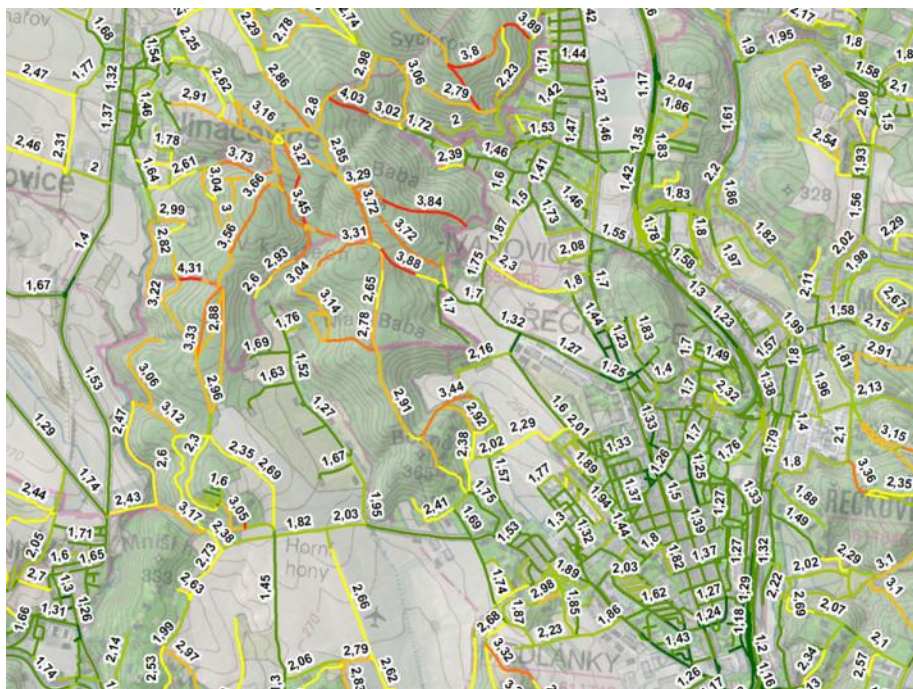




Hodnocení obtížnosti cyklotras pomocí fuzzy modelů na území Jihomoravského kraje



Rastrová analýza pomocí
Mamdaniho metody

RNDr. Pavel Kolisko

Úvod

- aktualizace obtížnosti sítě cyklotras je vyžadována zastaralostí, nepřesností současných dat a vznikem cyklotras nových
- analýza je řešena různými metodami *kompozičního pravidla odvozování*, zvláště *Mamdaniho a Larsenovou metodou*
- obtížnost je výsledkem zpracování pravidel se slovními proměnnými pro typ komunikace a sklon svahu
- vhodnost metod je testována ověřenými a zařaditelnými úseky cyklotras
- modelování je provedeno nad rastry s využitím softwaru ArcGIS 10.1, ModelBuilderu, analytických nástrojů Spatial Analyst Tools a programovacího jazyka Python



Teorie a použité metody

- fuzzy množiny – množiny s neostrou hranicí jako zobecnění klasických množin ostrých
- jednotlivé prvky do těchto množin více či méně patří, což je vyjádřeno jejich tzv. mírou příslušnosti v množině (hodnoty z intervalu 0 až 1) danou použitou matematickou funkcí
- k označení intenzity vlastností vágních objektů lze použít tzv. slovní proměnné
- **teorie fuzzy množin a fuzzy logiky**
- **trojúhelníkové normy** (t-normy – fuzzy konjunkce) a **konormy** (fuzzy disjunkce), **operace s fuzzy relacemi**
- *metody fuzzy odvozování* – deduktivní metoda **zevšeobecněný modus ponens**, relační kompoziční pravidlo odvozování
- *Mamdaniho metoda* – minimové t-normy
- *Larsenova metoda* – minimová a Łukasiewiczova t-norma
- odvozování dává i při ostrých vstupech fuzzy výstupy – nutnost **defuzzifikace**
- metody těžiště – Center of Sums (CoS - těžiště součtů), Center of Maximum (CoM - těžiště singletonů)

Fuzzy odvozování a zevšeobecněný modus ponens

- klasická logika – pravidla odvozování induktivní *modus tollens* a deduktivní *modus ponens*
- fuzzy odvozování – proces, ve kterém odvozujeme závěry na základě vágních předpokladů
- **zevšeobecněný modus ponens** – pro vyvozování s fuzzy množinami
A, B, A', B' fuzzy množiny; X, Y slovní proměnné
- na základě míry shody předpokladu X je A s aktuálním pozorováním X je A' modifikujeme závěr Y je B v pravidle a získáme hodnotu B' proměnné Y

Pravidlo	jestliže X je A, potom Y je B
Pozorování	<u>X je A'</u>
Závěr	Y je B'

- srovnání metod *modus ponens* a *zevšeobecněný modus ponens*

p	q	$p \Rightarrow q$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

modus ponens

$$p \Rightarrow q$$

$$p$$

$$q$$

zevšeobecněný modus ponens

$$p \Rightarrow q$$

$$p'$$

$$q'$$

Kompoziční pravidlo odvozování a Mamdaniho metoda

- prakticky je třeba matematicky interpretovat slovní hodnoty množin A, B a definovat pravidlo fuzzy relace R mezi proměnnými X, Y
- *kompoziční pravidlo odvozování* – pro určení hodnoty B' proměnné Y, která koresponduje s hodnotou A' proměnné X (použití dvě t-normy T a T*)
- B' je sup-**T** složením fuzzy množiny A' a fuzzy relace R, $B' = A' \circ R$
- relace je vyjádřena pomocí kartézského součinu na **T*** $\mu_{R(A,B)}(x, y) = T^*(\mu_A(x), \mu_B(y))$

(X, Y) je $R(A, B)$

X je A'

Y je B' , $B' = A' \circ_T R(A, B)$

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} T(\mu_{A'}(x), T^*(\mu_A(x), \mu_B(y)))$$

Volbou za $T = T^* = T_M$ dostáváme Mamdaniho metodu

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \min(\mu_{A'}(x), \min(\mu_A(x), \mu_B(y)))$$

Pro $T = T_M$ a $T^* = T_P$ jde o Larsenovu metodu

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \min(\mu_{A'}(x), \mu_A(x) \cdot \mu_B(y))$$

- **Mamdaniho metoda** používá minimové t-normy
- báze s k pravidly pro n vstupních proměnných a jednu výstupní proměnnou

P_1 : jestliže X_1 je A_{11} a X_2 je A_{21} a ... a X_n je A_{n1} , potom Y je B_1

P_2 : jestliže X_1 je A_{12} a X_2 je A_{22} a ... a X_n je A_{n2} , potom Y je B_2

...

