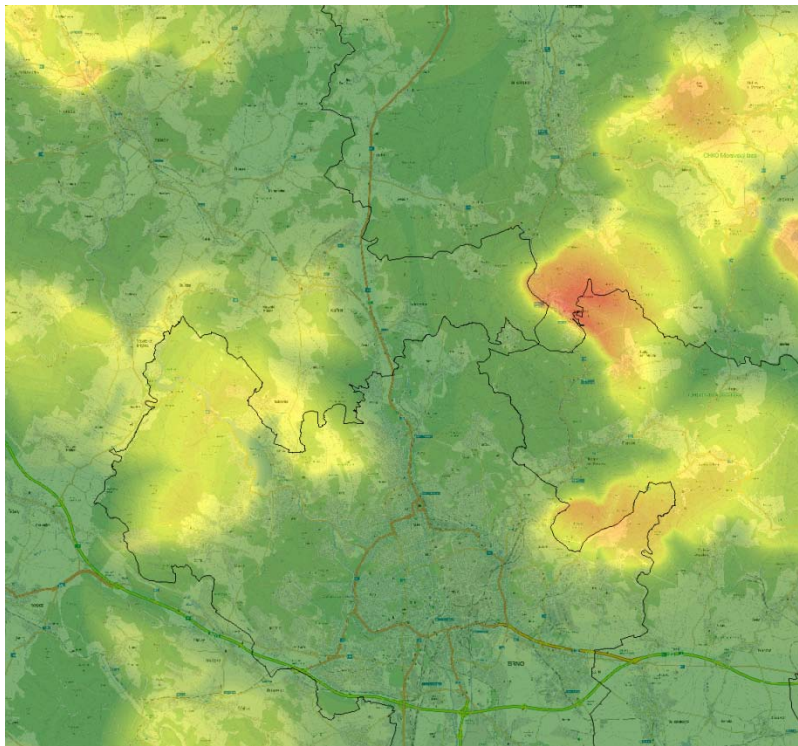


Multikriteriální hodnocení oblastí cestovního ruchu v Jihomoravském kraji



Příklad využití fuzzy množin
v ArcGIS Desktop 10

RNDr. Pavel Kolisko

Fuzzy „neostré“ množiny

- fuzzy – neostrý, mlhavý, nejasný, vágní
- zobecnění klasických ostrých množin
- nástroj pro matematické modelování vágně popsaných jevů, objektů, vztahů, procesů, které nejsou přesně ohraničené, neoddělitelné od jejich verbálního vyjadřování
- teorie fuzzy množin nekonkuruje teorii pravděpodobnosti – výsledky jasně definovaných jevů, které mohou nastat na základě náhody
- vlastnost "být fuzzy" se často vyjadřuje jako víceznačnost, nikoliv jako nepřesnost nebo nejistota

Lingvistické proměnné fuzzy logiky

- v běžném životě nejsou ostré hranice – používáme slovního vyjádření intenzity jevů – lingvistické proměnné
 - blízký, mírný, vysoký, kladný, průměrný, členitý
- často přidáváme modifikátory
 - velmi blízký, docela mírný, trochu vysoký, nepatrně kladný, více než průměrný, nepatrně členitý
- klasické množiny – ostré hranice
 - větší než 120 cm, mezi 30 a 50 m, méně než 150 g, ne dále než 300 km

Fuzzy množiny (fuzzy sets)

- Necht' je dána univerzální množina X (klasická množina). Necht' dále existuje charakteristická funkce tzv. **funkce příslušnosti** $\mu_A : X \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$, která každému prvku $x \in X$ přiděluje jeho **míru příslušnosti** $\mu_A(x) \in \langle 0, 1 \rangle$ k množině A . Potom množinu A nazýváme **fuzzy množinou** s prvky, pro které platí $\mu_A(x) > 0$.
- Pro každý prvek $x \in X$ hodnota $\mu_A(x) \in \langle 0, 1 \rangle$ udává, do jaké míry je prvkem fuzzy množiny A .

Fuzzy množiny

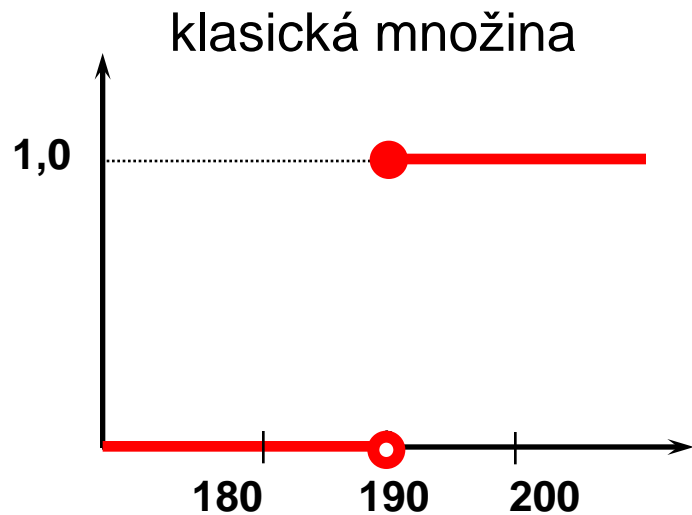
- $\mu_A(x) = 1$ x jistě patří do A
- $\mu_A(x) = 0$ x jistě nepatří do A
- $0 < \mu_A(x) < 1$ nejsme si jisti, zda x patří do A

- Každá funkce $X \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$ určuje jednoznačně nějakou fuzzy množinu.
- Fuzzy množinu lze chápat jako celé univerzum, jen některé prvky v ní s určitostí nejsou.

