



# *Metody hodnocení vodní eroze pomocí GIS*

autor: Ing. Jiří Brychta  
vedoucí práce: Ing. Jan Pacina, Ph.D

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM

Fakulta životního prostředí

[www.gisservices.eu](http://www.gisservices.eu)

# Hlavní cíle



**Analýza vstupních dat**

dostupnost

způsob použití v GIS

**Arc Toolbox Vodní eroze**

modely jednotlivých metod a nástroje pro  
usnadnění vyhodnocování erozních analýz

software Model Builder

**Model pro návrh organizačních  
a agrotechnických PEO**

ekooptimalizaci území

GIS katastrů, obcí a regionů v ČR a SR

# Vodní eroze „v kostce“

- Destrukční činnost deště a povrchový odtok
  - transport půdních částic
  - následné usazování
  
- Intenzita vodní eroze závisí na:
  - Charakteru srážek
  - Charakteru povrchového odtoku
  - Půdních poměrech
  - Morfologii území
  - Vegetačních poměrech
  - Způsobu hospodaření
  
- Kvantifikace vodní eroze – dlouhodobý průměrný smyv půdy [ $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]



# Arc Toolbox Vodní eroze



**OAPEO**



Model pro návrh organizačních a agrotechnických PEO

- USLE
- Metoda dle Cp
- LS2



**USLE**



Model USLE

základní rovnice:  
Univerzální rovnice ztráty půdy



LS faktor 1  
LS faktor 2

výpočet topografického faktoru

vrstevnice DTM



**Metoda dle Cp**



Cp

Metoda přípustného faktoru ochranného vlivu vegetace



**USPED**



Plošná eroze

Stružková eroze

depozice / eroze  
změna indexu transportní kapacity



# Přehled použitých metod a rovnic pro aplikace

<i>Metoda</i>	<i>Rovnice</i>
USLE	$G = (R \times K \times L \times S \times C \times P) - G_p$
Metoda dle $C_p$	$C_p = G_p / (R \times K \times L \times S \times P)$
LS faktor	$LS = I_d^{0,5} / (0,00138 + 0,0097s + 0,00138s^2)$
USPED	$ED = d(TP \cdot \cos(a)) / dx + d(TP \cdot \sin(a)) / dy$
Index transportní kapacity	$TP = K_c A^m (\sin b)^n$
LS faktor	$LS = A(\sin b)$

## Vysvětlivky:

G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy [t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>]

R – faktor erozní účinnosti přívalového deště

K – faktor erodovatelnosti půdy

LS – topografický faktor, neboli faktor délky (L) a sklonu svahu (S)

C – faktor ochranného vlivu vegetace

P – faktor účinnosti protierozních opatření

$G_p$  – maximální přípustná ztráta půdy [t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>]

$C_p$  – maximální přípustná hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace

A – hustota povrchového odtoku

b – sklon svahu [°]

TP – index transportní kapacity

K<sub>c</sub> – kombinace faktoru K a C

b – sklon svahu [°]

m, n – empirické koeficienty lišící se podle typu uvažované eroze

ED – poměr odnos/usazení (erosion/deposition)

a – orientace svahu [°]

# Přehled použitých nástrojů

Extension	Toolbox	Tool
Spatial Analyst	Extraction	Extract by Mask
		Extract by Attributes
	Interpolation	Topo to Raster
	Hydrology	Basin
		Flow Accumulation
		Flow Direction
	Map Algebra	Raster Calculator
	Reclass	Reclassify
		Reclassify by Table
	Surface	Slope
		Hillshade
3D Analyst	Raster Interpolation	Topo to Raster
	Raster Reclass	Reclassify
	Raster Surface	Slope
Analysis	Extract	Clip
	Overlay	Union
		Intersect
	Proximity	Buffer
Data Management	Generalization	Dissolve
Conversion	To Raster	Feature to Raster
	From Raster	Raster to Polygon