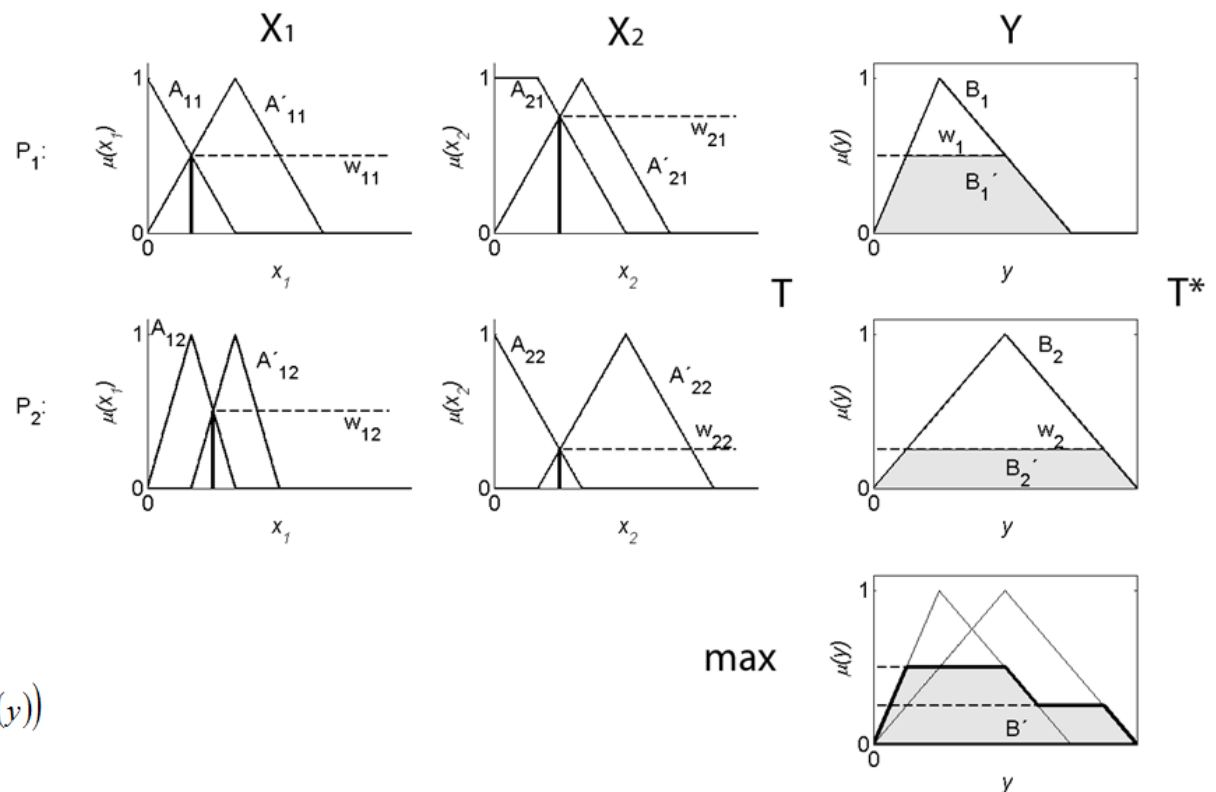
P_k : jestliže X_1 je A_{1k} a X_2 je A_{2k} a ... a X_n je A_{nk} , potom Y je B_k

X_1 je A'_1 a X_2 je A'_2 a ... a X_n je A'_n

Y je B'

Mamdaniho metoda

- schéma obecného regulátoru se dvěma pravidly, dvěma vstupními proměnnými a jednou výstupní proměnnou
- pro Mamdaniho metodu je $T = T^* = T_M$



$$w_1 = T(w_{11}, w_{21})$$

$$w_2 = T(w_{12}, w_{22})$$

$$\mu_{B_1'}(y) = T^*(w_1, \mu_{B_1}(y))$$

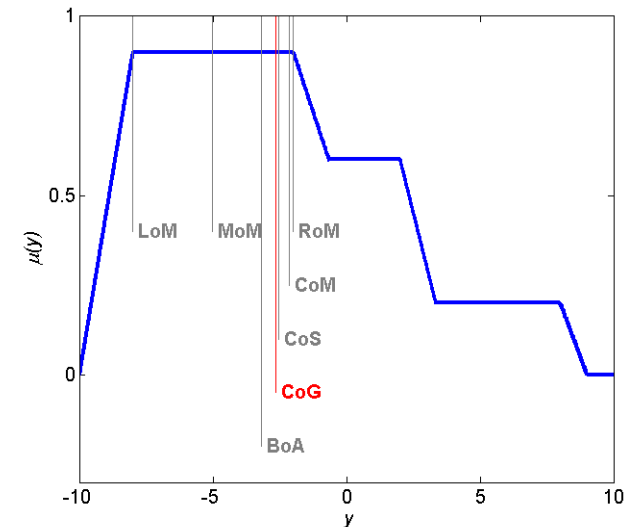
$$\mu_{B_2'}(y) = T^*(w_2, \mu_{B_2}(y))$$

$$\mu_{B'}(y) = \max(\mu_{B_1'}(y), \mu_{B_2'}(y))$$

$$\mu_{B'}(y) = \max_{j=1}^2 T^*(T(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{B_j}(y))$$

Defuzifikace

- výsledkem odvozování i při ostrých vstupech jsou fuzzy výstupy – potřeba **defuzifikace** – různé metody a využití
- **metody hledající nejpřijatelnější řešení**
 - *metody nejvýznamnějšího maxima* s výběrem největší hodnoty funkce příslušnosti ležící nejvíce vlevo, uprostřed nebo vpravo – *Left of Maximum (LoM)*, *Mean of Maximum (MoM)*, *Right of Maximum (RoM)*
- **metody nejlepšího kompromisu – metody těžiště**
 - *Center of Gravity (CoG) (Centroid)* – těžiště plochy (těžiště obrazce daného sjednocením dílčích ploch, které jsou ohraničeny jednotlivými funkcemi příslušnosti)
 - ***Center of Sums (CoS)*** – těžiště součtů (těžiště obrazce určeného funkcí, která se rovná součtu jednotlivých funkcí příslušnosti v pravidlech)
 - ***Center of Maximum (CoM)*** – těžiště singletonů (těžiště typických hodnot, např. MoM, pro jednotlivé funkce příslušnosti pravidel)
 - *Bisector of Area (BoA)* vyjadřuje rozdělení plochy obrazce na dvě části se stejným obsahem.