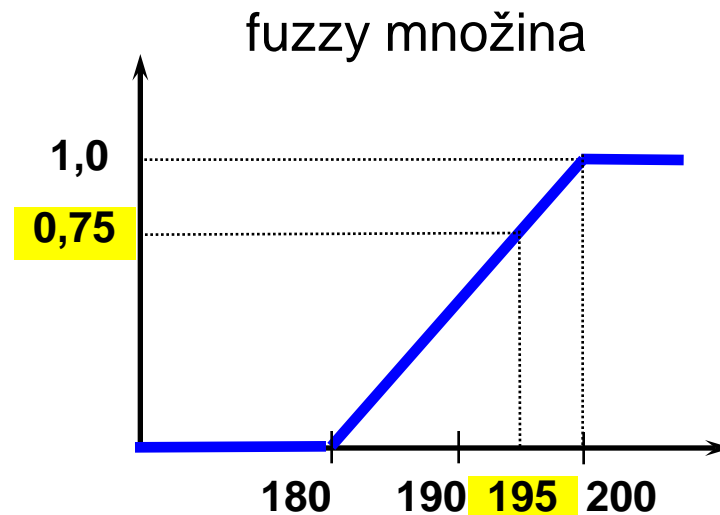
Fuzzy množiny

- Fuzzy množiny lze znázornit pomocí hranového diagramu.

množina A vysokých lidí



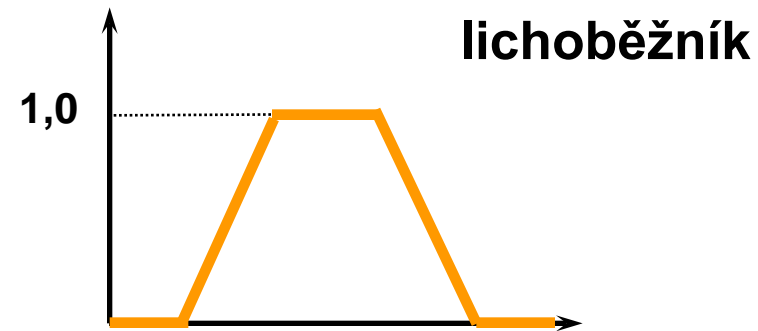
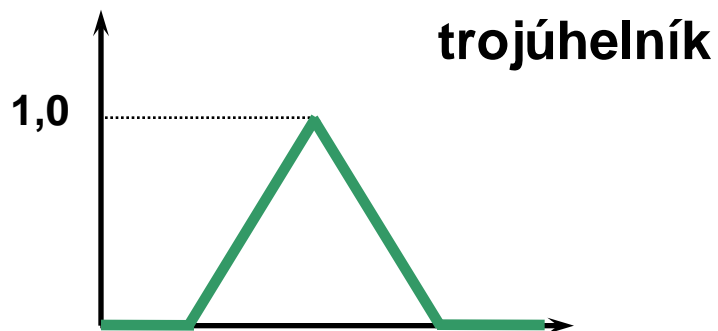
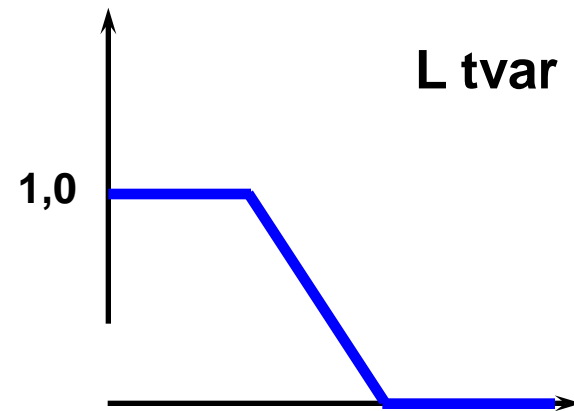
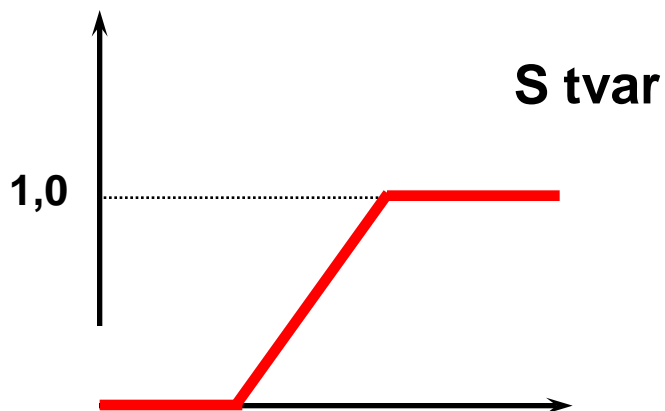
$$\mu_A(195) = 1$$



