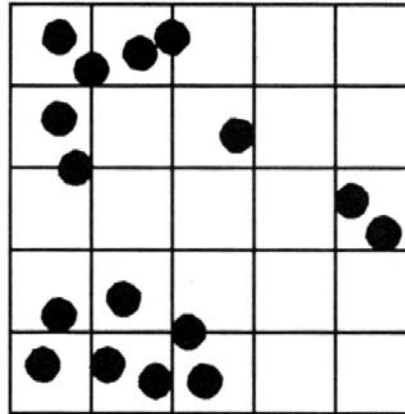
- rozmístění měření
 - některé metody selhávají pro silně nepravidelné sítě měření
 - zvláště problém hodnot na profilech

Zdrojová data

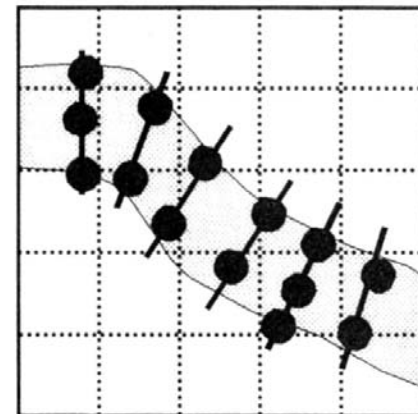
- rozmístění zdrojových dat



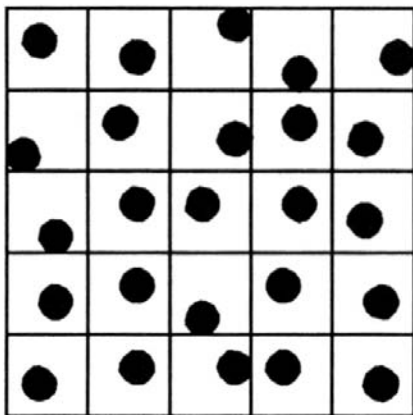
pravidelné rozmístění



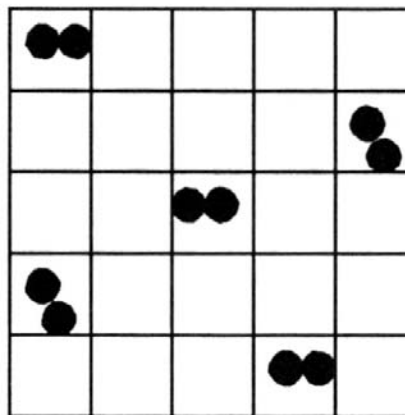
náhodné rozmístění



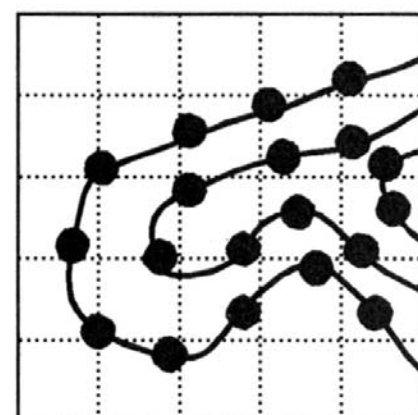
transekty (profily)



stratifikované náhodné



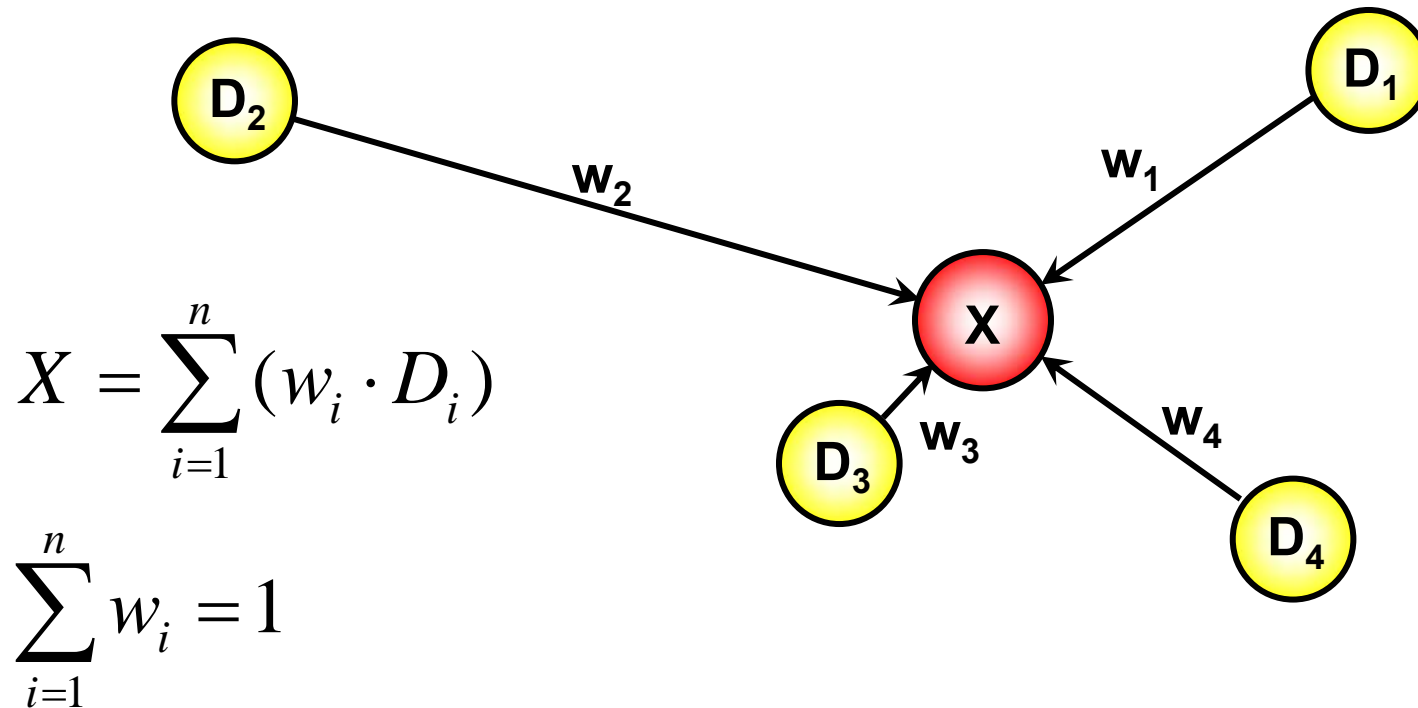
shluky (skupiny)



vrstevnice (izolinie)

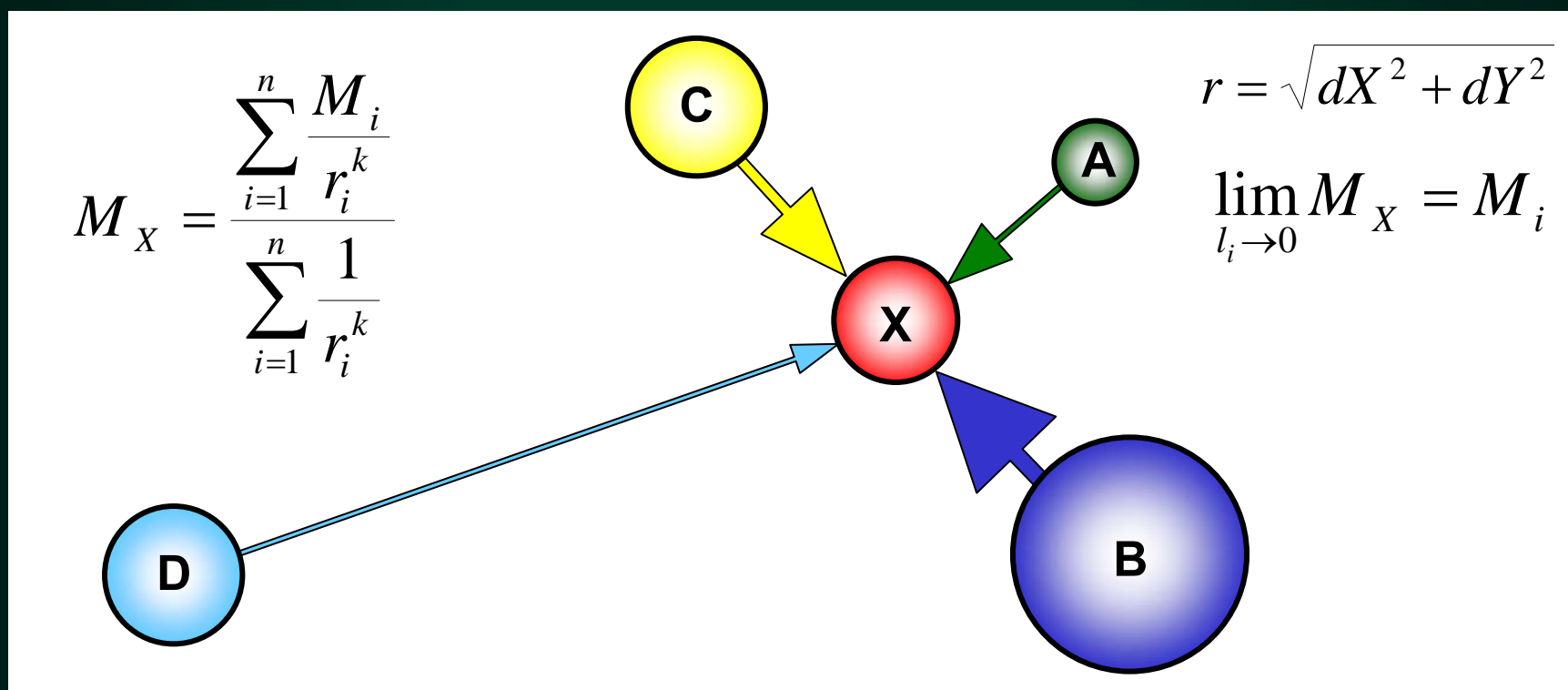
Metody interpolace

Vážený průměr



Metoda inverzních vzdáleností (ID, IDW) – princip

Velikost příspěvku je přímo úměrná velikosti hodnoty a na druhé straně nepřímo úměrná vzdálenosti.



„ M_i “ je známá hodnota v i -tém místě, „ r_i “ vzdálenost i -tého místa od místa X a „ k “ je vhodná mocnina vzdálenosti (např. 1 nebo 2).