# Zdrojová data

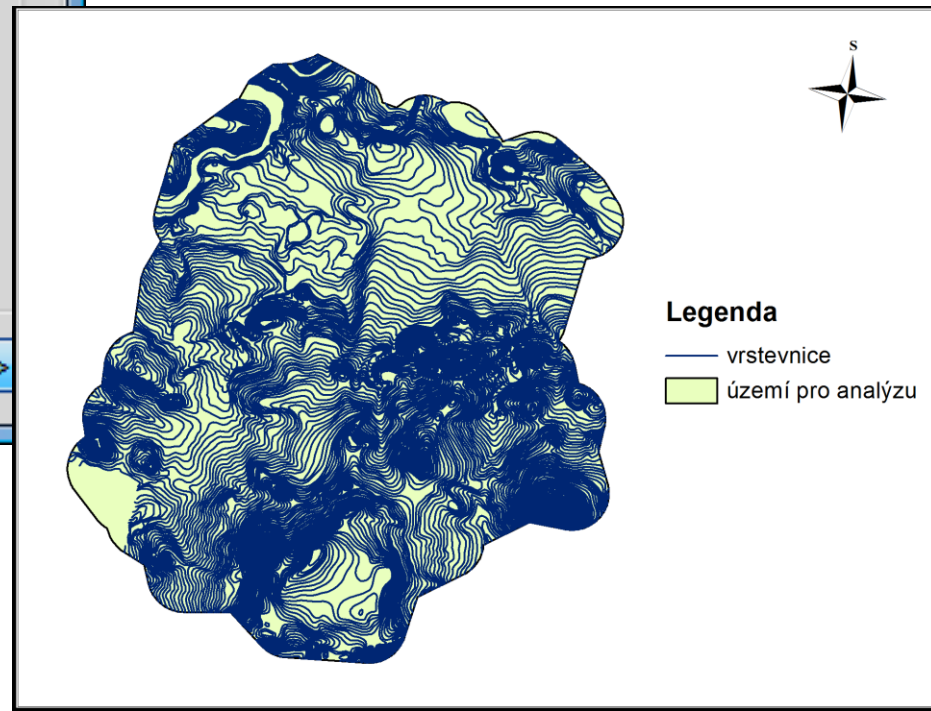
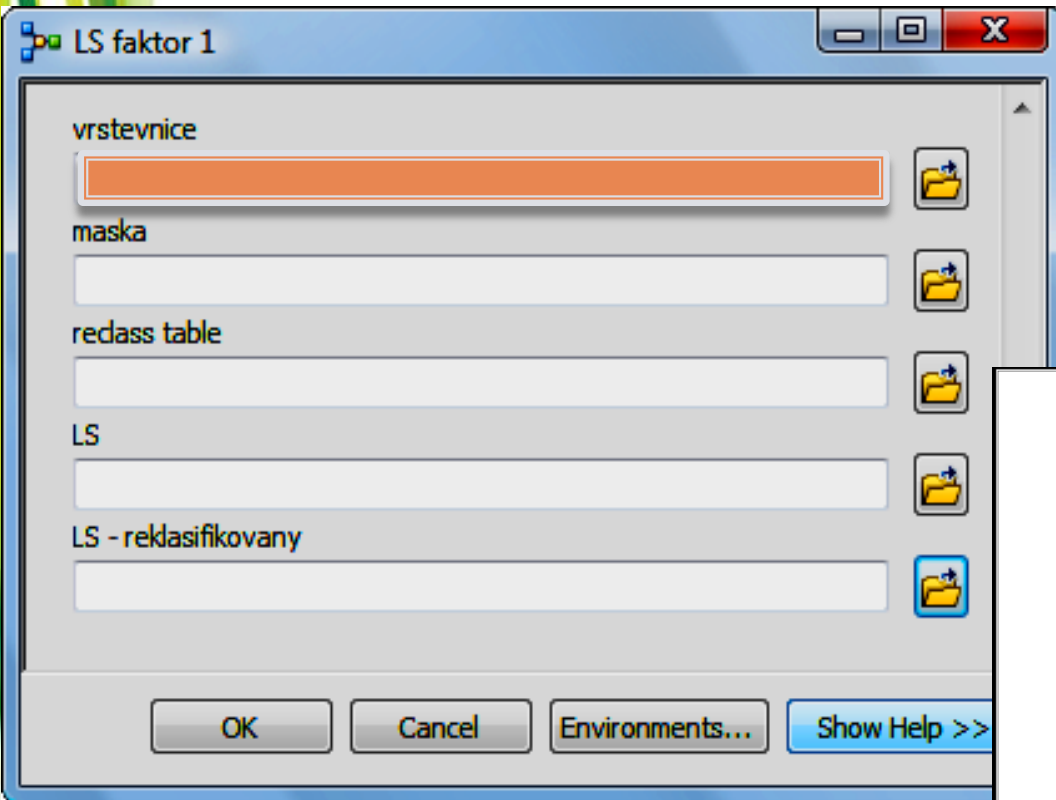
- vrstevnice (interval 5 m)
  - interpolace: Topo to Raster
  - velikost buňky výstupního rastru: 5 m
- mapa BPEJ (1:5 000)
  - 1. číslo – klimatické regiony (úhrny srážek)
  - 2. a 3. číslo – HPJ
  - 5. číslo – hloubka půdního profilu –  $G_p$
- mapa CLC 2006 (1:100 000)
- aktuální ortofoto, půdní bloky LPIS