$$\mu_A(195) = 0,75$$

Průběh funkce příslušnosti

■ lineární funkce



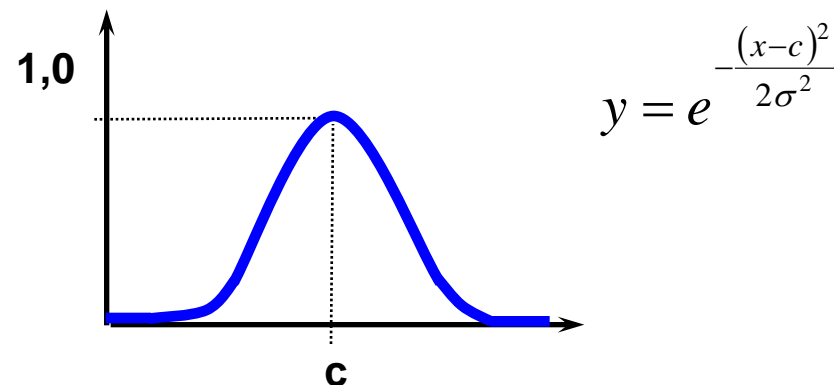
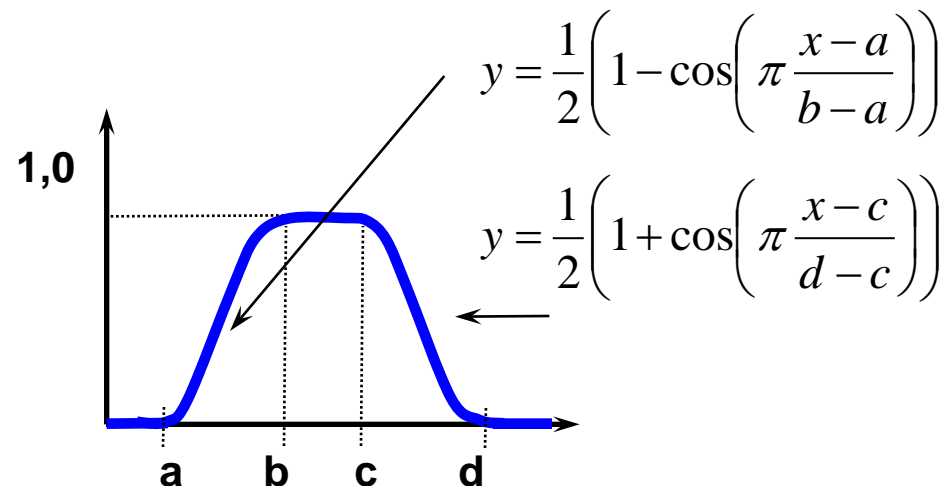
Průběh funkce příslušnosti

- goniometrické funkce

sinus, kosinus

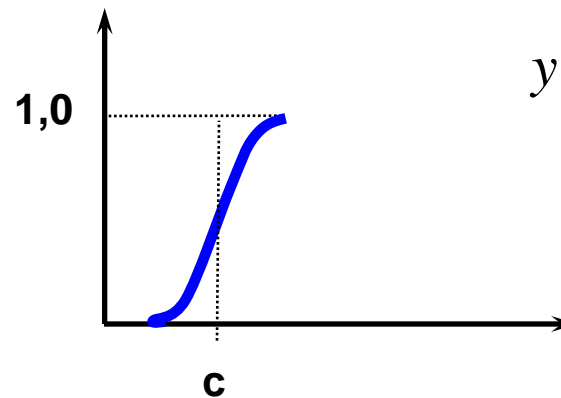
- Gaussova funkce

normální rozdělení



Průběh funkce příslušnosti

- sigmoida



$$y = \frac{1}{1 + e^{a(x-c)}}$$

- další funkce $y = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c}{b}\right)^2}$

$$y = \operatorname{tgh}(x-c)$$

$$y = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{b}\right|^{2b}}$$

Operace s fuzzy množinami

- Doplněk (komplement) fuzzy množiny

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

- Sjednocení dvou fuzzy množin

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

- Průnik dvou fuzzy množin

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

- Normalizace fuzzy množiny

$$\mu_{\text{norm}(A)}(x) = \frac{\mu_A(x)}{v(\mu_A)}$$

Pravidla pro počítání s fuzzy množinami

- Platí podobná pravidla jako pro množiny „ostré“:

$$A \cup A = A$$

$$A \cap A = A$$

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$$

$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

$$A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B = B \cap A$$

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$$

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$$

=

$$\overline{\overline{A}} = A$$

- Neplatí pro „fuzzy“ množiny (platí pro ostré množiny):

$$A \cup \overline{A} = X$$

$$A \cap \overline{A} = \emptyset$$

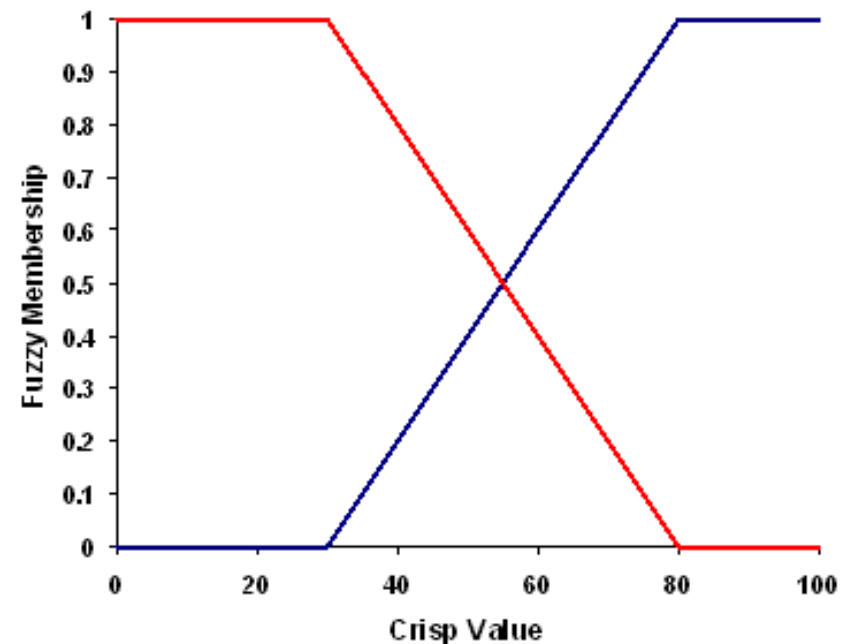
Fuzzy nástroje v ArcGIS Desktop 10

- Fuzzy Membership
 - Spatial Analyst Tools – Overlay – Fuzzy Membership
 - **reklasifikace rastrových dat** do fuzzy míry příslušnosti 0 až 1 pomocí funkcí
 - u všech je možnost koncentrace (very) a dilatace (somewhat)
- Fuzzy Overlay
 - Spatial Analyst Tools – Overlay – Fuzzy Overlay
 - **kombinuje fuzzifikované rastry**
 - multikriteriální analýza překryvu