Aplikace fuzzy metod při řešení obtížnosti cyklotrasy

- *plánování cyklotrasy* - zvažujeme čas, počasí, délku trasy, zajímavá místa, kvalitu prostředí, ale také její *obtížnost trasy*
- umožňuje posoudit, zda je trasa vhodná pro *rodiny s dětmi*, pro *rekreační sportovce* případně pro *aktivní sportovce*
- 2003 a 2005 proběhl sběr dat o průbězích cyklotras a jejich vybavenosti, 2007 byla data aktualizována o stav povrchu a obtížnost cyklotrasy
- webový portál cykloturistiky Jihomoravského kraje <http://www.cyklo-jizni-morava.cz> včetně mapové aplikace
- realizace firmou VARS – aktualizované trasy, vyhledávání tras a zájmové objekty v okolí
- *průzkum známých cyklotras* – ověřeno, že charakteristika obtížnosti plně nesouhlasí s realitou - časový vývoj, subjektivní pohled, náročný sběr dat v terénu
- potřeba využít jiného postupu – například pomocí *fuzzy množin a odvozování*
- obtížnost závisí především na **sklonu svahu** (převýšení) a **kvalitě povrchu** trasy, které byly zvoleny jako vstupy do této rastrové analýzy

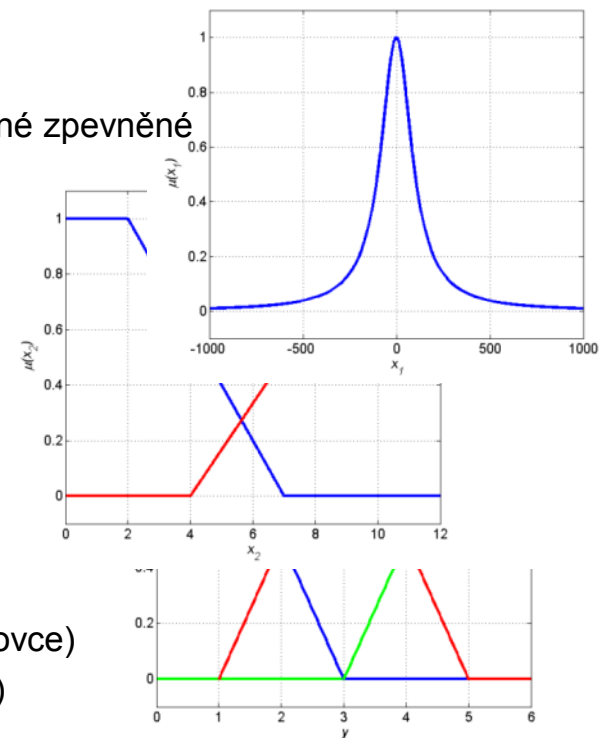
Průběh funkce příslušnosti

- dvě vstupní proměnné, X_1 pro typ povrchu komunikace a X_2 pro sklon svahu (obě zadané ostrými hodnotami) a výstupní proměnnou Y pro obtížnost trasy zadané slovními hodnotami a pravidla vyjadřující jejich vztah takto

- **typ povrchu komunikace** (*data StreetNet 2012*)
 - zpevněné komunikace (asfalt, dlažba, beton), příp. poškozené zpevněné
 - udržované komunikace (nezpevněný povrch, štěrk)
 - ostatní nezpevněné komunikace (lesní, polní cesty)

- **sklon svahu** (*DMT, ve stupních, velikost buňky 10 m*)
 - svah mírný
 - svah příkrý

- **obtížnost cyklotrasy**
 - cyklotrasy s malou obtížností (vhodné pro rodiny s dětmi)
 - cyklotrasy se střední obtížností (vhodné pro rekreační sportovce)
 - cyklotrasy s velkou obtížností (vhodné pro aktivní sportovce)



st malá
st střední
st velká

Použité metody

- použili jsme různé regulátory a metody defuzzifikace
- vyhodnocení po pravidlech
- 7 různých metod
- nejlepší výsledky dávaly první 3 metody

Mamdaniho metoda (COS-TM-TM, COM-TM-TM)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{i=1}^k T_M(T_M(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{i=1}^k \min(\min(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y))$$

Larsenova metoda (COS-TP-TM)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_P(T_M(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k (\min(w_{1j}, w_{2j}) \cdot \mu_{D_j}(y))$$

Součinnová t-norma se součinnovou t-normou (COS-TP-TP)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_P(T_P(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k (w_{1j} \cdot w_{2j} \cdot \mu_{D_j}(y))$$

Łukasiewiczova t-norma s minimovou t-normou (COS-TL-TM)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_L(T_M(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \max(0, \min(w_{1j}, w_{2j}) + \mu_{D_j}(y) - 1)$$

Łukasiewiczova t-norma se součinnovou t-normou (COS-TL-TP)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_L(T_P(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \max(0, w_{1j} \cdot w_{2j} + \mu_{D_j}(y) - 1)$$

Łukasiewiczova t-norma s Łukasiewiczovou t-normou (COS-TL-TL)

$$\mu_{D'}(y) = \max_{j=1}^k T_L(T_L(w_{1j}, w_{2j}), \mu_{D_j}(y)) = \max_{j=1}^k \max(0, \max(0, w_{1j} + w_{2j} - 1) + \mu_{D_j}(y) - 1)$$

Báze pravidel Mamdaniho metody

- Zvoleno 6 pravidel s proměnnými
- Pravidla
 - P_1 : jestliže jsou X_1 **zpevněné komunikace** a X_2 svah **mírný**, potom je **obtížnost** cyklotrasy Y **malá**
 - P_2 : jestliže jsou X_1 **udržované komunikace** a X_2 svah **mírný**, potom je **obtížnost** cyklotrasy Y **malá**
 - P_3 : jestliže jsou X_1 **nezpevněné komunikace** a X_2 svah **mírný**, potom je **obtížnost** cyklotrasy Y **střední**
 - P_4 : jestliže jsou X_1 **zpevněné komunikace** a X_2 svah **příkrý**, potom je **obtížnost** cyklotrasy Y **střední**
 - P_5 : jestliže jsou X_1 **udržované komunikace** a X_2 svah **příkrý**, potom je **obtížnost** cyklotrasy Y **velká**
 - P_6 : jestliže jsou X_1 **nezpevněné komunikace** a X_2 svah **příkrý**, potom je **obtížnost** cyklotrasy Y **velká**
- Pozorování
 - X_1 je **málo zpevněné** povrch komunikace, potom X_2 je **velmi mírný** sklon svahu
- Závěr
 - Y je **docela malá** obtížnost cyklotrasy