# Zdrojová data

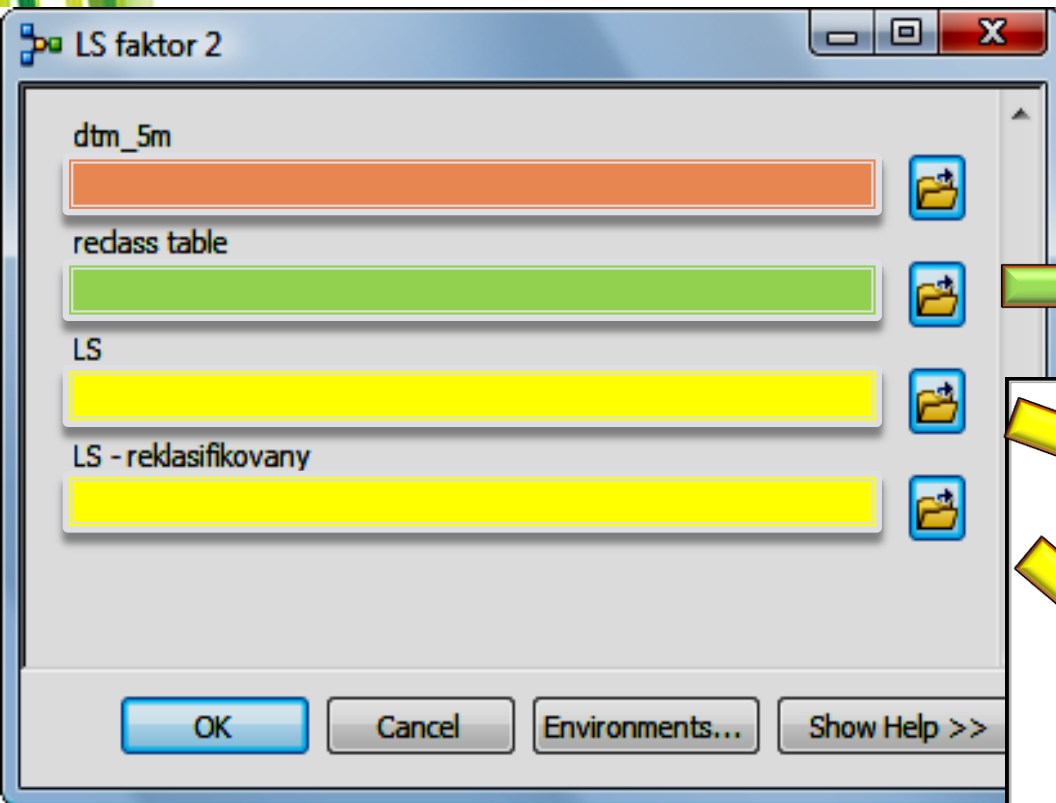
<i>Faktory pro výpočet</i>	<i>Popis zdroje dat</i>
<i>C – faktor ochranného vlivu vegetace</i>	<i>určeno dle tříd CLC (aktualizace dle ortofoto a půdních bloků LPIS) a klimatických regionů (1. číslo kódu BPEJ)</i>
<i>G<sub>p</sub> – maximální přípustná ztráta půdy</i>	<i>určeno na základě hloubky půdy (5. číslo kódu BPEJ)</i>
<i>K - faktor erodovatelnosti půdy</i>	<i>určeno na základě hlavní půdní jednotky (HPJ – 2. a 3. číslo kódu BPEJ)</i>
<i>LS - faktor délky a sklonu svahu</i>	<i>vypočteno z DMT nebo vrstevnic dle modelu LS1 nebo LS2</i>
<i>R - faktor erozní účinnosti přívalového deště</i>	<i>pro výpočet byly použity průměrné úhrny srážek klimatických regionů (1. číslo kódu BPEJ) a přepočteno dle vzorce: <b><math>R = 0,068 HR + 4,28</math> (MJ/ha·cm/h)</b> <i>kde HR je roční úhrn srážek (mm)</i></i>
<i>P – faktor účinnosti protierozních opatření</i>	<i>při výpočtu nebyla uvažována žádná aplikovaná protierozní opatření, a tedy <math>P = 1</math></i>