Metoda inverzních vzdáleností (ID) – varianty:

- s výběrem z kvadrantů nebo oktantů – rozdělení prohledávané oblasti do 4 nebo 8 sektorů
- se směrovým vážením – rozdělení prohledávané oblasti do nepravidelných sektorů. Vstupní parametry:
 - úhlové rozpětí sektorů,
 - váhy přiřazené jednotlivým sektorům
= (zavádění anizotropie pole)
- z každého sektoru je vybrán 1 bod (nebo „k“ bodů) a na tuto množinu vybraných bodů je aplikována metoda ID

Shepardova metoda (SH) – metoda inverzních vzdáleností + vyrovnání metodou nejmenších čtverců

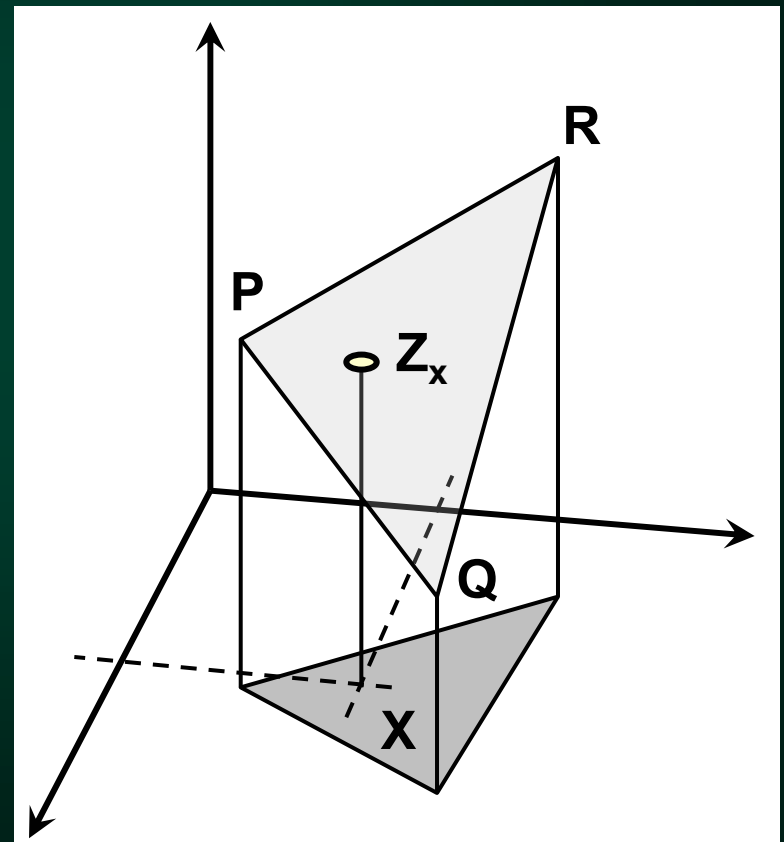
Metoda triangulace s lineární interpolací (TR)

- poskytuje odhad neznámé hodnoty pomocí lineární závislosti. Lineárním útvarem je tedy rovina. Rovnice roviny obsahuje tři koeficienty - to znamená, že pro její určení jsou zapotřebí tři známé body:

$$P=[x_1,y_1,z_1], Q=[x_2,y_2,z_2], R=[x_3,y_3,z_3].$$

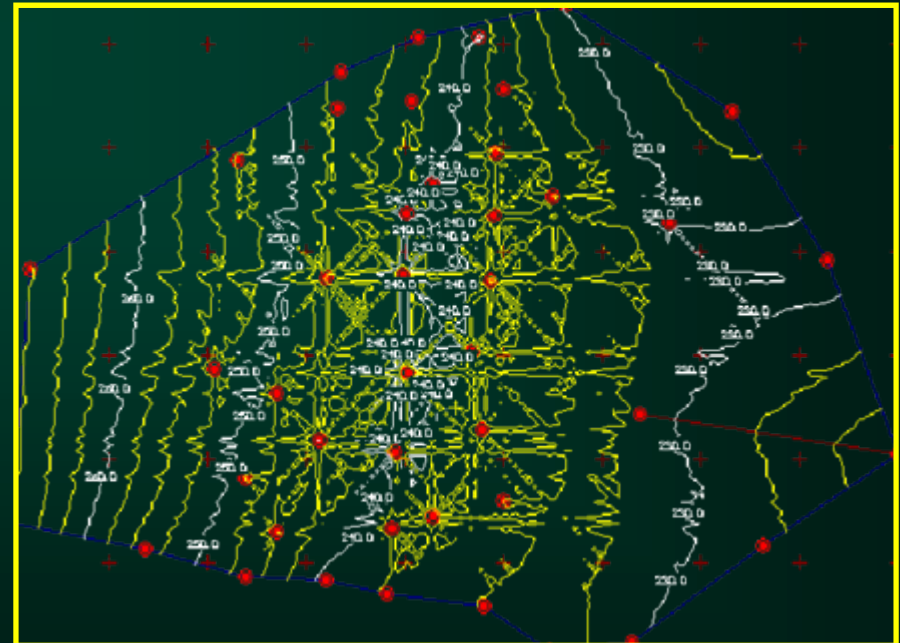
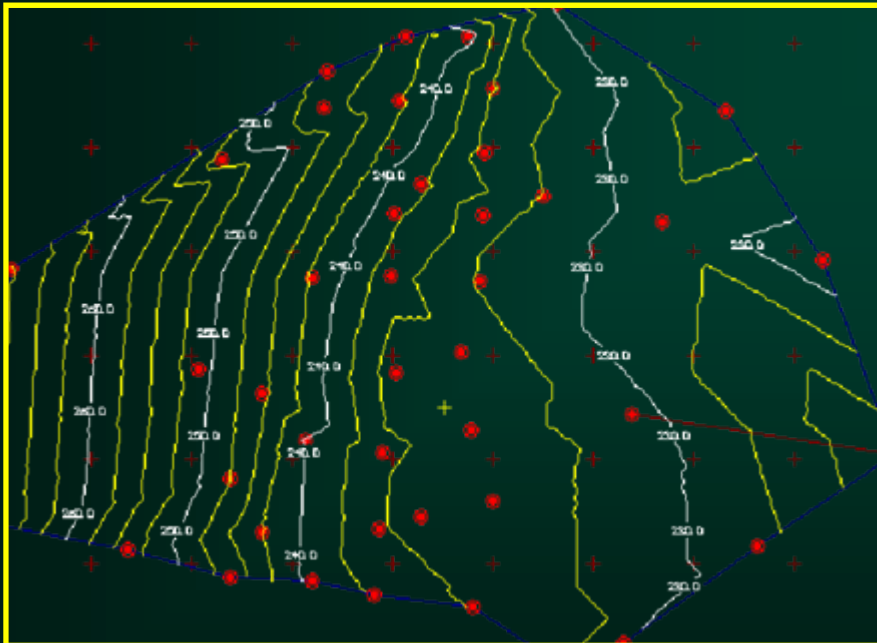
- tři body P, Q a R jsou vybrány tak, aby bod X ležel uvnitř trojúhelníka získaného jako průmět trojúhelníka PQR. Těmito body je určena rovina, jejíž koeficienty lze získat řešením soustavy rovnic. Hledaný odhad Z_x je dán vztahem:

$$Z_x = ax_0 + by_0 + c$$



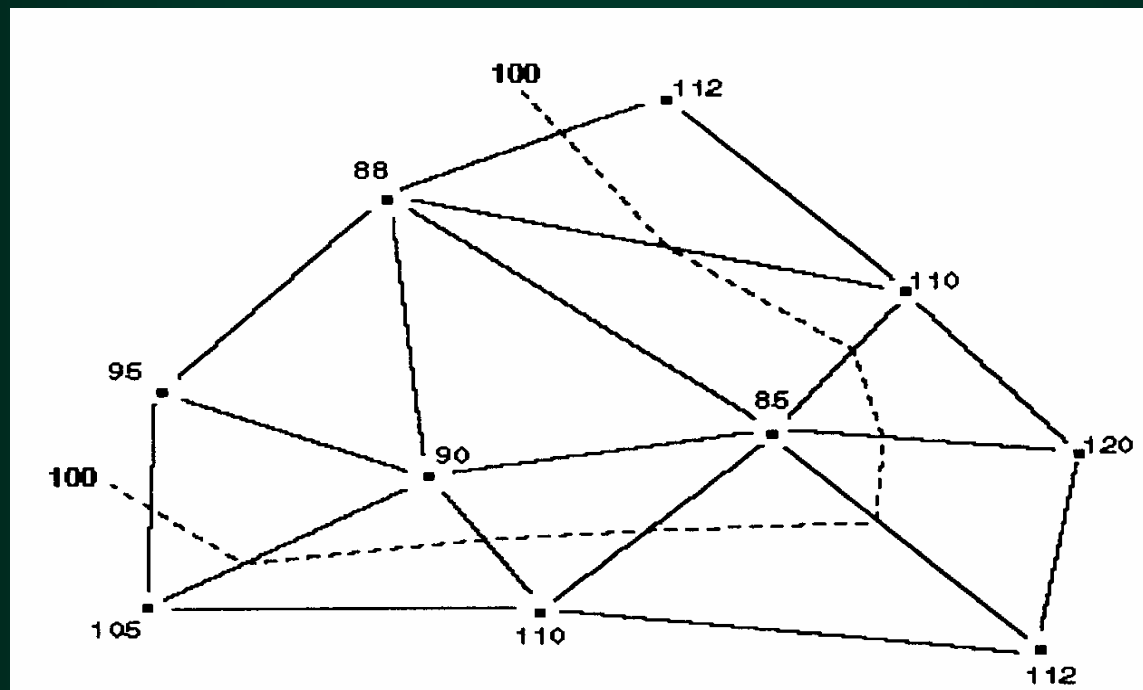
Metoda triangulace s lineární interpolací

- dodržuje naměřené hodnoty
- výhodná je pro modelování nespojitostí v poli (zlom, hrana)
- nevýhodná pro nespojitost vypočtených hodnot (kostrbatý průběh izolinií) – různé stupně vyhlazení



Metoda triangulace s lineární interpolací

- interpolace izoliní



Metoda triangulace s lineární interpolací

- Skrývá jistý prvek náhodnosti.

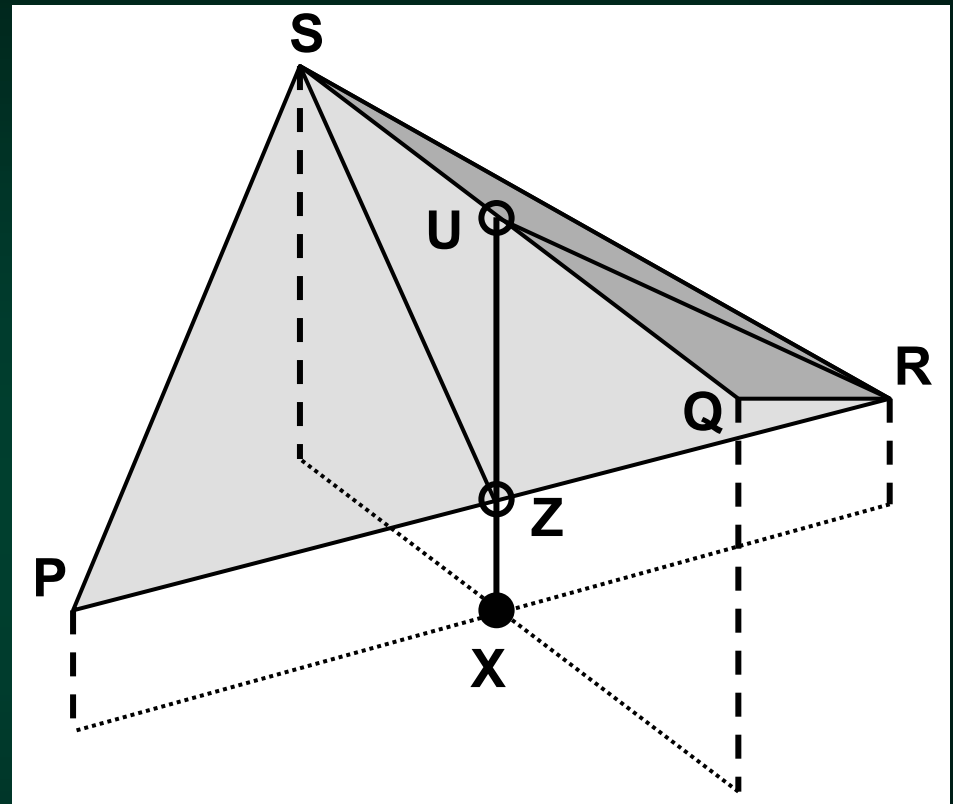
Uvažujme následující data:

$P=[1,1,1]$, $Q=[3,1,10]$, $S=[3,1,10]$,
 $R=[3,3,1]$. Odhad pro $X=[2,2,?]$.