Funkce Linear

- lineární průběh mezi hodnotami 0 a 1
- parametry
 - min – první hodnota
 - max – druhá hodnota
 - pro min < max je rostoucí
 - pro min > max je klesající
- FuzzyLinear (min, max)
 - funkce trojúhelník a lichoběžník – použití 2x

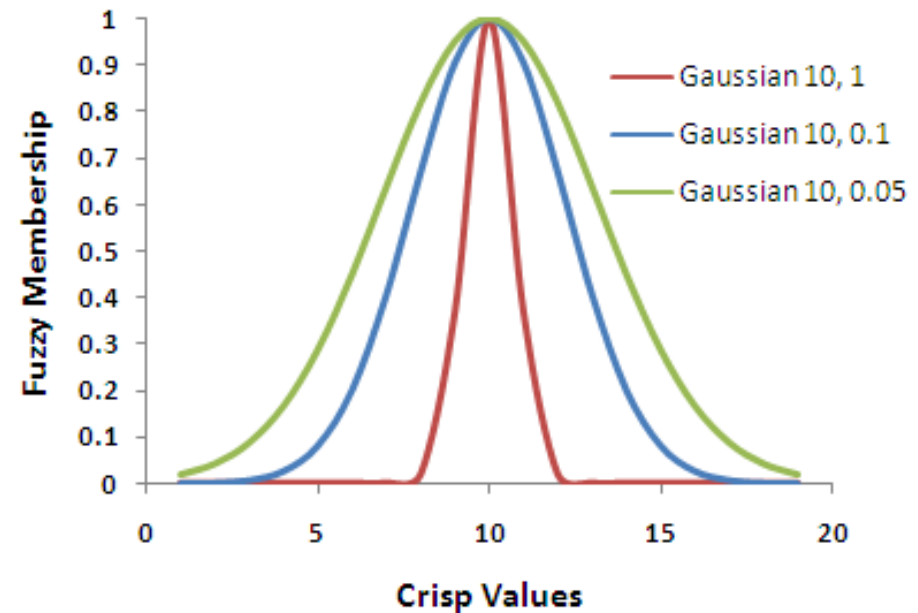
$$\mu(x) = \frac{x - \min}{\max - \min}$$



Funkce Gaussian

- funkce normálního rozložení
- parametry
 - f_2 – střed (členství 1)
 - f_1 – rozpětí (větší hodnota znamená strmější průběh)
- FuzzyGaussian (f_2, f_1)

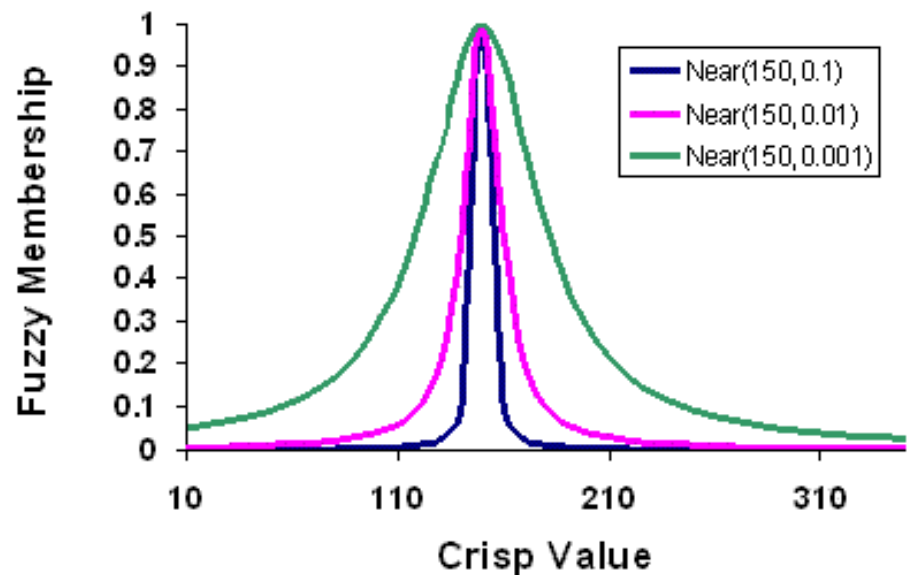
$$\mu(x) = e^{-f_1 \cdot (x-f_2)^2}$$



Funkce Near

- podobné Gaussově křivce
- parametry
 - f_2 – střed (členství 1)
 - f_1 – rozpětí (větší hodnota znamená strmější průběh)
- FuzzyNear (f_2, f_1)

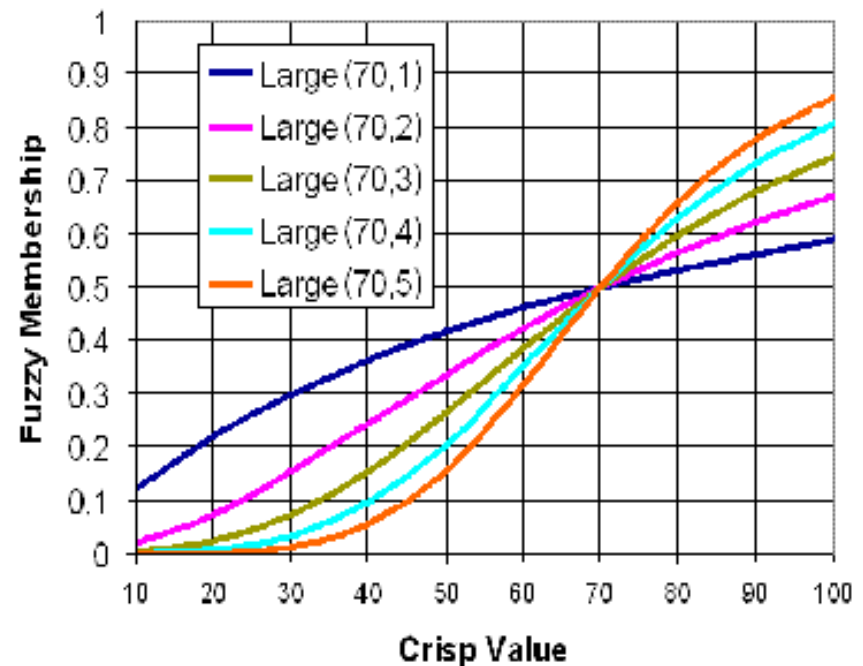
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + f_1 \cdot (x - f_2)^2}$$