# Modely LS1 a LS2



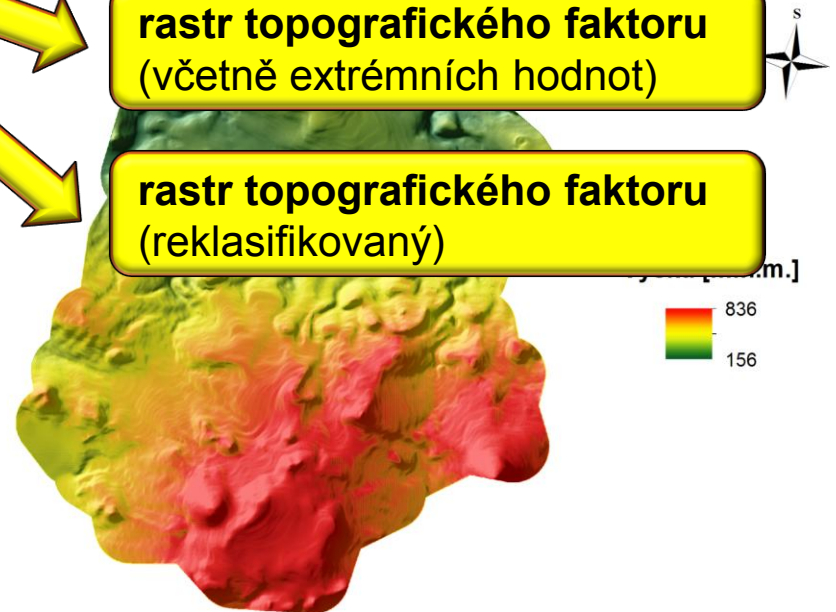
# Modely LS1 a LS2



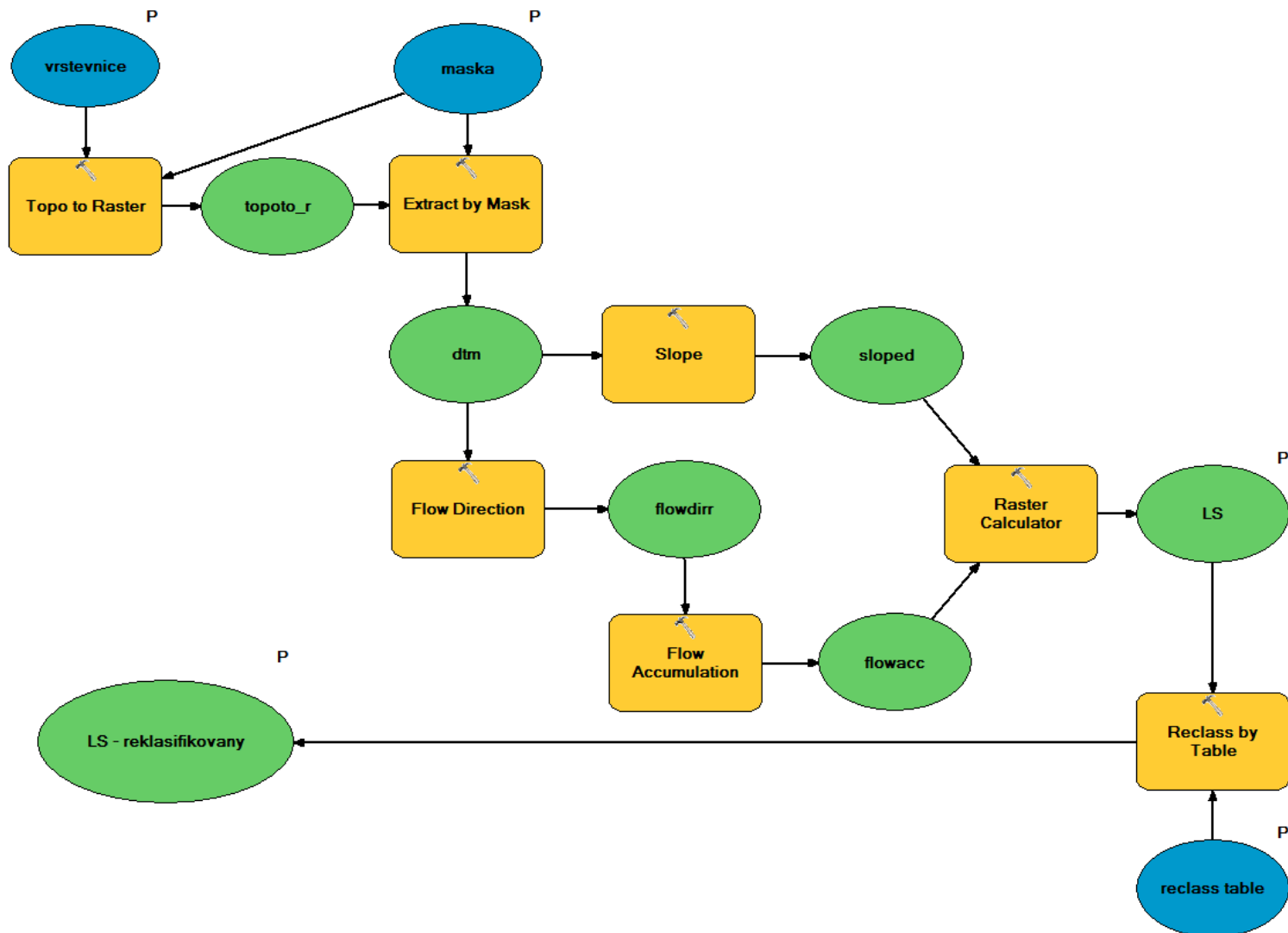
reklasifikace extrémních hodnot svažitosti nad 40 % (lze měnit v závislosti na prostředí)

rastr topografického faktoru (včetně extrémních hodnot)