- Náhodnost spočívá ve volbě trojúhelníka:

Volbou PRS,
 je odhadem hodnota 1.

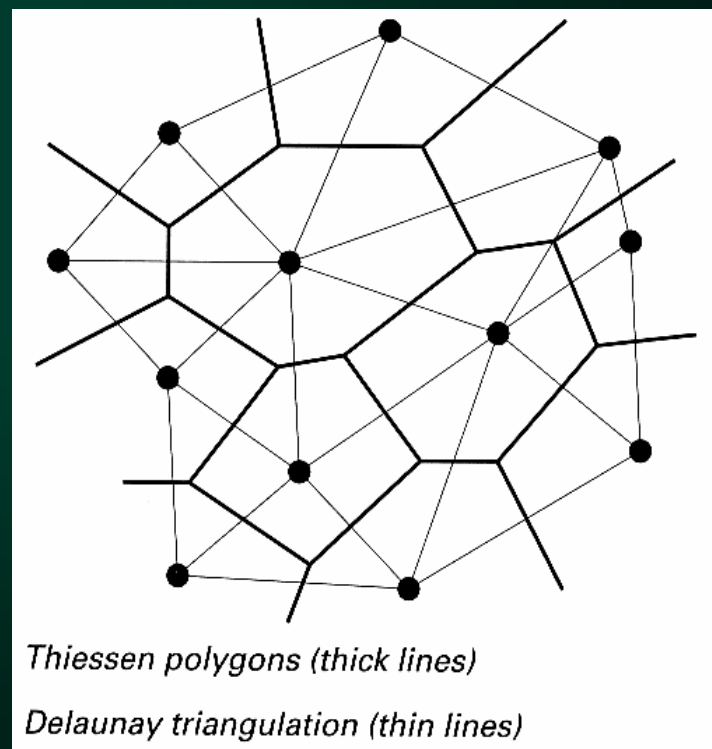
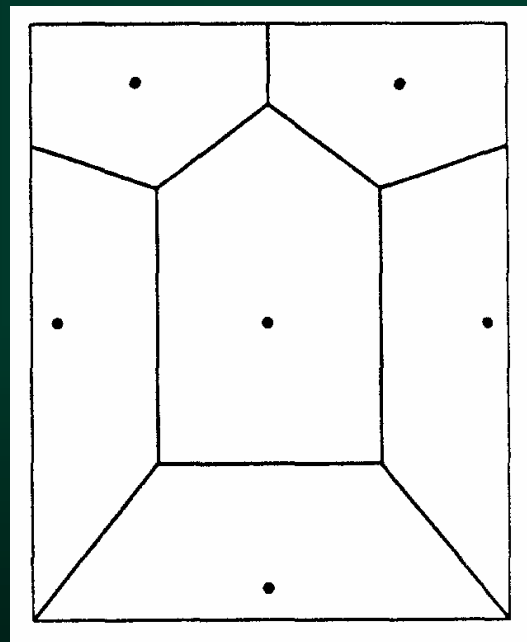
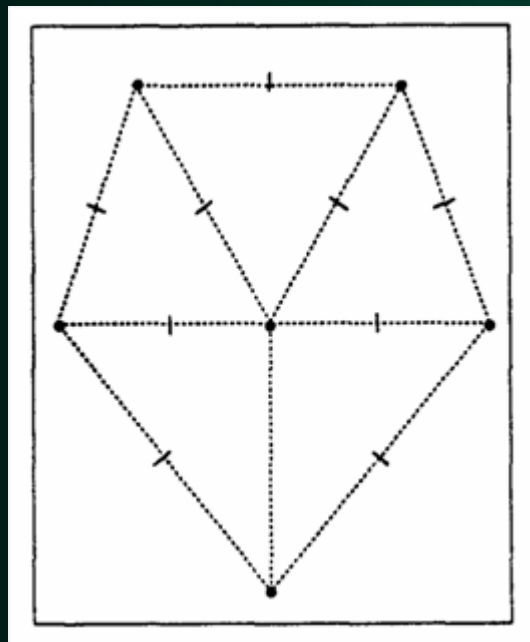
Volbou QRS,
 je odhadem hodnota 10.



Problém je tedy ve velkém rozdílu dat mezi „sousedními“ hodnotami. Bohužel právě takový charakter má mnoho geoprostorových dat, a proto zvláště na taková data není vhodné metodu aplikovat. S dobrými výsledky ji lze použít v případech, kdy hodnoty nemají příliš velký rozptyl.

Thiessenovy (Dirichlet, Voronoi) polygony (TP)

Představují přesnou metodu interpolace, která vychází z předpokladu, že neznámé hodnoty bodů odpovídají hodnotě nejbližších známých bodů. Zahrnuje šíření teritoria sdruženého s bodem, které pokračuje tak dlouho, až se narazí na obdobně zpracovávané teritorium sousedního bodu. Je-li rozmístění bodů nepravidelné, výsledkem bude mozaika polygonů.



Thiessen polygons (thick lines)

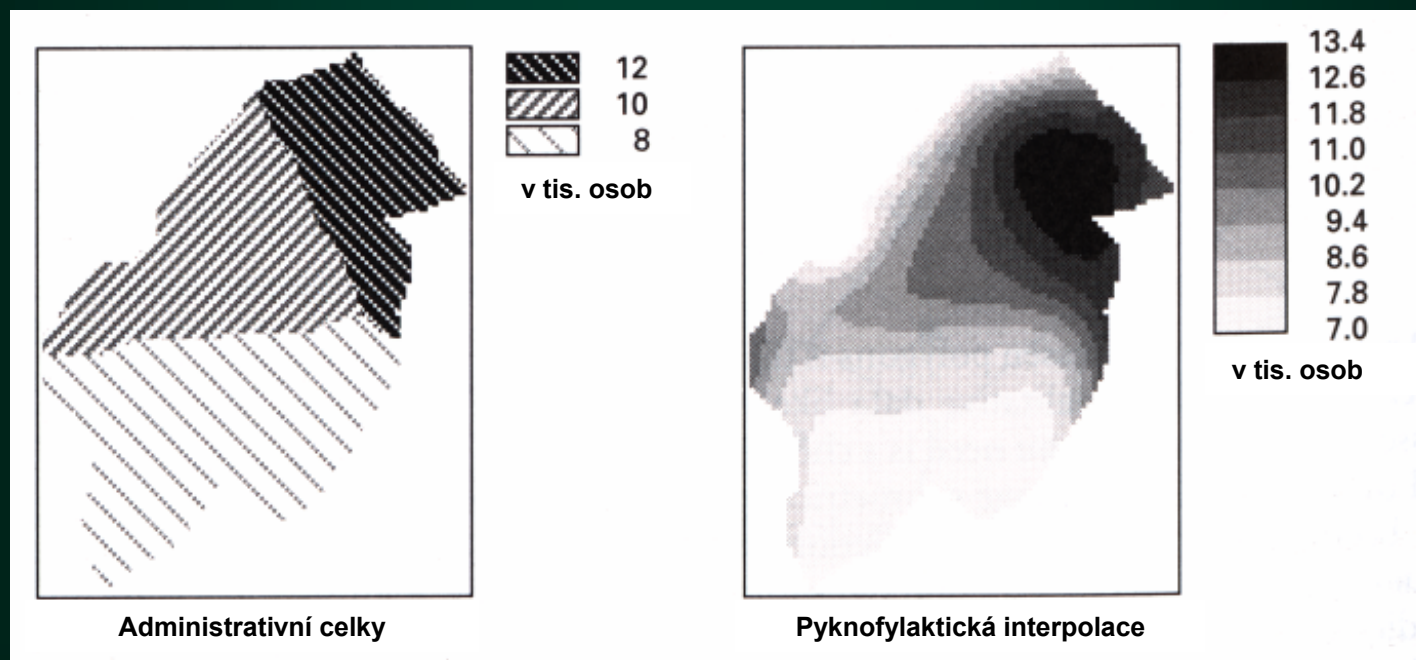
Delaunay triangulation (thin lines)

Thiessenovy (Dirichlet, Voronoi) polygony (TP)

- Toblerova pyknofylaktická metoda:

$$\int_{R_i} \int f(x, y) dx dy = H_i$$

„ H_i “ jsou hodnoty v regionu „ R_i “ pro všechna „ i “



Metoda minimální křivosti (MC)

- spline-funkce – vychází z interpolace pomocí (nejčastěji kubických) funkcí. „Spojuje“ tedy dvojice daných bodů segmenty kubické křivky (ten je dán čtyřmi body). Z prvních čtyř bodů se spočte kubická křivka a první dva body se spojí jejím segmentem. Pak se z druhého až pátého bodu spočte kubická křivka a druhé dva body se spojí jejím segmentem, atd.
- polynomické funkce, na hranách spojitě (spojitost interpolující funkce a stanoveného počtu jejich derivací)
- povrch je interpolován po částech
- hladké povrchy
- míra aproximace je dána stanovením tolerance a počtem iterací

Metoda radiálních funkcí (RF)

- hladký povrch
- dodržuje naměřené hodnoty
- multikvadratická metoda

$$D_i(x, y) = \sqrt{d_i(x, y)^2 + R^2}$$

$D_i(x, y)$ je radiální funkce vzdálenosti $d_i(x, y)$

$d_i(x, y)$ je relativní, anizotropní vzdálenost mezi místem měření (x_i, y_i) a místem odhadu (x, y)

R^2 je vyhlazovací faktor

V každém místě jsou stanoveny optimální váhy řešením soustavy lineárních rovnic.

ABOS



- Approximation Based On Smoothing
(SurGe, M. Dressler, <http://mujweb.cz/www/surge/>)
- přidělení nejbližší známé hodnoty každému nodu mřížky, (per partes konstantní interpolace, Thiessenovy polygony)
- průměrování hodnot mřížky (vyrovnávání rozdílů):