Funkce Large

- větší hodnoty mají k členství blíže
- parametry
 - f_2 – střed (členství 0,5)
 - f_1 – rozpětí (větší hodnota znamená strmější průběh)
- FuzzyLarge (f_2, f_1)

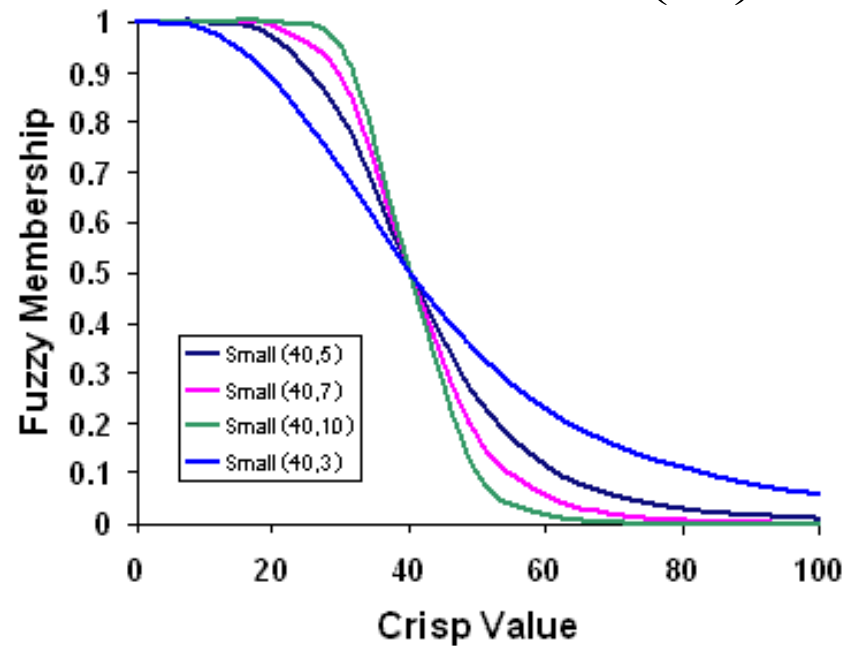
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}}$$





Funkce Small

- menší hodnoty mají k členství blíže
- parametry
 - f_2 – střed (členství 0,5)
 - f_1 – rozpětí (větší hodnota znamená strmější průběh)
- FuzzySmall (f_2, f_1)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$



Funkce MSLarge a MSSmall

- definují členství pomocí funkce založené na průměru (m) a směrodatné odchylce (s)
 - MSLarge – větší hodnoty mají k členství blíže
 - MSSmall – menší hodnoty mají k členství blíže
- parametry
 - a – násobitel průměru
 - b – násobitel směrodatné odchylky
 - pro $x \leq a \cdot m$: $\mu(x) = 0$ $\mu(x) = 1$
 - pro $x > a \cdot m$: $\mu(x) = 1 - \frac{bs}{x - am + bs}$ $\mu(x) = \frac{bs}{x - am + bs}$
- FuzzyMSLarge (a, b),  FuzzyMSSmall (a, b) 

Operace

- **AND** (průnik) – minimum členství vstupních fuzzy rastrů
$$\mu(x) = \min(\mu_i)$$
- **OR** (sjednocení) – maximum členství vstupních fuzzy rastrů
$$\mu(x) = \max(\mu_i)$$
- **PRODUCT** (interaktivní průnik = součin) – snižování členství – kombinace vstupů je méně důležitá nebo menší než jednotlivé vstupy
$$\mu(x) = \pi_{i=1}^n(\mu_i)$$
- **SUM** (interaktivní sjednocení = součet) – zvyšování členství – kombinace vstupů je více důležitá nebo větší než jednotlivé vstupy
$$\mu(x) = 1 - \pi_{i=1}^n(1 - \mu_i)$$
- **GAMA** – algebraický součin SUM a PRODUCT, vliv koeficientu (1 = SUM, 0 = PRODUCT)
$$\mu(x) = (Fuzzysum)^\gamma \cdot (Fuzzyproduct)^{1-\gamma}$$

Hodnocení oblastí cestovního ruchu v JMK

- Multikriteriální analýzy překryvu byla zpracována pro srovnání s využitím fuzzy i ostrých množin
- uvažována byla tato kritéria:
 - životní prostředí
 - lesy
 - vodní plochy
 - komunikace
 - kultura
 - cyklostezky
 - turistické stezky

$$Zp \cap Ls \cap Vp \cap Ko \cap Ku \cap (Cs \cup Ts)$$

Postup a použité prostředky

■ Postup

- výběr potřebných dat
 - ❖ sjednocení, selekce, bufferování
 - ❖ zjišťování hustoty
- převod vektorových dat na rastry
- reklasifikace dat
- výpočet euklidovské vzdálenosti
- operace s rastry
 - ❖ fuzzifikace
 - ❖ průniky, sjednocení