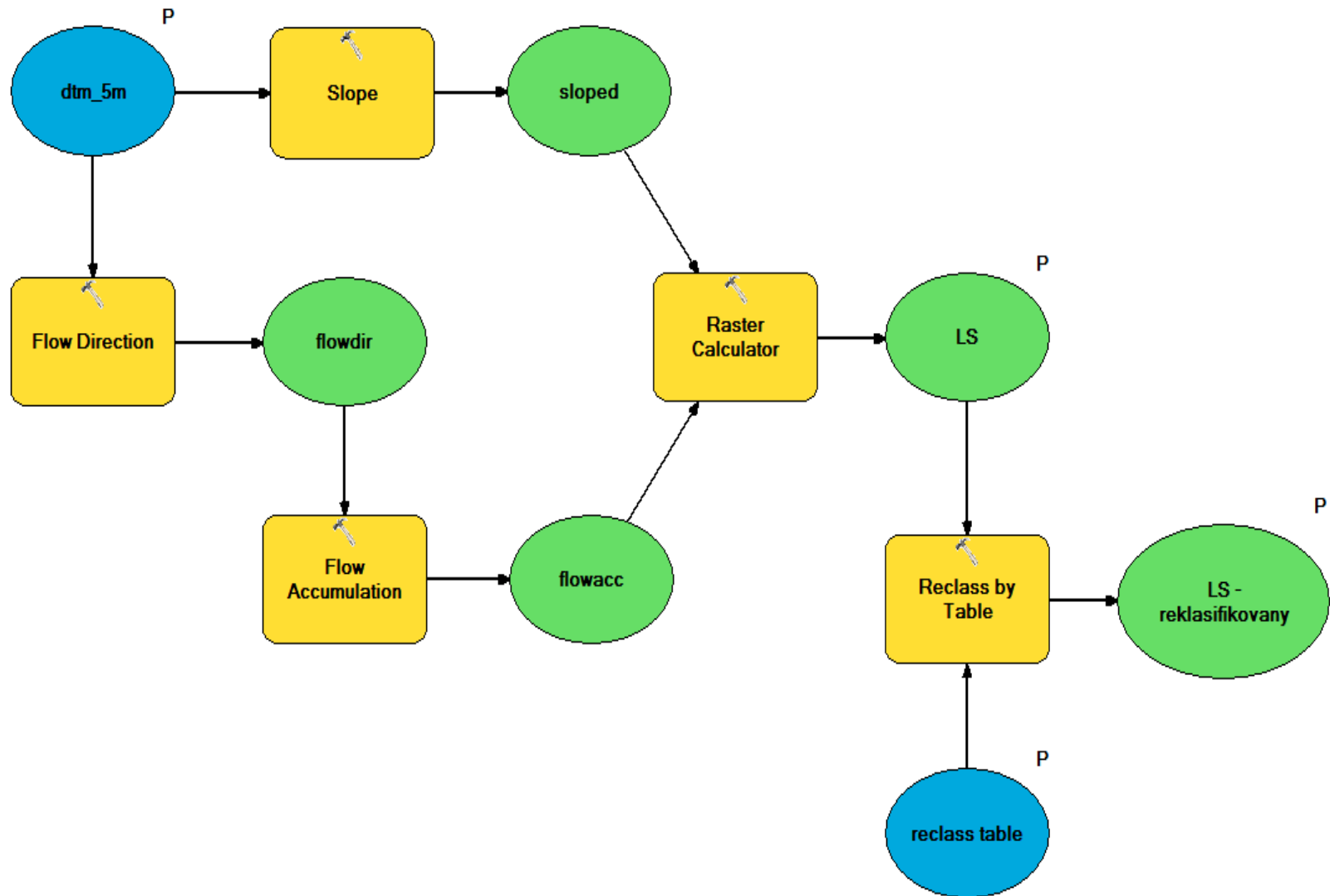
rastr topografického faktoru (reklasifikovaný)