Mamdaniho metoda COS-TM-TM a COM-TM-TM

- metoda COS-TM-TM využívá minimové t-normy a defuzzifikaci CoS (Center of Sums), což znamená výpočet

$$y_{D_j'}^{CoS} = \frac{\sum_{1 \leq j \leq 6} \left(\int_Y \mu_{D_j'}(y) y \, dy \right)}{\sum_{1 \leq j \leq 6} \left(\int_Y \mu_{D_j'}(y) \, dy \right)} = \frac{\int_Y \mu_{D_1'}(y) y \, dy + \int_Y \mu_{D_2'}(y) y \, dy + \int_Y \mu_{D_3'}(y) y \, dy + \int_Y \mu_{D_4'}(y) y \, dy + \int_Y \mu_{D_5'}(y) y \, dy + \int_Y \mu_{D_6'}(y) y \, dy}{\int_Y \mu_{D_1'}(y) \, dy + \int_Y \mu_{D_2'}(y) \, dy + \int_Y \mu_{D_3'}(y) \, dy + \int_Y \mu_{D_4'}(y) \, dy + \int_Y \mu_{D_5'}(y) \, dy + \int_Y \mu_{D_6'}(y) \, dy}$$

- metoda COM-TM-TM používá využívá minimové t-normy s defuzzifikací CoM (Center of Maximum) za použití hodnoty nejvýznamnějšího maxima MoM (Mean of Maximum)

$$y_{D_j'}^{CoM} = \frac{\sum_{j=1}^k y_j \cdot \mu_{D_j'}(y_j)}{\sum_{j=1}^k \mu_{D_j'}(y_j)} = \frac{y_1 \cdot \mu_{D_1'}(y_1) + y_2 \cdot \mu_{D_2'}(y_2) + y_3 \cdot \mu_{D_3'}(y_3) + y_4 \cdot \mu_{D_4'}(y_4) + y_5 \cdot \mu_{D_5'}(y_5) + y_6 \cdot \mu_{D_6'}(y_6)}{\mu_{D_1'}(y_1) + \mu_{D_2'}(y_2) + \mu_{D_3'}(y_3) + \mu_{D_4'}(y_4) + \mu_{D_5'}(y_5) + \mu_{D_6'}(y_6)}$$

Mamdaniho metoda COS-TM-TM

- celková váha j -tého pravidla je minimem jednotlivých měr předpokladů (komunikace, svah) w_{1j}, w_{2j} tohoto pravidla (pro jednoduchost je označena w). Funkce příslušnosti závěru j -tého pravidla je $\mu_{D_j}(y) = \min(w_j, \mu_{D_j}(y))$. Příslušnost $\mu_{D_j}(y)$ je zjednodušeně označena $\mu(y)$
- v prvním a druhém pravidle vyhodnocujeme malou obtížnost

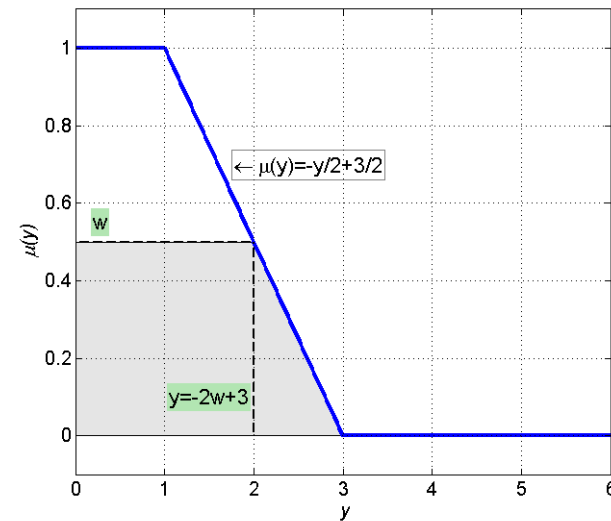
$$\int_0^{-2w+3} w y \, dy + \int_{-2w+3}^3 \left(-\frac{y}{2} + \frac{3}{2}\right) y \, dy \quad (A)$$

a

$$\int_0^{-2w+3} w \, dy + \int_{-2w+3}^3 \left(-\frac{y}{2} + \frac{3}{2}\right) dy \quad (B)$$

$$A = w \left[\frac{y^2}{2} \right]_0^{-2w+3} + \left[-\frac{y^3}{6} + \frac{3y^2}{4} \right]_{-2w+3}^3 = \frac{2}{3}w^3 - 3w^2 + \frac{9}{2}w$$

$$B = w \left[y \right]_0^{-2w+3} + \left[-\frac{y^2}{4} + \frac{3y}{2} \right]_{-2w+3}^3 = -w^2 + 3w$$



Mamdaniho metoda COS-TM-TM

- ve třetím a čtvrtém pravidle hodnotíme střední obtížnost

$$\int_1^{2w+1} \left(\frac{y}{2} - \frac{1}{2} \right) y \, dy + \int_{2w+1}^{-2w+5} w y \, dy +$$

$$+ \int_{-2w+5}^5 \left(-\frac{y}{2} + \frac{5}{2} \right) y \, dy \quad (C)$$

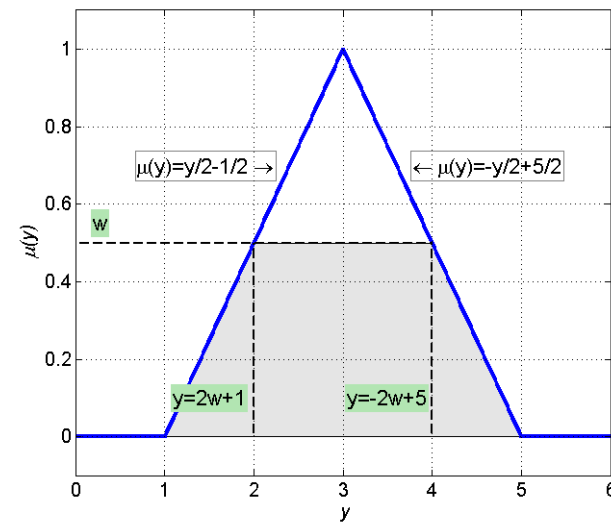
a

$$\int_1^{2w+1} \left(\frac{y}{2} - \frac{1}{2} \right) dy + \int_{2w+1}^{-2w+5} w \, dy +$$