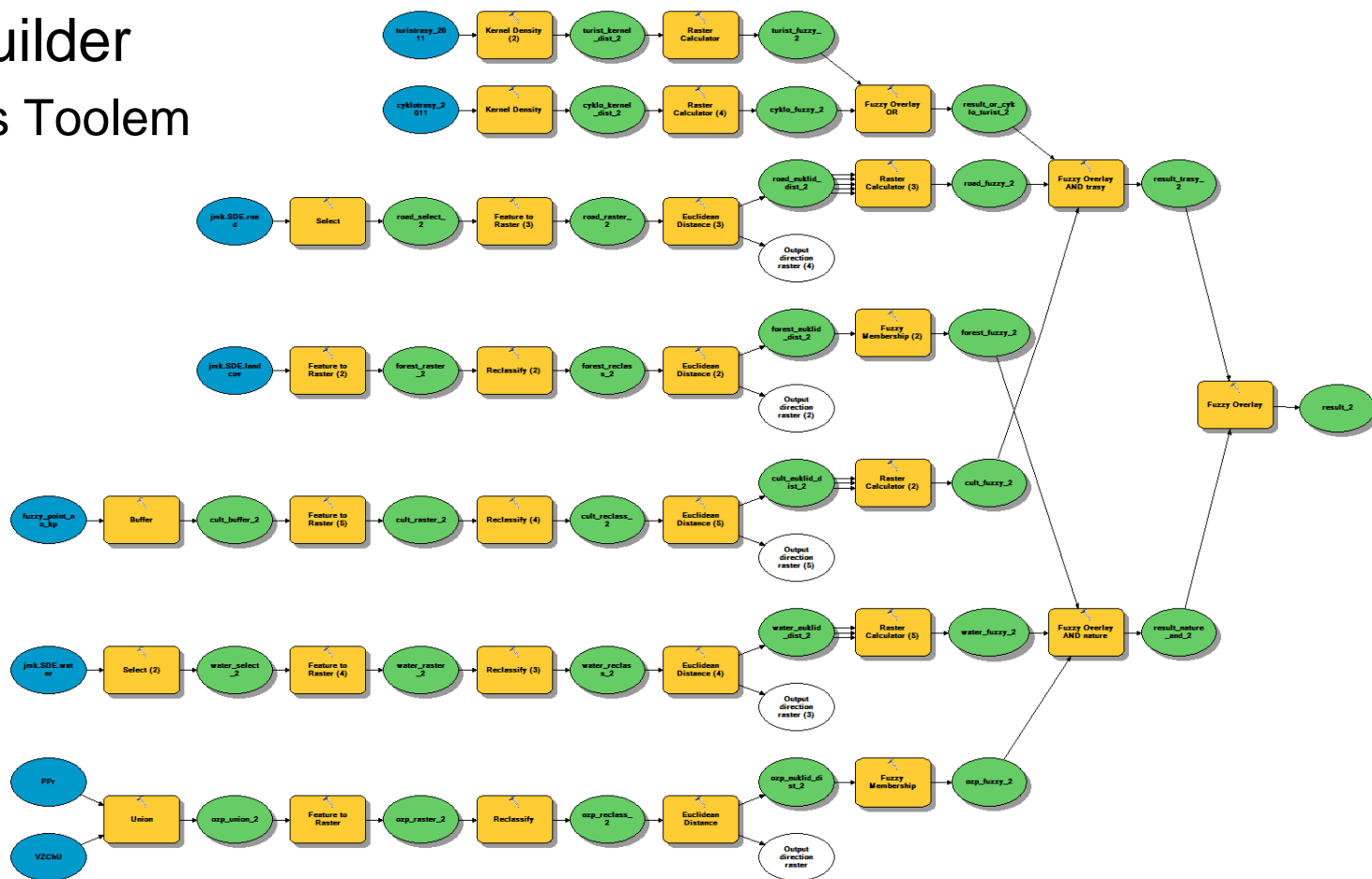
■ Použitý software a prostředky

- ArcGIS Desktop – ArcInfo
 - ❖ ModelBuilder, Python
 - ❖ Spatial Analyst Tools
 - ❖ 3D Analyst Tools
 - ❖ Analysis Tools
 - ❖ Conversion Tools
 - ❖ Data Management Tools
- Data podkladová a odborová
 - ❖ Spatial Database Engine
 - ❖ File database

Použití nástrojů v ArcGIS

ModelBuilder

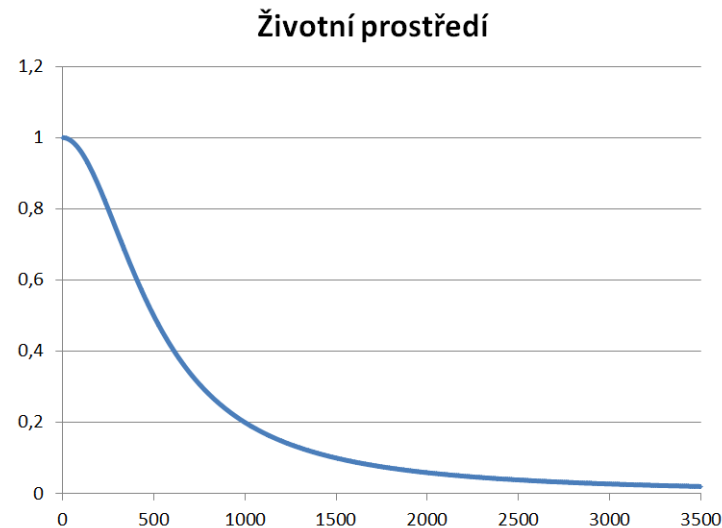
- práce s Toolem
- Python



Životní prostředí

- Uvažujeme vzdálenost v m od sjednocení objektů:
 - VZCHU – NP, CHKO
 - obec. ochrana krajiny – přírodní parky
- FuzzySmall (500, 2)