# Modely LS 1 a LS 2

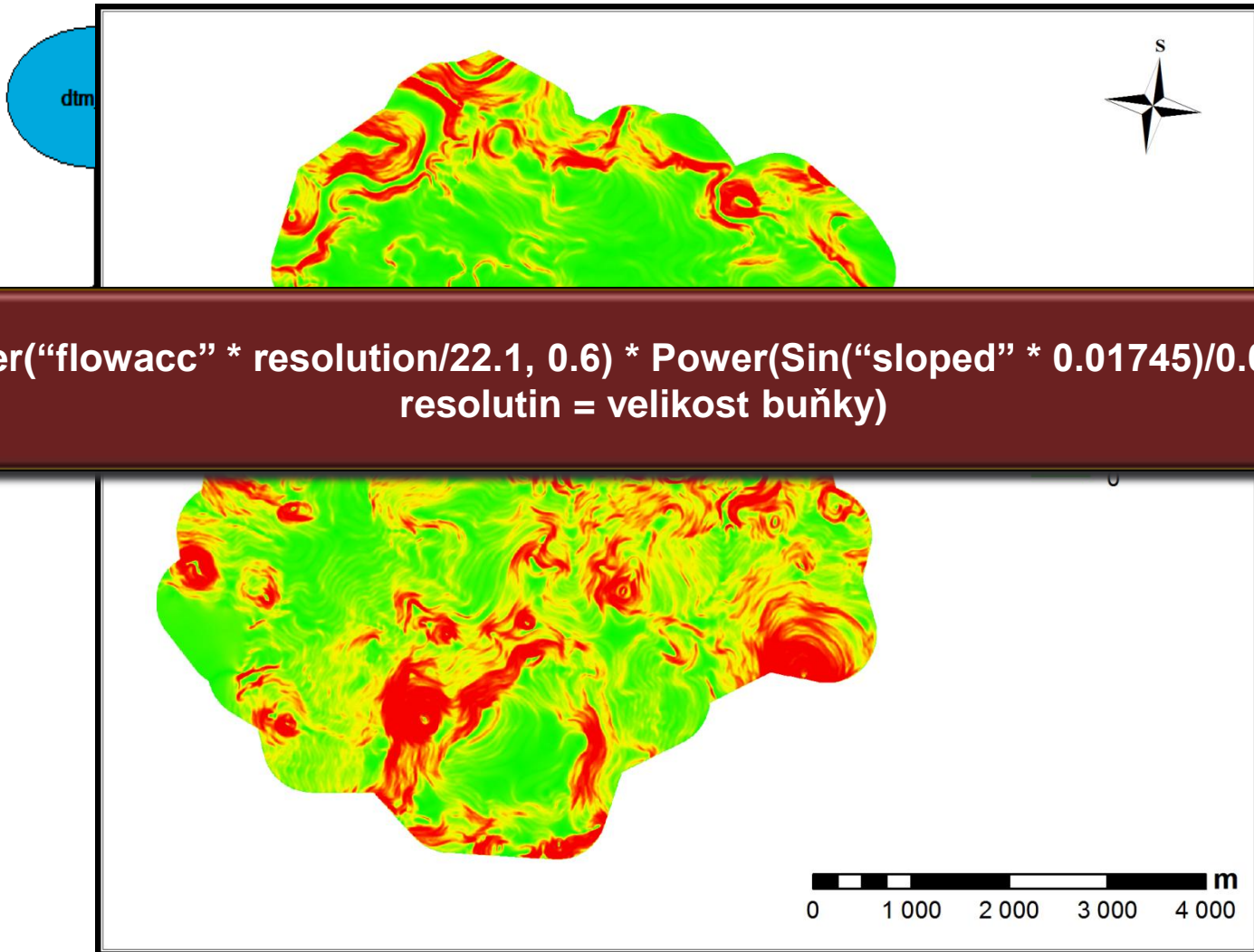