$$+ \int_{-2w+5}^5 \left(-\frac{y}{2} + \frac{5}{2} \right) dy \quad (D)$$

$$C = \left[\frac{y^3}{6} - \frac{y^2}{4} \right]_1^{2w+1} + w \left[\frac{y^2}{2} \right]_{2w+1}^{-2w+5} + \left[-\frac{y^3}{6} + \frac{5y^2}{4} \right]_{-2w+5}^5 = -6w^2 + 12w$$

$$D = \left[\frac{y^2}{4} - \frac{y}{2} \right]_1^{2w+1} + w \left[y \right]_{2w+1}^{-2w+5} + \left[-\frac{y^2}{4} + \frac{5y}{2} \right]_{-2w+5}^5 = -2w^2 + 4w$$



Mamdaniho metoda COS-TM-TM

- v pátém a šestém pravidle vyhodnocujeme cyklotrasy s velkou obtížností

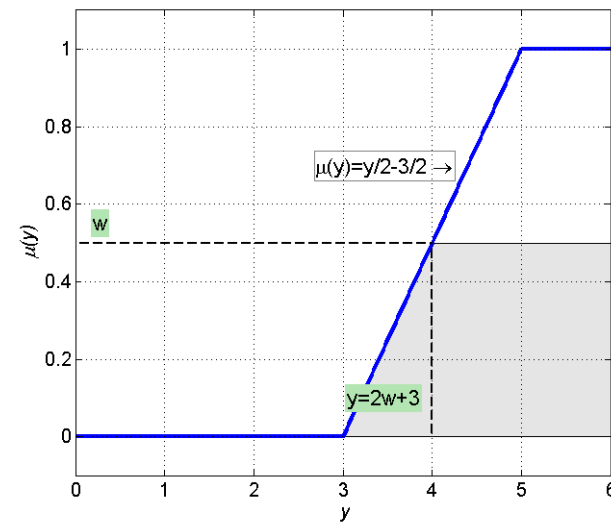
$$\int_3^{2w+3} \left(\frac{y}{2} - \frac{3}{2} \right) y \, dy + \int_{2w+3}^6 w y \, dy \quad (E)$$

a

$$\int_3^{2w+3} \left(\frac{y}{2} - \frac{3}{2} \right) dy + \int_{2w+3}^6 w \, dy \quad (F)$$

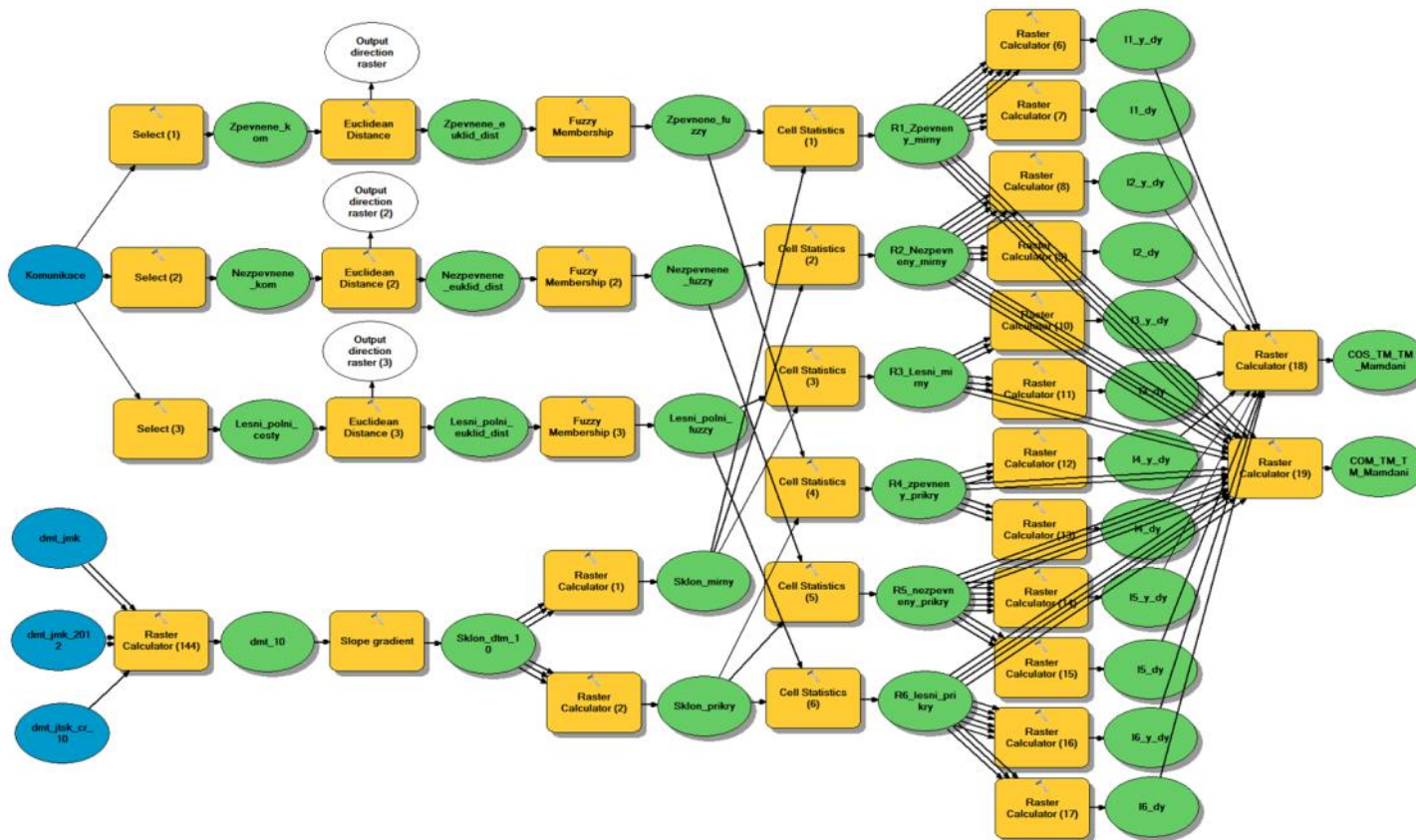
$$E = \left[\frac{y^3}{6} - \frac{3y^2}{4} \right]_3^{2w+3} + w \left[\frac{y^2}{2} \right]_{2w+3}^6 = -\frac{2}{3}w^3 - 3w^2 + \frac{27}{2}$$

$$F = \left[\frac{y^2}{4} - \frac{3y}{2} \right]_3^{2w+3} + w[y]_{2w+3}^6 = -w^2 + 3w$$