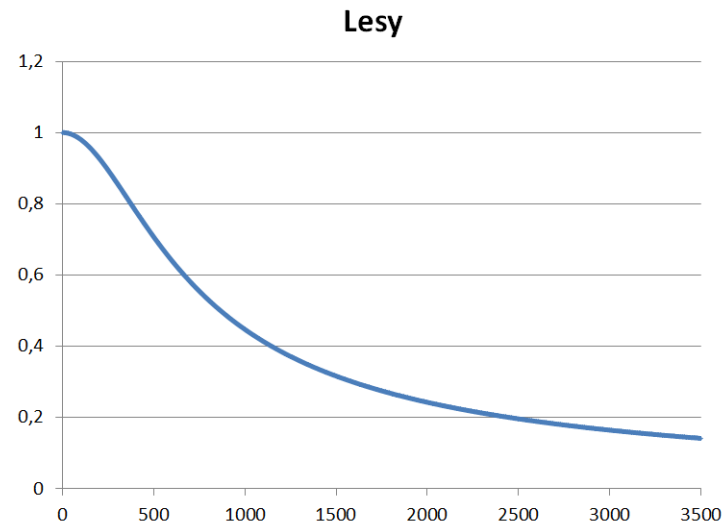
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{500}\right)^2}$$



Lesy

- Uvažujeme vzdálenost v m od:
 - StreetNet - landcover
- FuzzySmall (500, 2), SOMEWHAT (dilatace)

$$\mu(x) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{x}{500}\right)^2}}$$



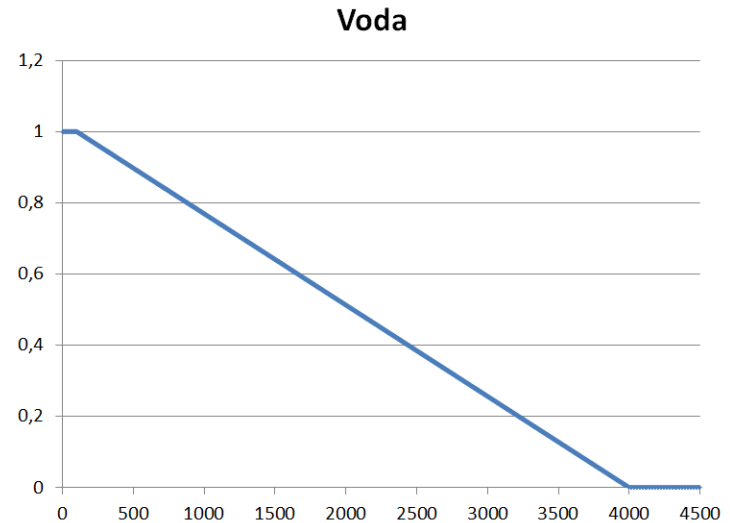
Vodní plochy

- Uvažujeme vzdálenost v m od:
 - StreetNet – water (větší jak 10 ha)
- lineární L průběh – Raster Calculator

$$x < 100: \mu(x) = 1$$

$$100 \leq x \leq 2000: \mu(x) = \frac{2000 - x}{1900}$$

$$x > 2000: \mu(x) = 0$$



Komunikace

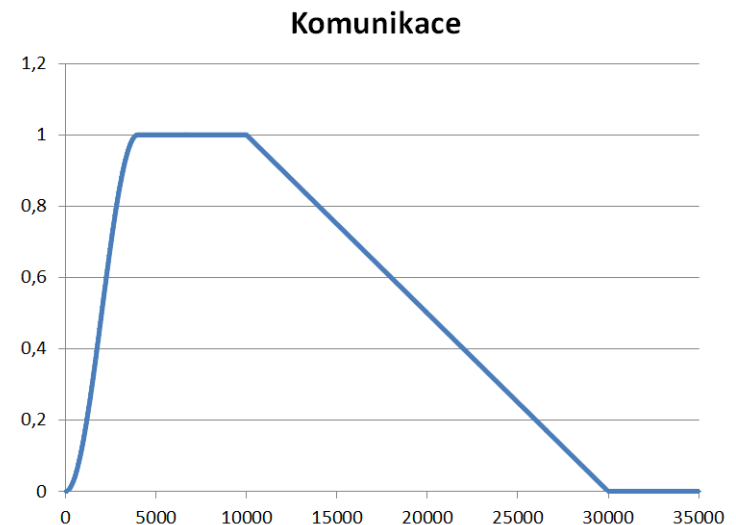
- Uvažujeme vzdálenost v m od:
 - dálnice, rychlostní silnice, silnice 1. třídy
 - StreetNet - road
- goniometrický a lineární průběh – Raster Calculator

$$x \leq 3000: \quad \mu(x) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \left(\pi \frac{x}{3000} \right) \right)$$

$$3000 \leq x \leq 10000: \quad \mu(x) = 1$$

$$10000 \leq x \leq 30000: \quad \mu(x) = \frac{30000 - x}{20000}$$

$$x \geq 30000: \quad \mu(x) = 0$$



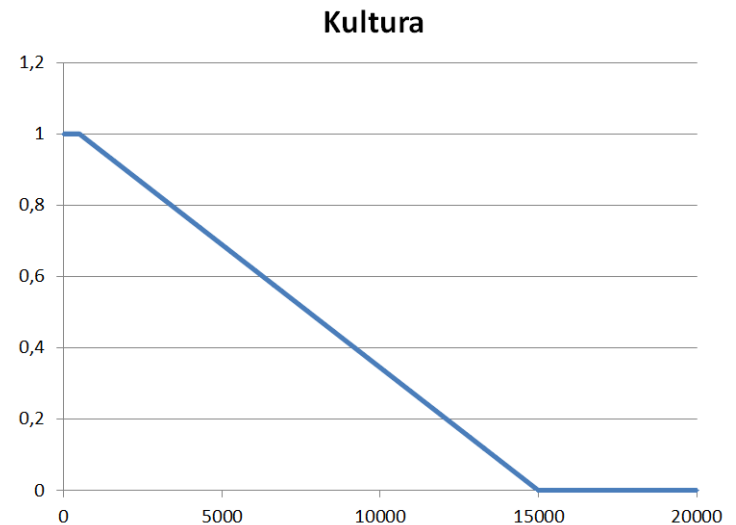
Kultura

- Uvažujeme vzdálenost v m od:
 - národní kulturní památky
 - muzea
 - památkové rezervace a zóny
- lineární L průběh – Raster Calculator