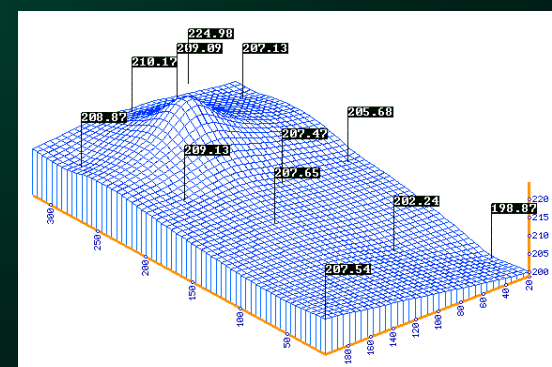
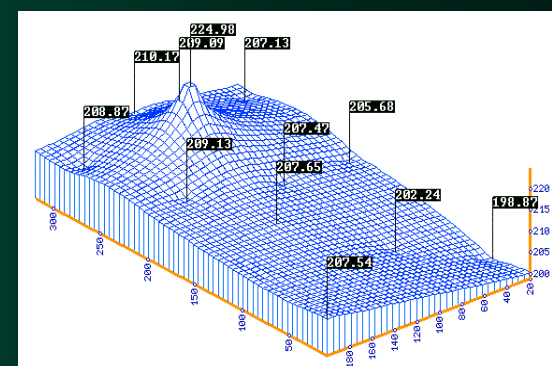
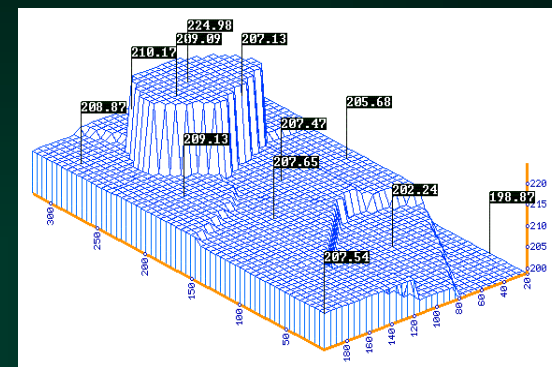
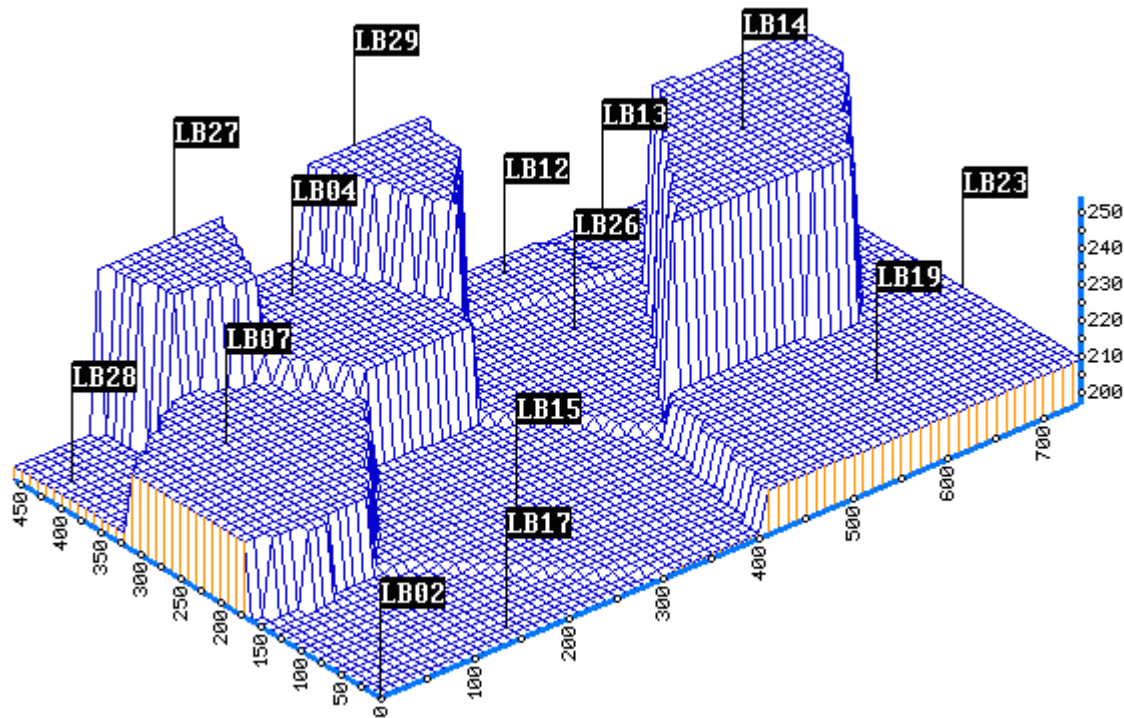
$$P_{i,j} = 0,25 \cdot (P_{i+1,k} + P_{i,j+k} + P_{i-k,j} + P_{i,j-k})$$

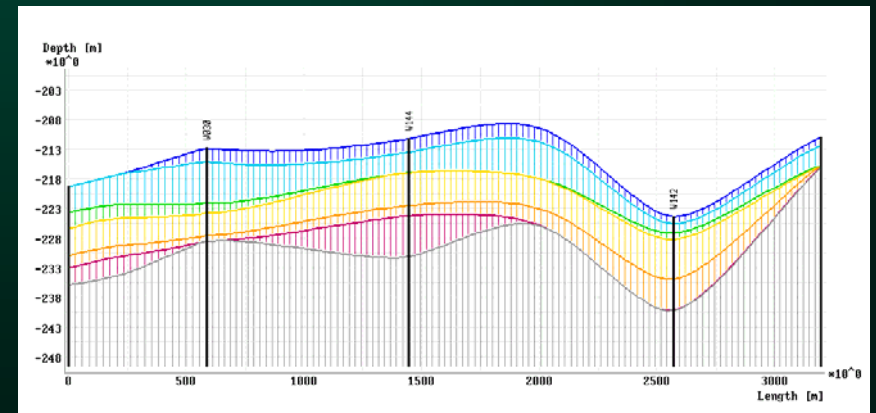
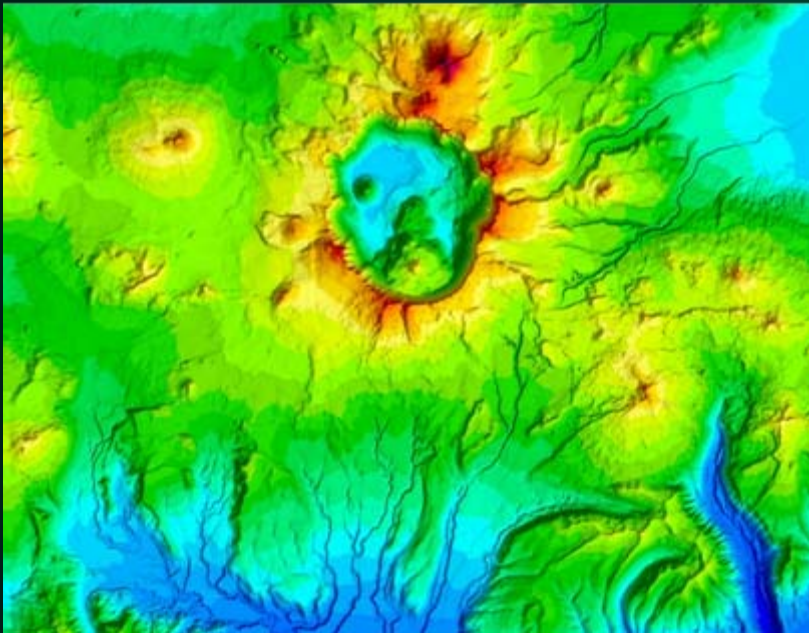
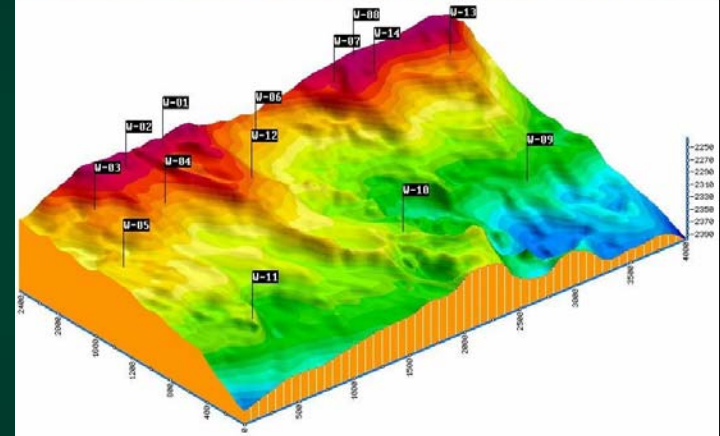
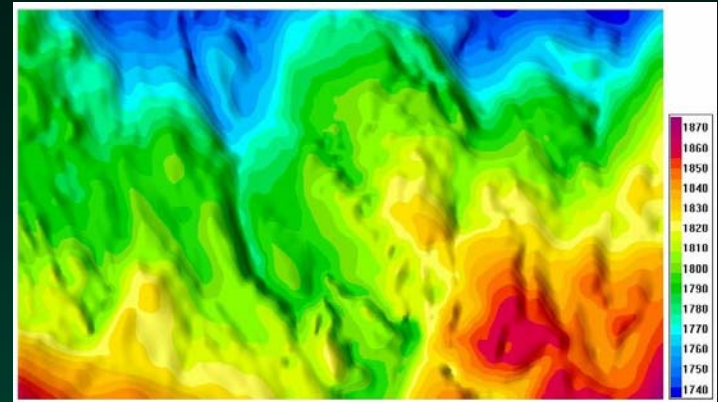
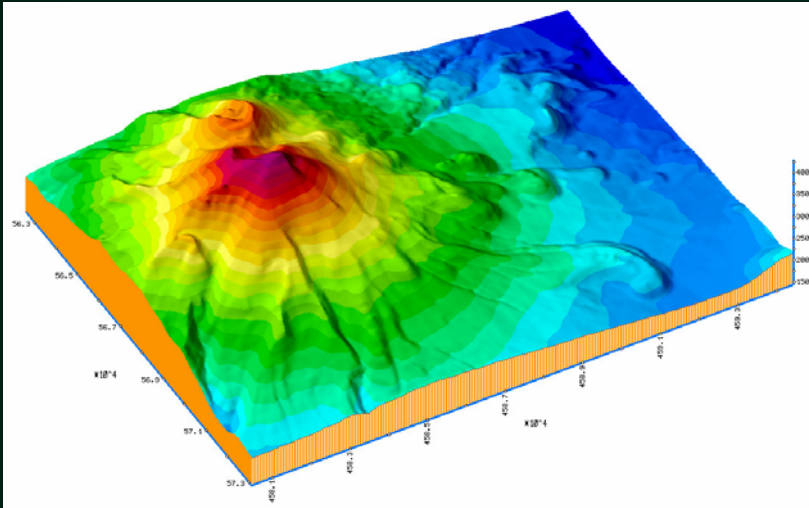
- vyhlazování hodnot mřížky (s ohledem na požadované parametry)
- několik iterací
- výsledný povrch se vypočte bilineární interpolací z rohových nodů:

$$f(x, y) = axy + bx + cy + d$$

ABOS

PER PARTES CONSTANT INTERPOLATION





Fourierova analýza (FA)

- obecný interpolační postup, který se používá v geostatistických metodách pro odhad průběhu povrchu pomocí série funkcí sinus a kosinus
- nejvhodnější pro datové soubory, které vykazují periodicitu – analýza signálů, modelování klimatických změn, pohyb (vln v oceánu, sněhových závějí, pískových dun apod.) a zpracování obrazu (odstranění šumu, korekce); redukce variability (kontrastů) v DMT pro snadnější identifikaci tvarů terénu (hřbety, údolí)

$$f(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega x) + b_k \sin(k\omega x))$$

$$\begin{aligned} \text{amplituda} &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ \text{fáze} &= \tan^{-1}(b/a) \end{aligned}$$

$$\text{frekvence}(\text{spektrum}) = \ln(1 + \text{amplituda}^2)$$

$$\omega = 2\pi/T$$

k = koeficient harmonické funkce

a, b = koeficienty Fourierovy transformace

Nyquistova frekvence – nejvyšší frekvence = nejkratší vlna = 2·pixel

Krigování (KR) – úvod

- „teorie regionalizovaných proměnných“, která byla vytvořena G. Matheronem a D. G. Krigeem (metoda interpolace dat získávaných při vyhledávání a průzkumu ložisek nerostných surovin)
- vychází ze zjištění, že prostorová variabilita řady geoprostorových prvků je příliš nepravidelná než, aby mohla být modelována pomocí vyhlazovacích matematických funkcí – optimalizovaná soustava vah v každém kroku s požadavkem minimálního rozptylu
- základ spočívá v nalezení průměrné hodnoty změn v závislosti na změně vzdálenosti mezi měřenými body – vyhodnocování strukturálních funkcí
- optimalizuje prostorovou interpolaci tak, že rozděluje prostorovou variabilitu do tří komponent:
 - deterministickou variabilitu (různé trendy)
 - prostorově autokorelovanou variabilitu
 - nekorelovaný šum
- charakter prostorově korelované variability lze znázornit jako semivariogram, který poskytuje informaci pro optimalizaci interpolačních vah a prohledávacích poloměrů