Mamdaniho metoda COS-TM-TM a COM-TM-TM

- model Mamdaniho metod

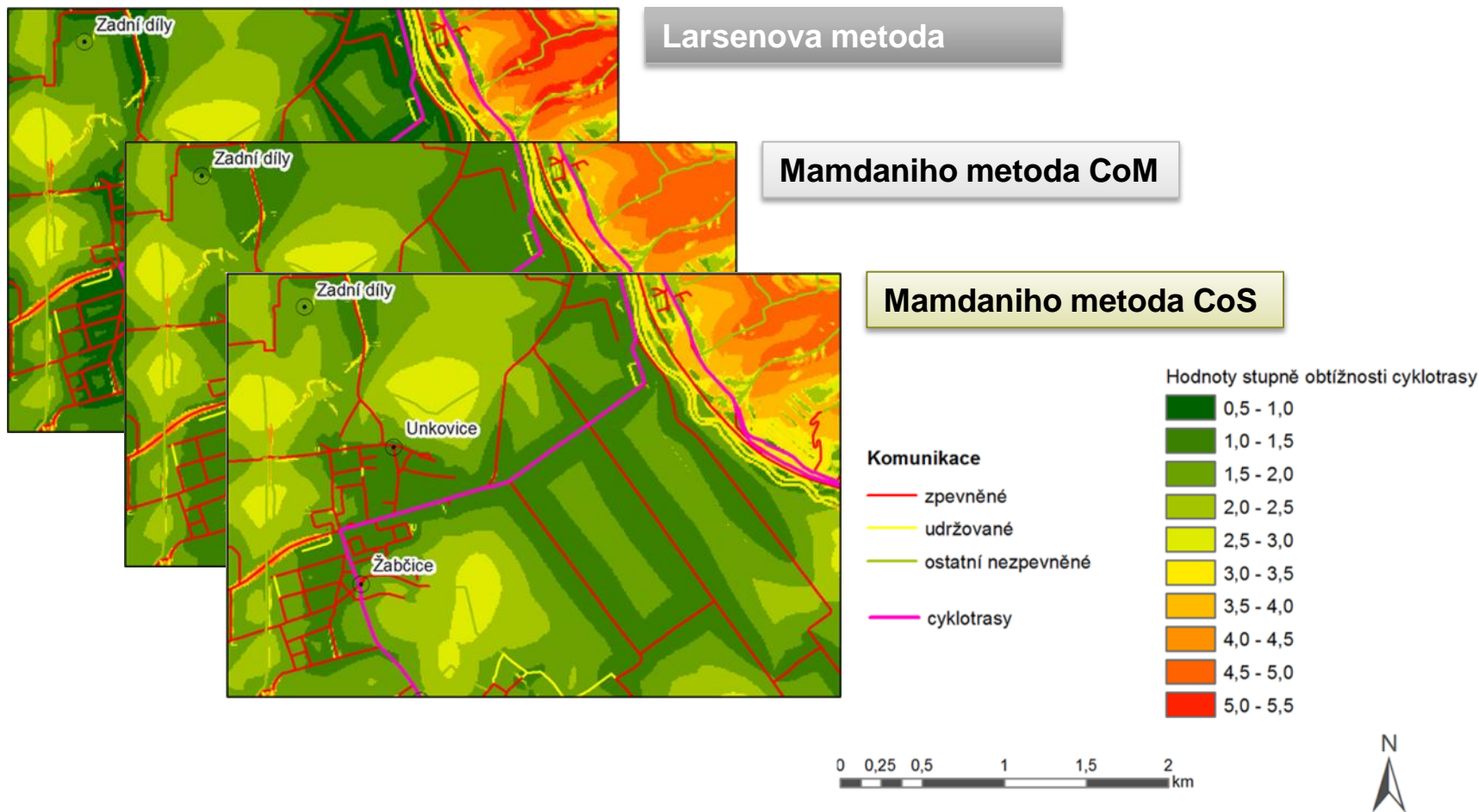


Srovnání 3 nejvýznamnějších metod

- pro srovnání byla vybrána *data známých úseků cyklotras*, které bylo možné zařadit v jejich převážné délce do jedné z kategorií obtížnosti s cílem výběru nejvhodnější metody
- ze *základních statistických charakteristik* a také z odpovídajících *histogramů* rozdělení četností dat bylo zjištěno, že je dobře reprezentativní **Mamdaniho metoda** s defuzzifikací **CoS**, ale i s defuzzifikací **CoM**, kde je vidět větší rozpětí hodnot a vyšší četnosti v intervalech největšího výskytu
- Larsenova metoda* se nehodí pro cyklotrasy se střední obtížností, zvýrazňuje cyklotrasy malé a velké obtížnosti.
- Pro lepší srovnání byl pro jednotlivé obtížnosti a metody určen *procentuální podíl cyklotras vyhovujících zvolené příslušnosti* podle funkcí (obtížnost malá, střední, velká) vzhledem k celému jejich výběru. Výsledky pro příslušnost z intervalu 0,25 až 1 jsou v tabulce