$$x < 500: \mu(x) = 1$$

$$500 \leq x \leq 15000: \mu(x) = \frac{15000 - x}{14500}$$

$$x > 15000: \mu(x) = 0$$



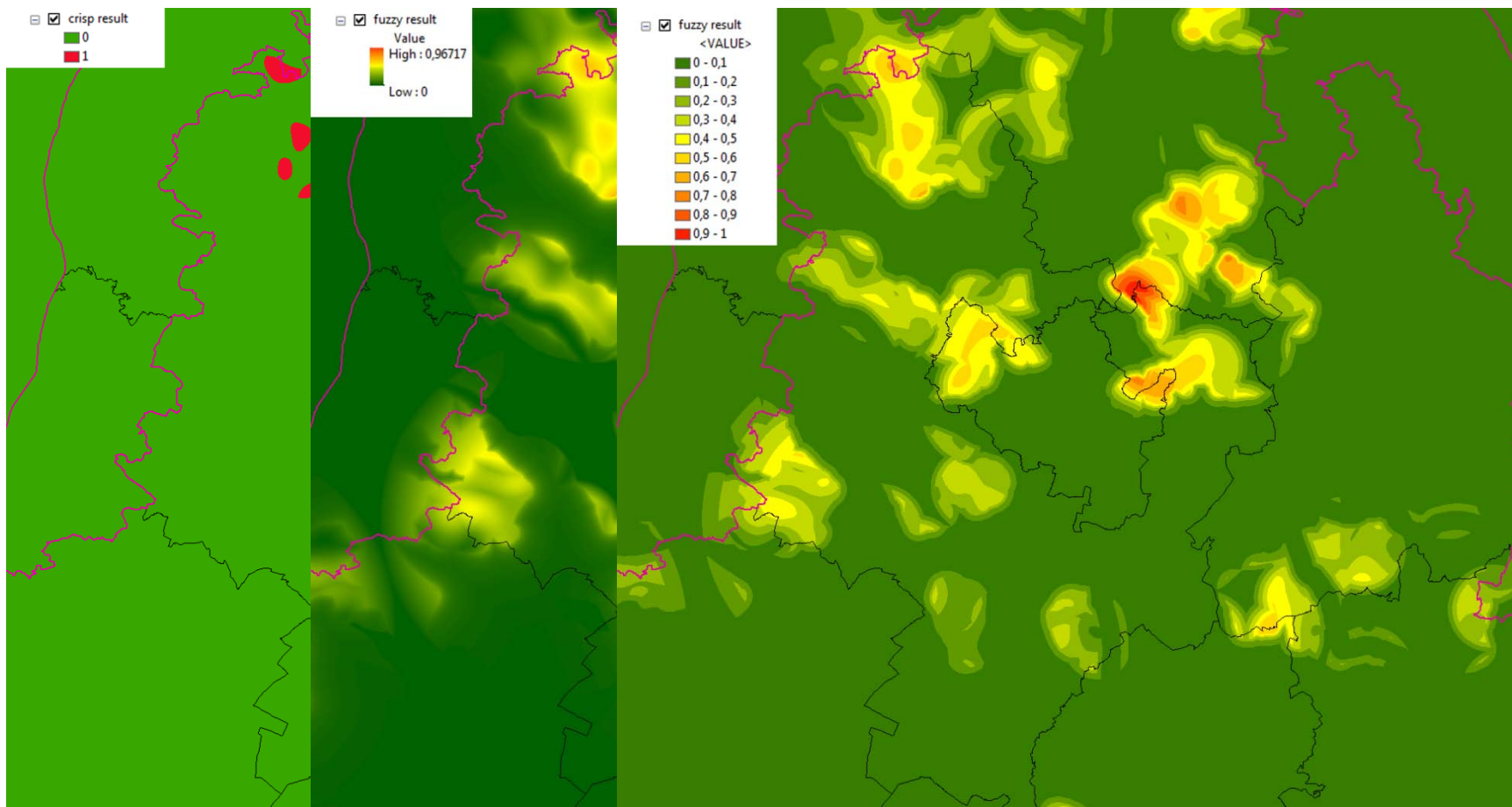
Cyklostezky a turistické stezky

- Uvažujeme hustotu na m^2 :
 - cyklostezky 2011
 - turistické stezky 2011
- normalizace pomocí Kernel Density
 - radius 3000 m

Výsledek a hodnocení

- výsledek závisí na:
 - formulace problému
 - stanovení fuzzy operací
 - určení funkcí míry příslušnosti ve fuzzy množinách
 - kvalitě dat – velikost buňky (zde 10m)
- využití
 - porovnání výsledku se statistickými daty – návštěvnost a atraktivita oblastí
 - zdůvodnění malé návštěvnosti výsledných oblastí, hledání jejich dalšího rozvoje
 - vytipování oblastí nových, návaznost na služby
 - možnosti napojení na projekt cyklostezek

Grafická ukázka



Videoukázka