Krigování (KR) – úvod

Výchozí předpoklady pro strukturální analýzu a krigování:

- normální distribuce
 - transformace nebo použití nelineárních technik
- průměrná hodnota konstantní
 - trend, univerzální krigování
- prostorová autokorelace konstantní

Krigování (KR) – experimentální semivariogram

Semivariogram je základní geostatistický nástroj pro vizualizaci, modelování a využití prostorové autokorelace regionalizované proměnné. Semivariance je míra variance.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_i [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

kde $\gamma(h)$ je semivariance proměnné z pro vzdálenost h

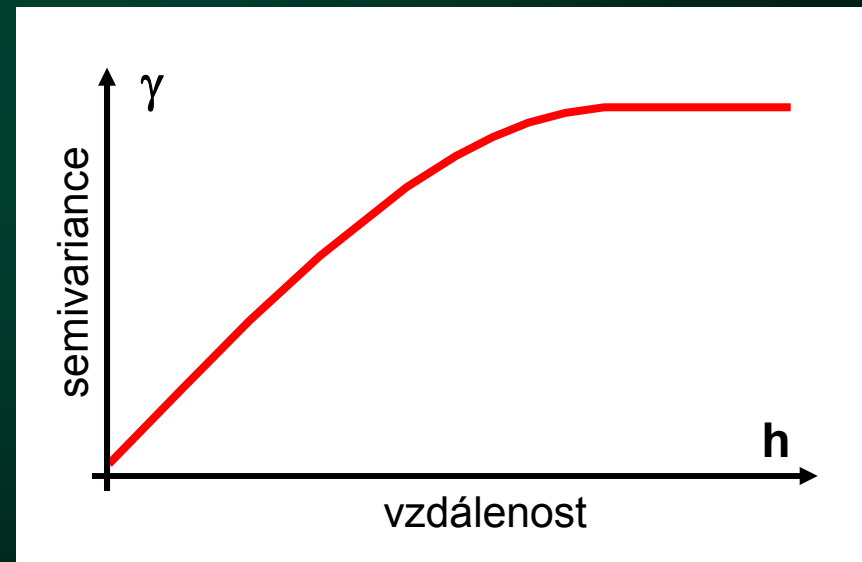
Základní schéma výpočtu pro vzdálenost h sestává z následujících kroků:

- v úvahu se vezmou všechny takové páry z_i a z_j , jejichž vzdálenost padne do třídy pro h
- vypočtou se rozdíly hodnot těchto párů
- sečtou se kvadráty těchto rozdílů
- součet se vydělí dvojnásobkem počtu párů

Tak se pro všechny hodnoty h získá řada hodnot nazývaných **experimentální semivariance**.

Krigování (KR) – teoretický semivariogram

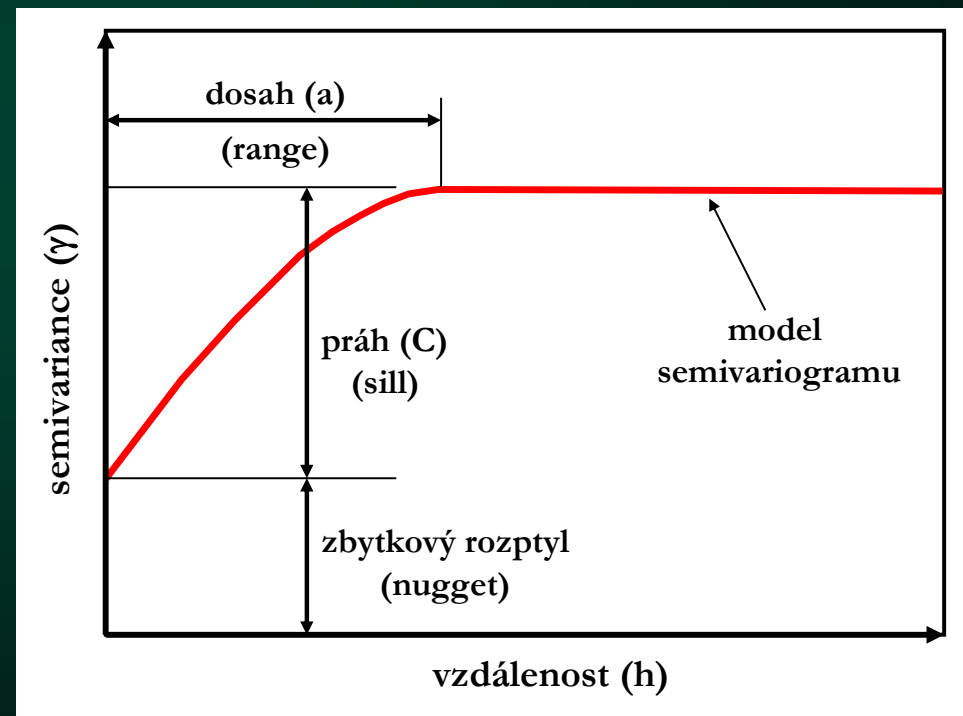
- Funkční vztah, který pokud možno dobře sleduje (modeluje) experimentální semivariogram, se nazývá **teoretický semivariogram**
- Chování semivariogramu je možno (víceméně) intuitivně popsat takto:
 - velmi blízká data mají velmi malou odchylku
 - data ve větších vzdálenostech mají větší odchylky, avšak odchylky pro velmi vzdálená data a velmi velice vzdálená data se už příliš neliší
 - od jisté vzdálenosti už vzájemné odchylky nerostou (např. také proto, že vzdálenost překračuje rozměry zkoumané plochy nebo tělesa)



Krigování (KR) – strukturní analýza

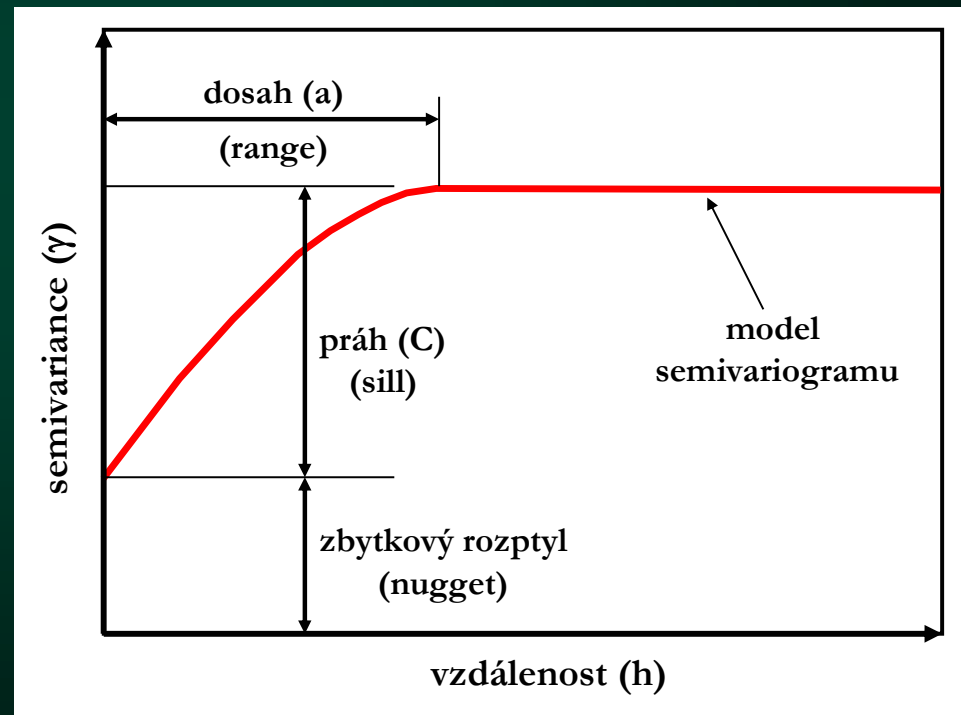
• proces hledání teoretického semivariogramu pro daný experimentální semivariogram je nazýván **strukturní analýzou**. Model nalezený pro danou množinu dat závisí jak na experimentálních, tak teoretických předpokladech. Vlastnosti, které prakticky vedou k určení konkrétního teoretického modelu, jsou:

- přítomnost nebo absence „ploché části“ semivariogramu, to znamená, že při zvětšující se vzdálenosti se hodnoty variance nemění - existuje tzv. práh (sill); je dán konstantou „**C**“
- vzdálenost, ve které semivariance dosáhne prahové hodnoty - tzv. dosah (range); je dán konstantou „**a**“
- chování v počátku (tj. semivariance mezi velmi blízkými body)



Krigování (KR) – strukturní analýza

- dosah (range) je mírou korelace uvnitř množiny dat; „dlouhý“ dosah indikuje vysokou korelaci, „krátký“ korelaci nízkou
- hodnota prahu (sill) je rovna celkovému rozptylu
- velmi často nenabývají experimentální semivariogramy v počátku nulové hodnoty; protínají osu y v nenulové hodnotě, která je nazývána zbytkový rozptyl (nugget effect). To může ukazovat na rozptyl menší než je „vzorkovací“ vzdálenost nebo na malou přesnost měření (např. jsou v datech obsaženy dva vzorky ze stejného místa, pokaždé s jinou hodnotou).



Krigování (KR) – modely semivariogramů

- Sférický model

$$\gamma(h) = C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad \text{pro } h \leq a$$

$$\gamma(h) = C \quad \text{pro } h \geq a$$

- Exponenciální model

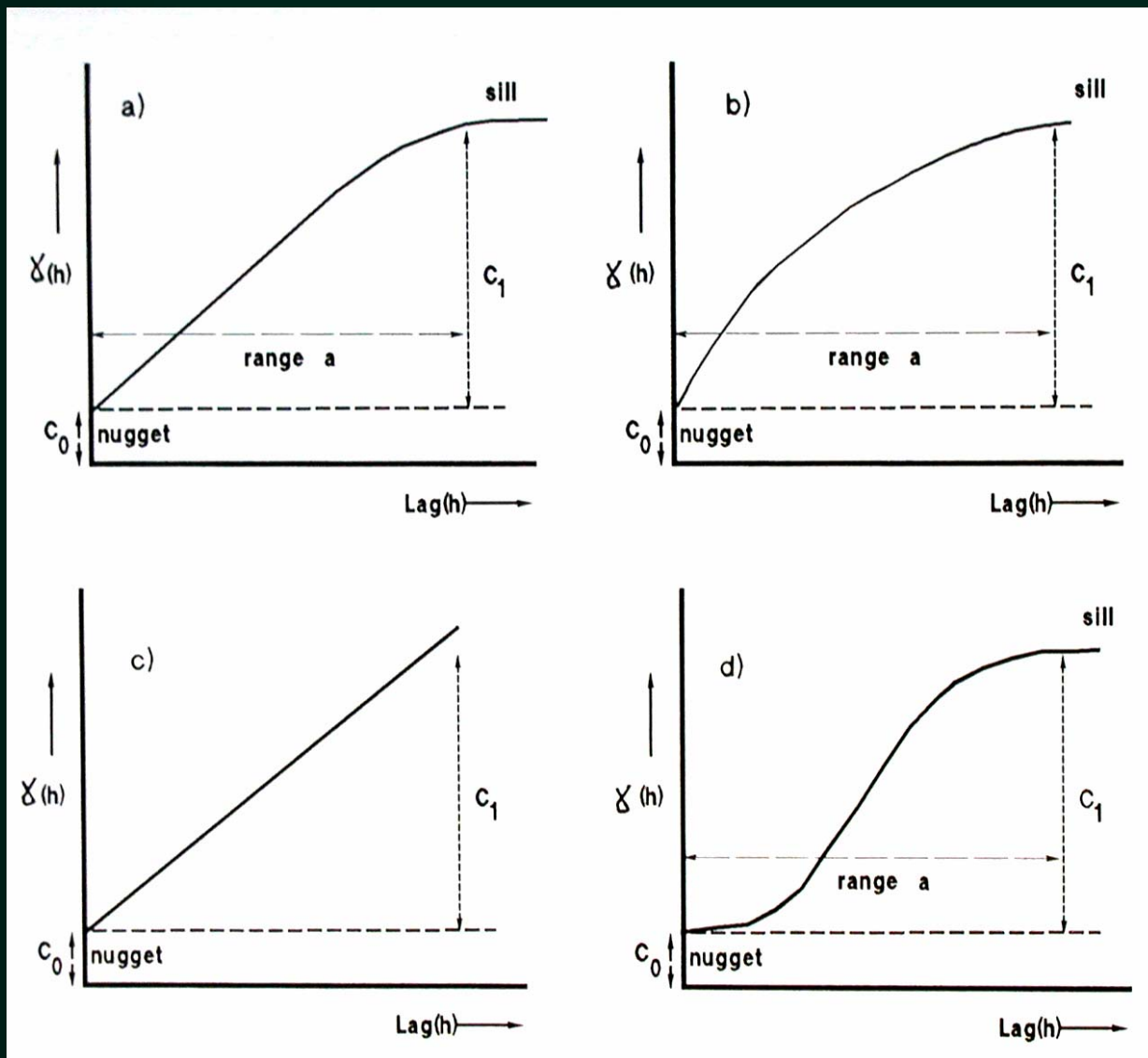
$$\gamma(h) = C \left(1 - e^{-h/a} \right)$$