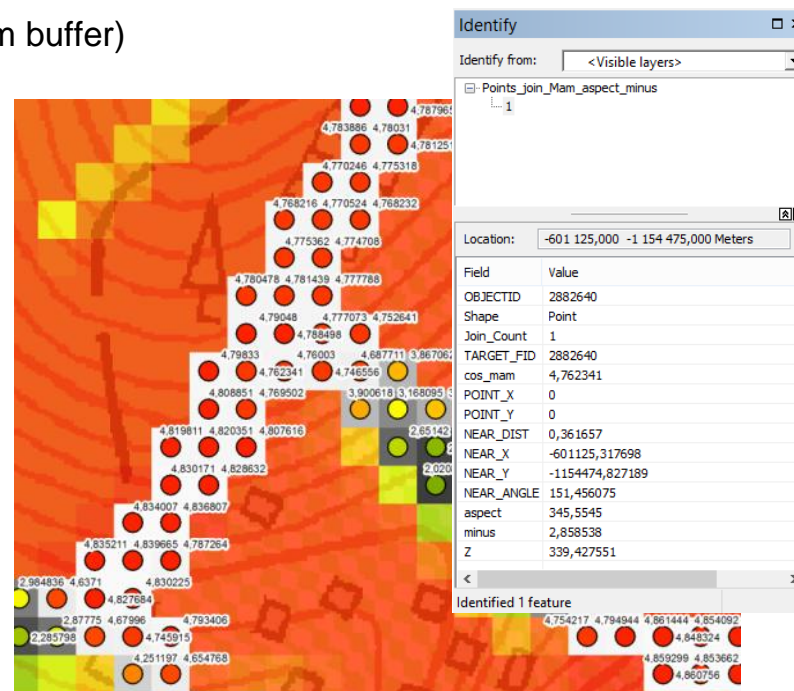
obtížnost	malá	střední	velká	všechny
COS-TM-TM	96,6 %	83,7 %	73,7 %	84,1 %
COM-TM-TM	97,1 %	75,0 %	74,5 %	76,0 %
COS-TP-TM	97,1 %	67,9 %	74,8 %	69,4 %

Rastr obtížnosti – srovnání 3 nejvýznamnějších metod



Řešení obtížnosti komunikací – body s atributy

- pro další analytické zpracování zvolíme obtížnost cyklotrasy získanou **Mamdaniho metodou s defuzzifikací CoS**
- cílem je ohodnocení všech komunikací (nejen cyklotras) sítě StreetNet na území kraje
- **ModelBuilder**
 - z rastru získáme buňky v okolí komunikací (10 m buffer) a převedeme je na body s hodnotou obtížnosti
 - každému bodu je přidána hodnota směru sklonu svahu a vzdálenost od linie cesty
 - vypočítáme hodnotu rozdílu mezi Mamdaniho rastrem a jeho „nulovým“ provedením nezávislým na nadmořské výšce, která vyjadřuje zvýšení obtížnosti ve srovnání s plochým terénem



Řešení obtížnosti komunikací – fuzzy aritmetický průměr

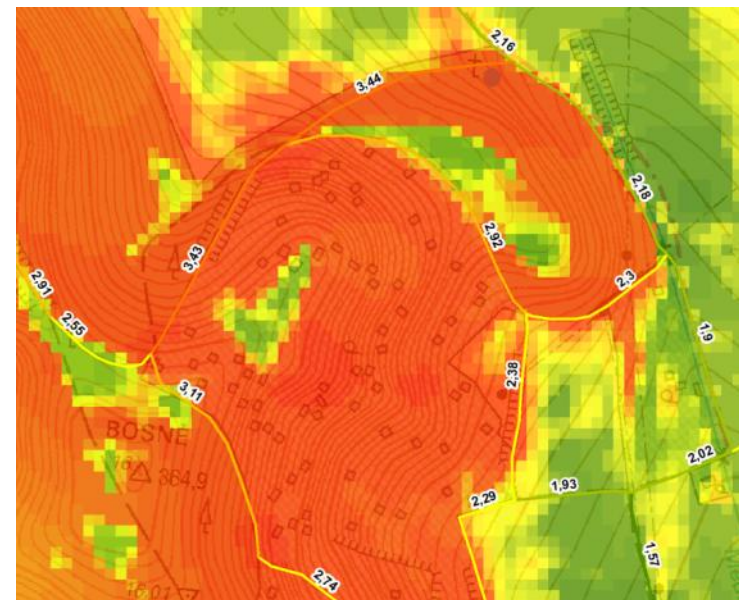
- **Python** - open-source programovací jazyk jako silný a jednoduchý nástroj
 - iterace – procházení jednotlivých bodů z bufferu v okolí linie podle ID – vznikne tabulka s novou obtížností úseků cyklotras
 - aritmetický průměr – jen hrubá hodnota obtížnosti (BTD_MEAN)
 - vážený fuzzy aritmetický průměr (BTD_FUZZY_MEAN) podle vzdálenosti od linie
 - ve vzdálenosti 10 metrů je příslušnost rovna 0, na linii je rovna 1
 - problém při hodnocení míst se stejným sklonem i kvalitou cesty, ale *rozdílným směrem cesty vzhledem ke sklonu svahu*
 - ve směru *vrstevnice* je příliš vysoká obtížnost - obtížnost „nulového“ Mamdaniho rastru
 - ve směru *spádnice* – obtížnost Mamdaniho rastru
 - obtížnost v jednotlivých bodech je na jednotlivých úsecích závislá na rozdílu Mamdaniho a jeho „nulového“ rastru a úhlu mezi směrem sklonu svahu a azimutem cesty
 - vážený fuzzy aritmetický průměr – stanovena výsledná obtížnost (BTD_FCL_MEAN)

Řešení obtížnosti komunikací – fuzzy aritmetický průměr

- nakonec připojeny redukce chyb
 - na mostech a v tunelech (Mamdaniho rastr v okolí koncových bodů, „nulový“ rastr v okolí linie)
 - redukce příliš krátkých úseků
- dalšího zpřesnění lze dosáhnout zvýšením počtu slovních hodnot a pravidel
- rezervy jsou v místech křižovatek cest různých typů povrchu, v členitém terénu nebo v hledání souvislostí převýšení a délky cesty na úseku trasy

Field	Value
ID	124321
kod_tr	4
x1	-601033,0409
y1	-1154337,528
x2	-600810,6875
y2	-1154493,75
z1	314,093842
z2	289,039307
nazev1	Brno
nazev2	Brno
POVRCH	2
OBTIZNOST	2
NEBEZPECI	0
joined	0
TURIST	
BTD_MEAN	3,94
BTD_FUZZY_MEAN	3,89
BTD_FCL_MEAN	2,92
Shape_Length	307,300095