- Gaussův model

$$\gamma(h) = C \left(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}} \right)$$

- Složené modely – každý zdroj variability je popsán vlastní strukturální funkcí

Krigování (KR) – modely semivariogramů



- a) sférický
- b) exponenciální
- c) lineární
- d) gaussovský

Krigování (KR) – směrovost semivariancí

- mnohé fenomény nevykazují prostorovou isotropii rozptylu - naopak se chovají anisotropně – rozsah influence je různý v různých směrech
- pro data, vykazující anisotropii, se využívá postupu spočívajícího v konstrukci dílčích semivariogramů pro stanovené směrové tolerance

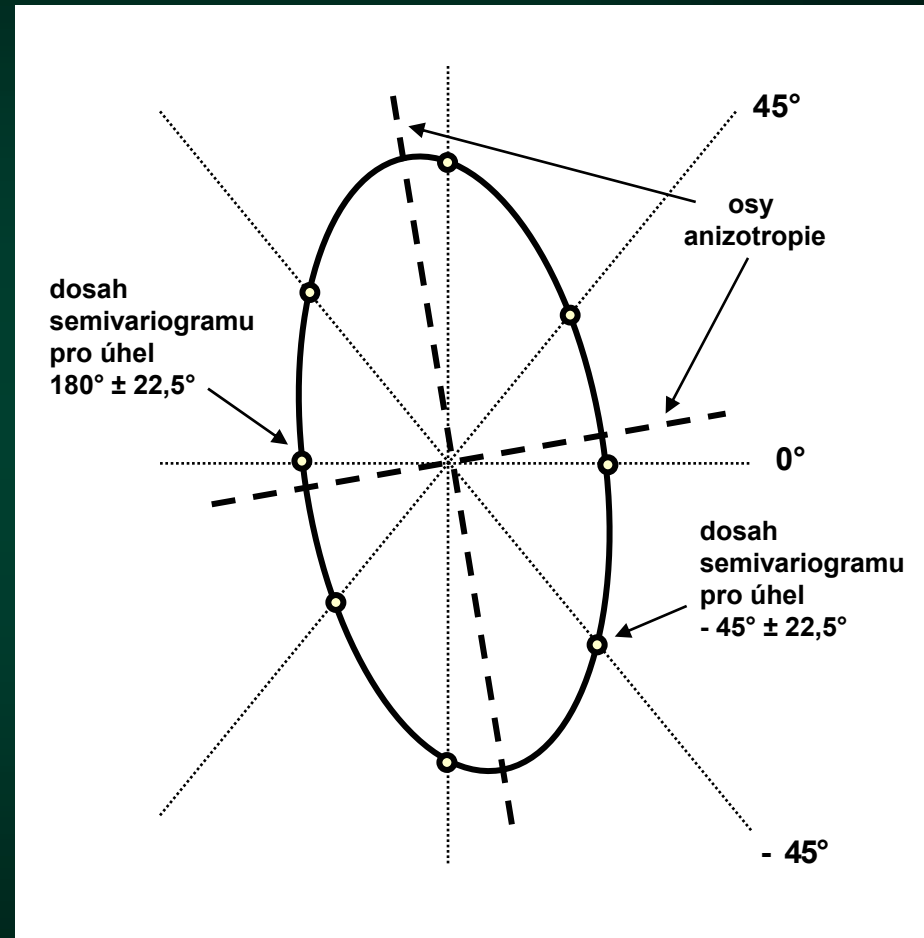
V nejjednodušším případě rozdělíme všesměrové pole rovnoměrně:

- například na směry sever $\pm 22.5^\circ$, jih $\pm 22.5^\circ$, východ $\pm 22.5^\circ$, západ $\pm 22.5^\circ$, severovýchod $\pm 22.5^\circ$, jihovýchod $\pm 22.5^\circ$, jihozápad $\pm 22.5^\circ$, severozápad $\pm 22.5^\circ$

a zkonstruujeme osm dílčích směrových semivariogramů tak, že do každého z nich zahrneme pouze ty dvojice daných bodů, jejichž směrový vektor padne do intervalu směrů daného dílčího semivariogramu.

Krigování (KR) – směrovost semivariancí

- Při směrově symetrických datech stačí zkonstruovat pouze polovinu počtu semivariogramů. Po zjištění jejich dosahů se tyto dosahy zanesou do růžicového diagramu obsahujícího ty směry, pro něž byly dílčí semivariogramy sestaveny.
- Anizotropická množina dat je charakterizována směrem maximální variance a směrem minimální variance. Tyto směry jsou směry hlavní a vedlejší poloosy tzv. elipsy anizotropie. Elipsa anizotropie je pak zjistitelná jako elipsa, která aproximuje dosahy vynesené do shora zmíněného růžicového diagramu.



Krigování (KR) – varianty

Základní krigování: bodový odhad, (blokový odhad)

- krigování proto stanoví odhad v místě \mathbf{X} jako součet vážených známých hodnot

$$Z_X = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot Z_i \quad \sum_{i=1}^n \mu_i = 1$$

- minimalizace rozptylů odhadů v místě \mathbf{X} vede k soustavě (n+1) lineárních rovnic, přičemž $K_{i,j}$ jsou kovariance mezi i-tým a j-tým známým bodem vázané se semivariancemi vztahem:

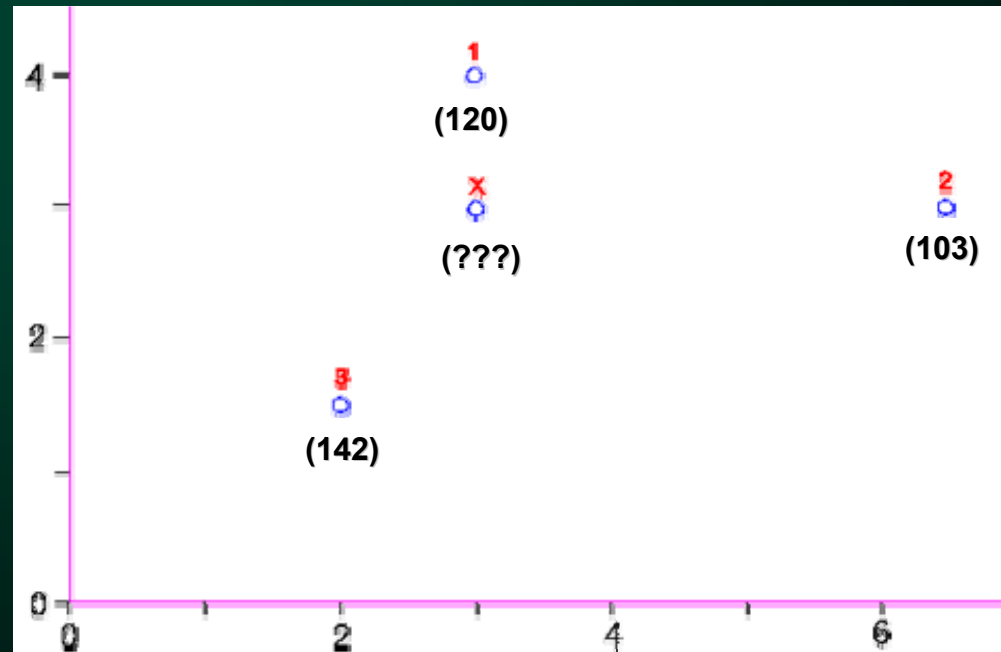
$$\sigma^2 = K_{x,x} - 2 \sum_i \mu_i \cdot K_{x,i} + \sum_i \sum_j \mu_i \cdot \mu_j \cdot K_{i,j} \quad K_{i,j} = \gamma(\infty) - \gamma(h_{ij})$$

- Variance tohoto odhadu je dána vztahem (kde λ je Lagrangeův multiplikátor):

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot \gamma(h_{Xi}) + \lambda$$

Krigování (KR) – základní krigování (příklad)

- určit koeficienty μ_1, μ_2, μ_3 , tyto koeficienty jsou výsledkem řešení soustavy lineárních rovnic
- jako prvky rozšířené matice soustavy vystupují hodnoty semivariance. Protože jde o aproximované hodnoty, je prvním úkolem stanovení modelu (= teoretického semivariogramu)
 - model = lineární semivariogram bez zbytkového rozptylu se směrnicí přímky rovné $4,0 \text{ m}^2/\text{km} \Rightarrow \gamma(h)=4h$
- Pro zjištění prvků rozšířené matice soustavy je tedy zapotřebí:
 - zjistit souřadnice jednotlivých bodů
 - zjistit vzájemné vzdálenosti mezi nimi
 - zjistit hodnoty semivariancí pro zjištěné vzdálenosti



▪ Krigování (KR) – základní krigování (příklad)

Bod	Souřadnice X	Souřadnice Y	Hladina vody	
1	3.0	4.0	120	
2	6.3	3.4	103	
3	2.0	1.3	142	
X	3.0	3.0	???	

z - do [km]	1	2	3	X
1	0.000	3.354	2.879	1.000
2		0.000	4.785	3.324
3			0.000	1.972
X				0.000

Semivariance	1	2	3	X
1	0.000	13.416	11.517	4.000
2		0.000	19.142	13.297
3			0.000	7.889
X				0.000

Řešíme tedy soustavu:

μ_1	μ_2	μ_3	λ	
0	13.416	11.517	1	4.000
13.416	0	19.142	1	13.297
11.517	19.142	0	1	7.889
1	1	1	0	1

Řešením je čtveřice $[\mu_1, \mu_2, \mu_3, \lambda] = [0,5954; 0,0975; 0,3071; -0,7298]$.

Odhad v bodě X je tedy:

$$Z_X = 0,5954 \cdot 120 + 0,0975 \cdot 103 + 0,3071 \cdot 142 = \mathbf{125,1 \text{ [m]}}$$

s variancí chyby odhadu:

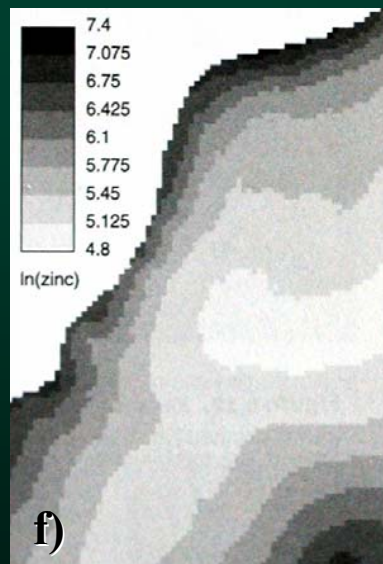
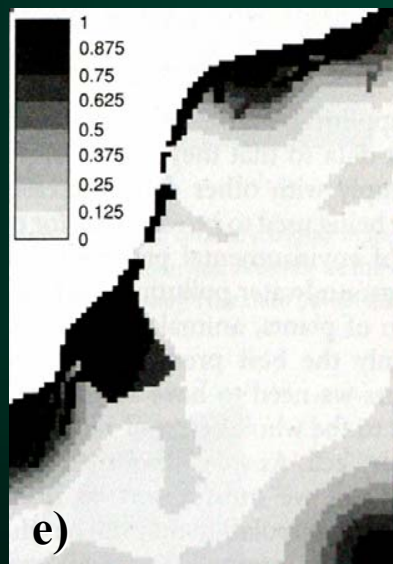
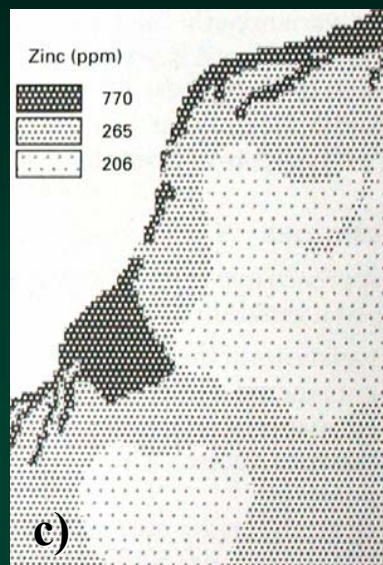
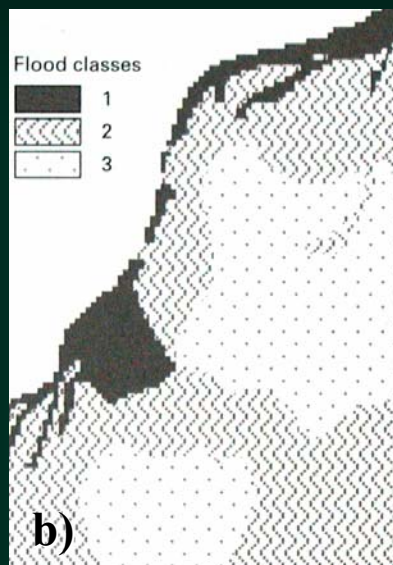
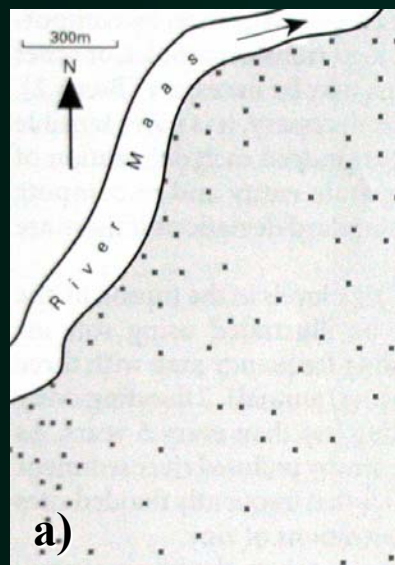
$$s^2 = 0,5954 \cdot 4 + 0,0975 \cdot 13,416 + 0,3071 \cdot 7,889 - 0,7298 \cdot 1 = \mathbf{5,3826 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$\mathbf{X = 125,1 \pm 2,3 \text{ m}}$$

Krigování (KR) – varianty

- simple kriging – jednoduché krigování – známá průměrná hodnota veličiny
- cokriging – odhad proměnné na základě hodnot korelovaných veličin, vztahy popsané pomocí vzájemného semivariogramu
- lognormální krigování
- indikátorové krigování – transformace kvantitativních údajů na kvalitativní (ano/ne) – výsledkem lokálního odhadu je pravděpodobnost; (absolutní nebo relativní indikátory - problém konzistence)
- probability kriging – kombinace indikátorů s původními údaji
- soft kriging – kombinace hodnoty s dalšími údaji

Krigování (KR) – varianty (ukázky)



- Zdrojová data
- Třídy četnosti záplav
- Koncentrace Zn dle četnosti záplav
- Indikátorové krigování: pravděpodobnost překročení hodnoty 1000 ppm Zn
- Soft krigování: pravděpodobnost překročení hodnoty 500ppm s využitím pravděpodobné hodnoty obsahu Zn v jednotlivých třídách četnosti záplav
- Kokrigování ln Zn a ln vzdálenosti od řeky

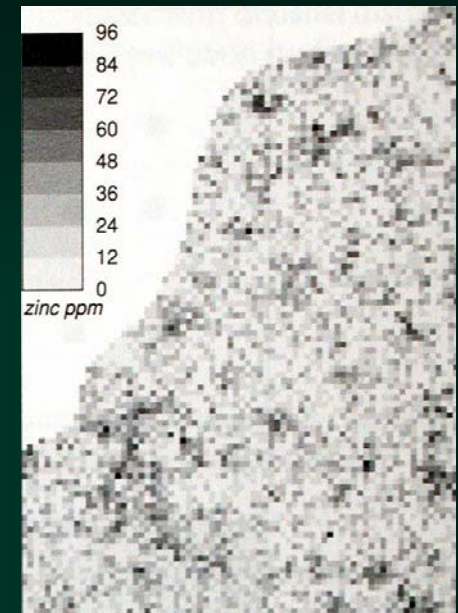
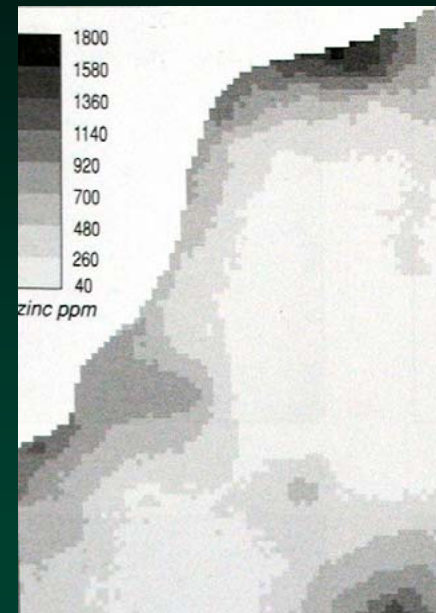
Podmíněná stochastická simulace (SS)

1. Vyberte náhodně dosud nezpracovaný bod (neznámé hodnoty)
2. Vypočítejte pro něj pomocí jednoduchého krigování odhad hodnoty a rozptyl odhadu s využitím známých (nebo již vypočítaných) hodnot.
3. Stanovte náhodnou hodnotu z distribuce pravděpodobnosti určené zjištěným průměrem (zjištěný odhad hodnoty) a rozptylem (zjištěný rozptyl odhadu). Výsledek představuje simulovanou hodnotu pro dané místo. Bod se stává místem se známou hodnotou a vstupuje do dalších výpočtů.
4. Opakujte první 3 kroky, až je pokryto celé území.
5. Opakujte první 4 kroky tolikrát, kolik simulací je potřebné provést pro dostatečně věrohodný odhad modelu (např. 100 krát).
6. Ze simulovaných hodnot vypočítejte průměrnou hodnotu a rozptyl (resp. směrodatnou odchylku) pro každé místo.

Podmíněná stochastická simulace (ukázky)

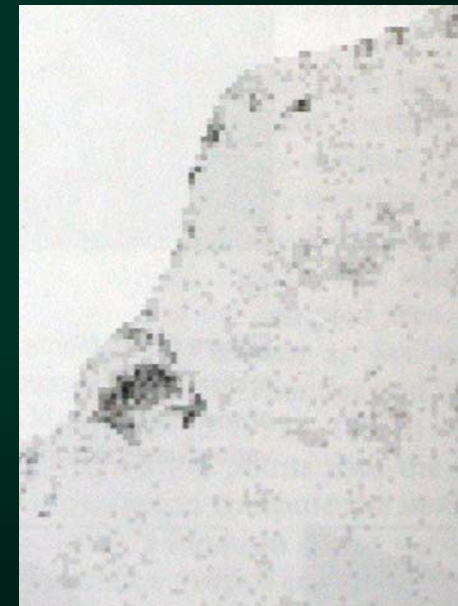
Podmíněná simulace obsahu Zn v
půdě po 100 iteracích:

- vlevo očekávaná hodnota Zn
- vpravo chyba odhadu



Podmíněná simulace obsahu Zn v
půdě po 100 iteracích s využitím
informace o pravděpodobné hod-
notě obsahu Zn v jednotlivých
třídách četnosti záplav:

- vlevo očekávaná hodnota Z
- vpravo chyba odhadu



Volba metody a parametrů

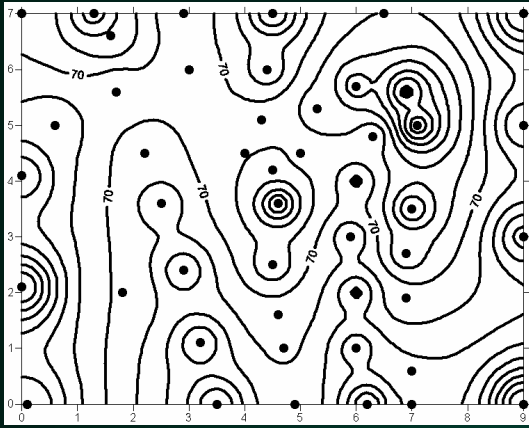
- Průzkumová analýza dat
 - zkoumání distribuce hodnot,
 - statistická (normalita, extrémní hodnoty),
 - prostorová (existence trendu, anizotropie),
 - uspořádání sítě měření.
- Transformace hodnot měření – normální distribuce (případně použití nelineárních technik)
- Eliminace trendu, model trendu, výpočet reziduálních hodnot (zvláště výpočet základní hodnoty z průběhu trendové funkce a interpolace odchylky)
- Návrh vhodných parametrů pro vyhledávání s ohledem na existující síť (u některých metod nutné pro získání korektního výsledku, jinde pro zrychlení výpočtu):
 - volba sektorů
 - počet bodů
 - dosah hledání
 - tvar prohledávané oblasti (kruh, elipsa)