Identified 7 features



Řešení obtížnosti komunikací – ukázka Python skriptu

```
# Merge intersects
arcpy.Merge_management([intersect_sd, intersect_point_bt, intersect_line_bt])
# Insert row - end of merge_intersects table:
rows_insert = arcpy.InsertCursor(merge_intersects)
row0 = rows_insert.newRow()
row0.ROAD_ID = 9999999999
rows_insert.insertRow(row0)

# Execute CreateTable btd
arcpy.CreateTable_management(btd_table_path, btd_table_name, btd_table_template)
# Add fields to btd table
arcpy.AddField_management(btd_new, "ROAD_ID", "FLOAT", "", "")
arcpy.AddField_management(btd_new, "BTD_FCL_MEAN", "FLOAT", "", "")

start = True
# Open a searchcursor
rows_search_2 = arcpy.SearchCursor(merge_intersects, "", "", "ROAD_ID; bearing A; btd")

# Bike trail difficulty
for row in rows_search_2:
    if state != row.ROAD_ID:
        if start == False:
            btd_mean = round(suma/i, 2)
            btd_fuzzy_mean = round(numerator_mean/denominator_mean, 2)
            btd_fcl = round(numerator_fcl/denominator_fcl, 2)
            btd_fcl_flat = round(numerator_fcl_flat/denominator_fcl_flat, 2)
            # finish of the short bridge or tunnel road
            btd_fcl_short = row.btd.BTD_FCL_MEAN = ((btd_fcl - btd_fcl_flat) * membership)
            # short roads 15 - 30 points
            btd_fcl_short = round(btd_fcl_short, 2)
            rows_insert_btd = arcpy.InsertCursor(btd_new)
            row_btd = rows_insert_btd.newRow()
            row_btd.ROAD_ID = state
            row_btd.BTD_MEAN = btd_mean
            row_btd.BTD_FUZZY_MEAN = btd_fuzzy_mean
            if ((j > 0) & (j < 30)) | (i < 15): # few bridges and tunnels
                row_btd.BTD_FCL_MEAN = btd_fcl_flat
                print "1. ROAD_ID=%s, i=%s, j=%s, btd_fcl_flat=%s" % (state, i, j, btd_fcl_flat)
            elif (i < 45):
                row_btd.BTD_FCL_MEAN = btd_fcl_short
                print "2. ROAD_ID=%s, i=%s, j=%s, btd_fcl_flat&btd_fcl=%s" % (state, i, j, btd_fcl_flat)
            else:
                row_btd.BTD_FCL_MEAN = btd_fcl
                print "3. ROAD_ID=%s, i=%s, j=%s, btd_fcl=%s" % (state, i, j, btd_fcl)
            rows_insert_btd.insertRow(row_btd)
        start = False # begging
        state = row.ROAD_ID # start of the next road
        i = 1
        j = 0
        suma = row.cos_mam
        flat = row.cos_mam - row.minus
```

```
if row.flat > 0: # bridges and tunnels
    if row.NEAR_DIST != -1:
        j = j + 1
        membership = 1 - row.NEAR_DIST/10
        numerator_mean = flat * membership
        denominator_mean = membership
        numerator_fcl = flat * membership
        denominator_fcl = membership
        numerator_fcl_flat = flat * membership # required flat - few points
        denominator_fcl_flat = membership
    else:
        if row.aspect > 0:
            deviation = row.bearing - row.aspect # road bearing - slope aspect
            deviation = deviation % 180
            if deviation > 90:
                deviation = 180 - deviation
            if row.NEAR_DIST != -1:
                btd_down = row.cos_mam - deviation * (row.minus/90) # btd after decrease
                membership = 1 - row.NEAR_DIST/10
                numerator_mean = row.cos_mam * membership
                denominator_mean = membership
                numerator_fcl = btd_down * membership
                denominator_fcl = membership
                numerator_fcl_flat = flat * membership
                denominator_fcl_flat = membership
        else:
            i = i + 1
            suma = suma + row.cos_mam
            flat = row.cos_mam - row.minus + 0.0755356
            if row.flat > 0: # bridges and tunnels
                if row.NEAR_DIST != -1:
                    j = j + 1
                    membership = 1 - row.NEAR_DIST/10
                    numerator_mean = numerator_mean + flat * membership
                    denominator_mean = denominator_mean + membership
                    numerator_fcl = numerator_fcl + flat * membership
                    denominator_fcl = denominator_fcl + membership
                    numerator_fcl_flat = numerator_fcl_flat + flat * membership
                    denominator_fcl_flat = denominator_fcl_flat + membership
            else:
                if row.aspect > 0:
                    deviation = row.bearing - row.aspect # road bearing - slope aspect
                    deviation = deviation % 180
                    if deviation > 90:
                        deviation = 180 - deviation
                    if row.NEAR_DIST != -1:
                        btd_down = row.cos_mam - deviation * (row.minus/90) # btd after decrease
                        membership = 1 - row.NEAR_DIST/10
                        numerator_mean = numerator_mean + row.cos_mam * membership
                        denominator_mean = denominator_mean + membership
                        numerator_fcl = numerator_fcl + btd_down * membership
                        denominator_fcl = denominator_fcl + membership
                        numerator_fcl_flat = numerator_fcl_flat + flat * membership
                        denominator_fcl_flat = denominator_fcl_flat + membership
```




Itinerář

Zájmové body

Celková délka trasy: **4.43 km**
 Počátek: **E16°34'46.38 N49°14'49.4**
 Konec: **E16°37'7.59 N49°14'51.82**

Místo	Cyklo	Nav. km
Terezy Novákové (Brno)		0.02
Vážného (Brno)		0.45
Palackého náměstí (Brno)		0.61
Hapalova (Brno)		1.01
Hapalova (Brno)		1.11
Gromešova (Brno)		1.43
Jandáskova (Brno)		1.71
Jandáskova (Brno)		1.84
Jandáskova (Brno)		1.88
Brno		2.89
bez jmréna		3.76
Soběšice		4.14
Útěchovská (Soběšice)		4.29
Velkomoravská (Soběšice)		4.43

Schéma GPX Tisk

Závěr

- obtížnost cyklotrasy je důležitým údajem pro plánování cyklovýletu
- závisí především na kvalitě povrchu komunikace a sklonu svahu
- požadavky na cyklotrasu lze vyjádřit jednoduše slovně pravidly, která jsou zpracována s využitím teorie fuzzy množin a kompozičního pravidla odvozování, zvláště Mamdaniho metodou s defuzzifikací těžiště součtů a využitím integrálního počtu
- hlavním významem práce je využití výsledků a aktualizace dat na portálu cykloturistiky Jihomoravského kraje <http://www.cyklo-jizni-morava.cz/>
- analýza rozšiřuje obtížnost z cyklotras na komunikace a vzhledem k fuzzy přístupu vyjadřuje území kraje kompaktně jako celek v podobě rastrové mapy
- ještě významnější je klasifikace všech komunikací hodnotou obtížnosti jako aktualizovaného atributu a zkvalitnění routování tras na portálu v závislosti na požadované cílové skupině