Volba metody a parametrů

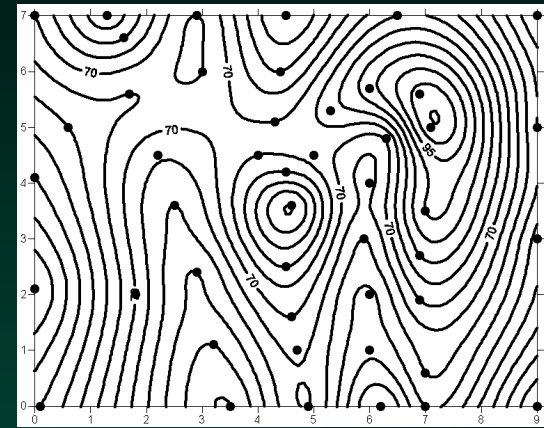
- Ověření výsledku interpolace (verifikace) – hodnocení rozptylu, srovnání s jinými metodami, s původně naměřenými hodnotami:
 - ručně provedená interpolace
 - bumerangová metoda (cross validation)
 - použití referenční funkce (známý vývoj v ploše)
- mapa chyb (střední chyba)
- změna průměrné hodnoty (rozptylu)
- velikost rozptylu u výsledku
- porovnání s původně naměřenými hodnotami
 - (požadavek exaktní interpolace)
- průběh pole

Volba metody a parametrů

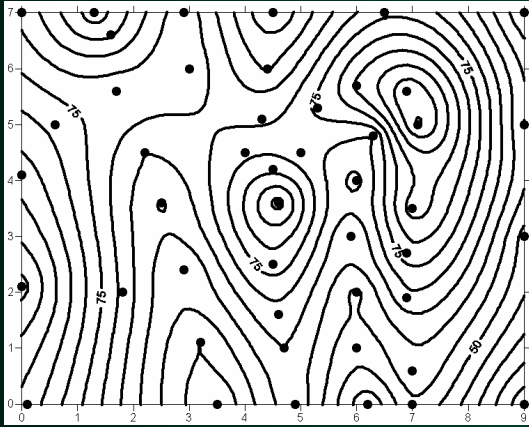
- Na čem tedy závisí výsledek ?
 - cíl interpolace (exaktní interpolace – aproximace – průběh pole)
 - počet a rozmístění známých měření
 - statistických charakteristikách zkoumaného souboru měření
 - vazbě principu zvolené metody a vývoje sledovaného pole
- Nelze spoléhat na 1 metodu !



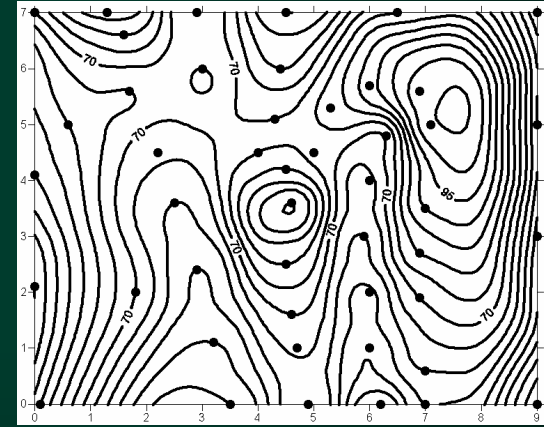
ID



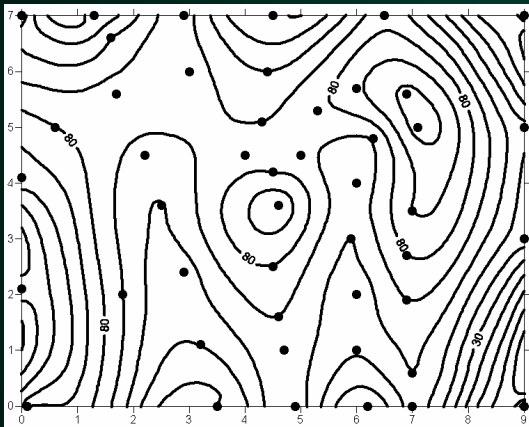
RF



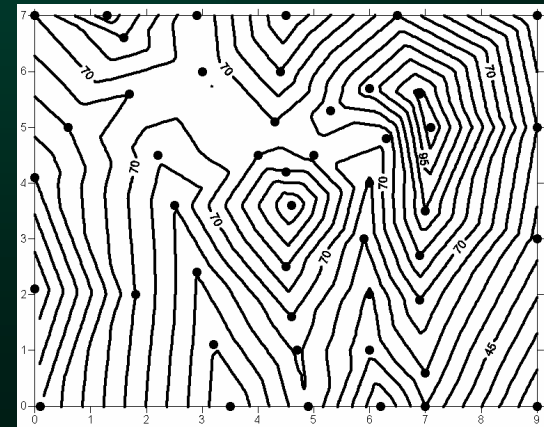
KR



SH



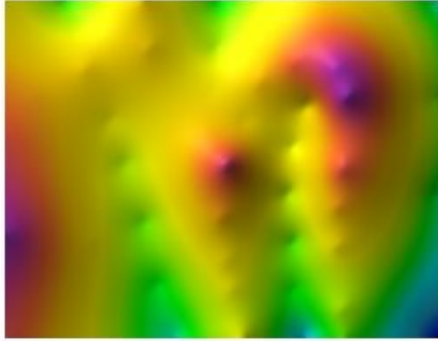
MC



TR

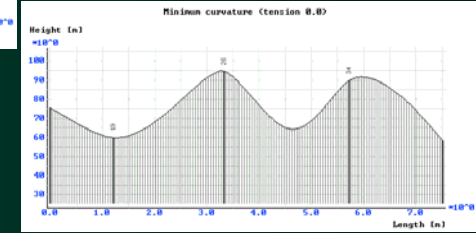
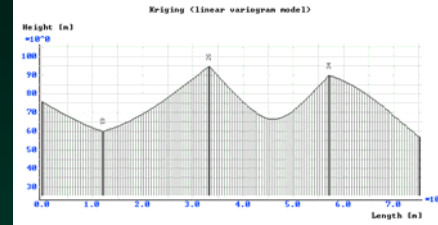
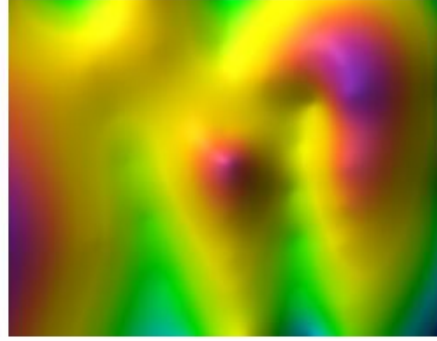
Kriging

Linear variogram model



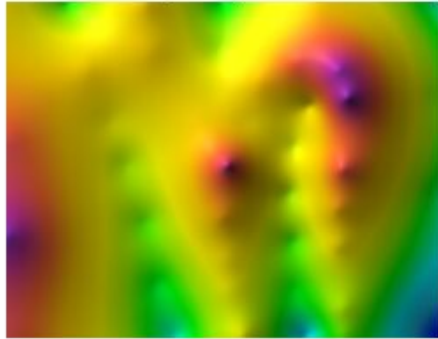
Minimum curvature

Tension 0.0

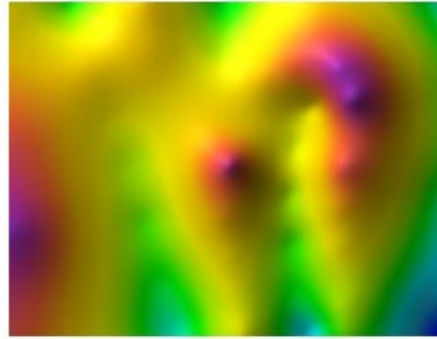


ABOS

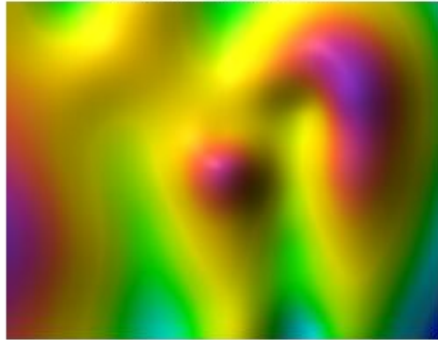
Sharp interpolation



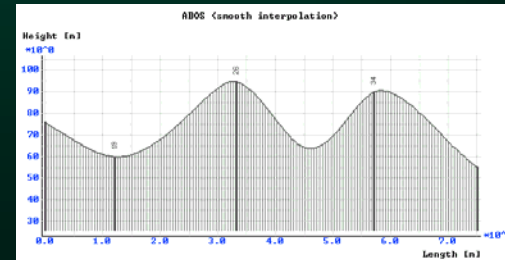
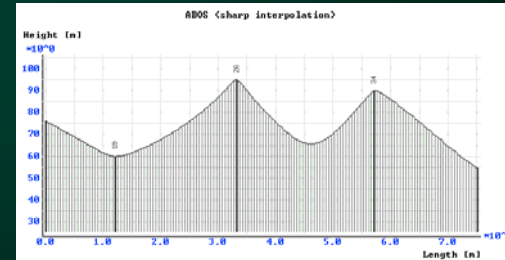
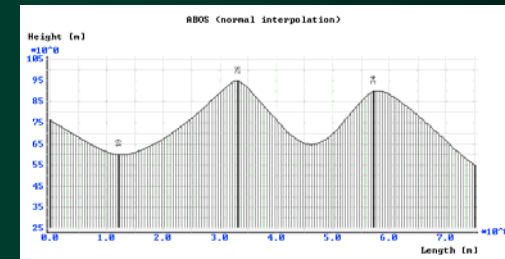
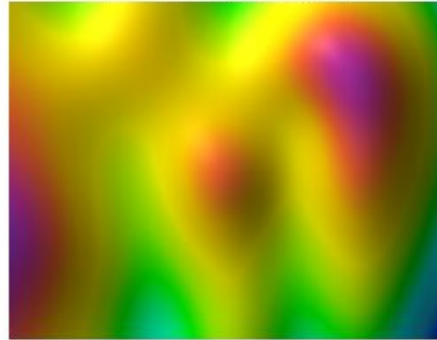
Normal interpolation



Smooth interpolation



Smooth approximation



Obecná indikace použití:

- metoda inverzních vzdáleností
 - exaktní interpolační metoda, tvorba koncentrických izolinií, při nepravidelné síti nebo anizotropii pole je třeba dodatečné úpravy metody
- metoda minimální křivosti
 - exaktní interpolační metoda (řízená tolerance), pozor na falešná maxima a minima
- krigování
 - aproximační metoda, nutnost analýzy pole, poskytuje vyhodnocení rozptylu/chyb, potlačuje rozptyl
- simulace
 - aproximační metoda, rozsáhlé zpracování dat, poskytuje pravděpodobnostní hodnocení

Použitá literatura

- Burrough, P.A.** Principles of GIS for Land Resources Assessment. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- Burrough, P.A., Mcdonnell, R.A.** Principles of Geographical Information Systems. USA, New York: Oxford University Press Inc., 1998. 333 p. ISBN 0-19-823366-3.
- Clark Labs.** Domovské stránky organizace [online]. Manuál k programu IDRISI Andes. Internet, < <http://www.clarklabs.org/> >, 2008.
- Dressler, M.** SurGe, gridding and mapping software. Manuál k programu [online]. Internet, < <http://mujweb.cz/www/surge/> >, 2008.
- Golden software.** Domovské stránky organizace [online]. Program Surfer, verze 8. Internet, < <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/surfer.shtml> >, 2008.
- Homola, V.** Sylaby geostatistiky a geoinformatiky [online]. Internet, < <http://homel.vsb.cz/~hom50/> >, 2004.
- Horák, J.** Prostorová analýza dat [online]. Internet, < <http://gis.vsb.cz/pad/> >, 2002.
- Horák, J., Staněk, F.** Interpolace prostorových dat. Seminář při mezinárodním sympoziu GIS Ostrava 2004. VŠB TU Ostrava 28.1.2004.

Děkuji za pozornost.

klimanek@mendelu.cz
<http://mapserver.mendelu.cz>