# Modely LS 1 a LS 2

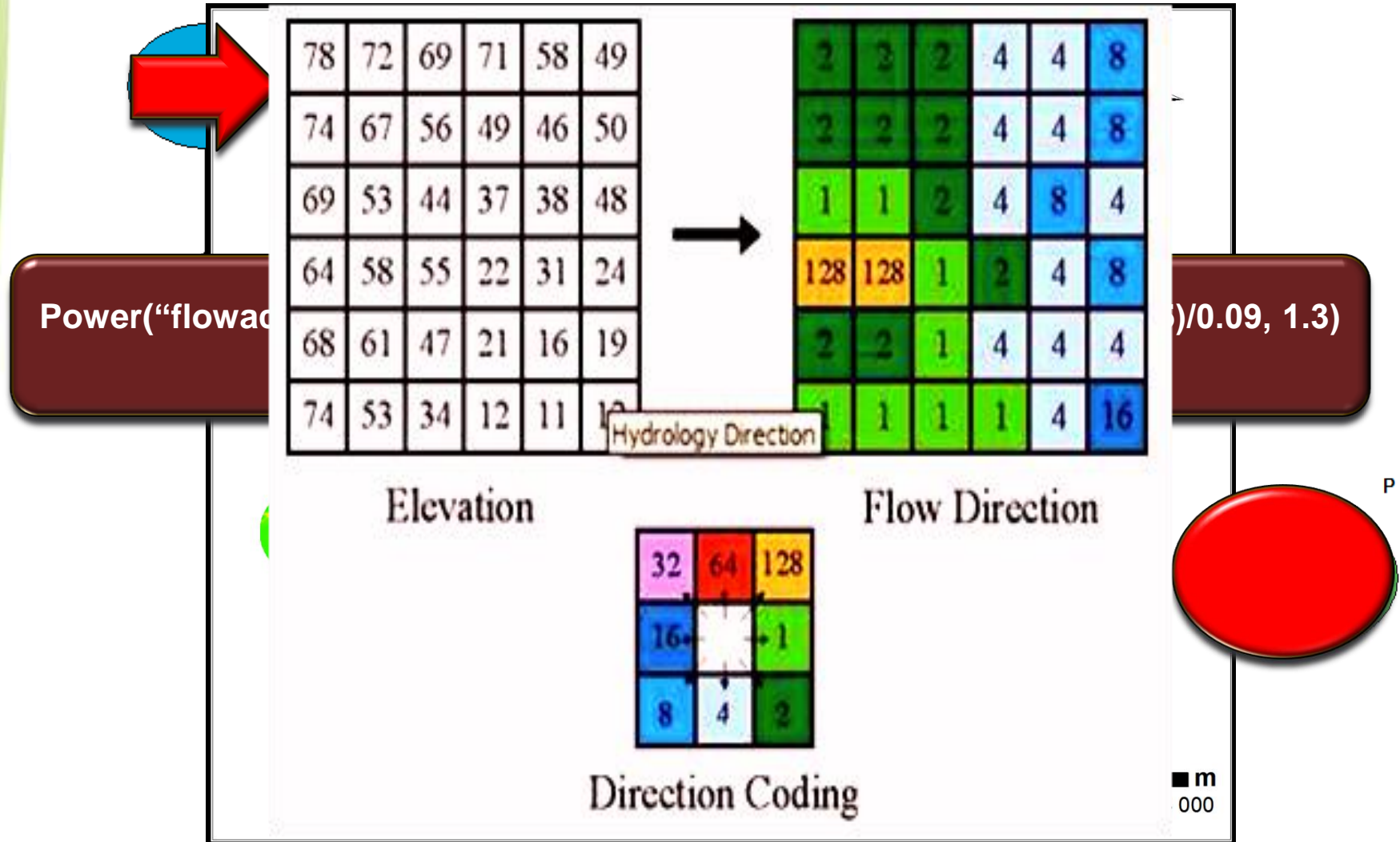




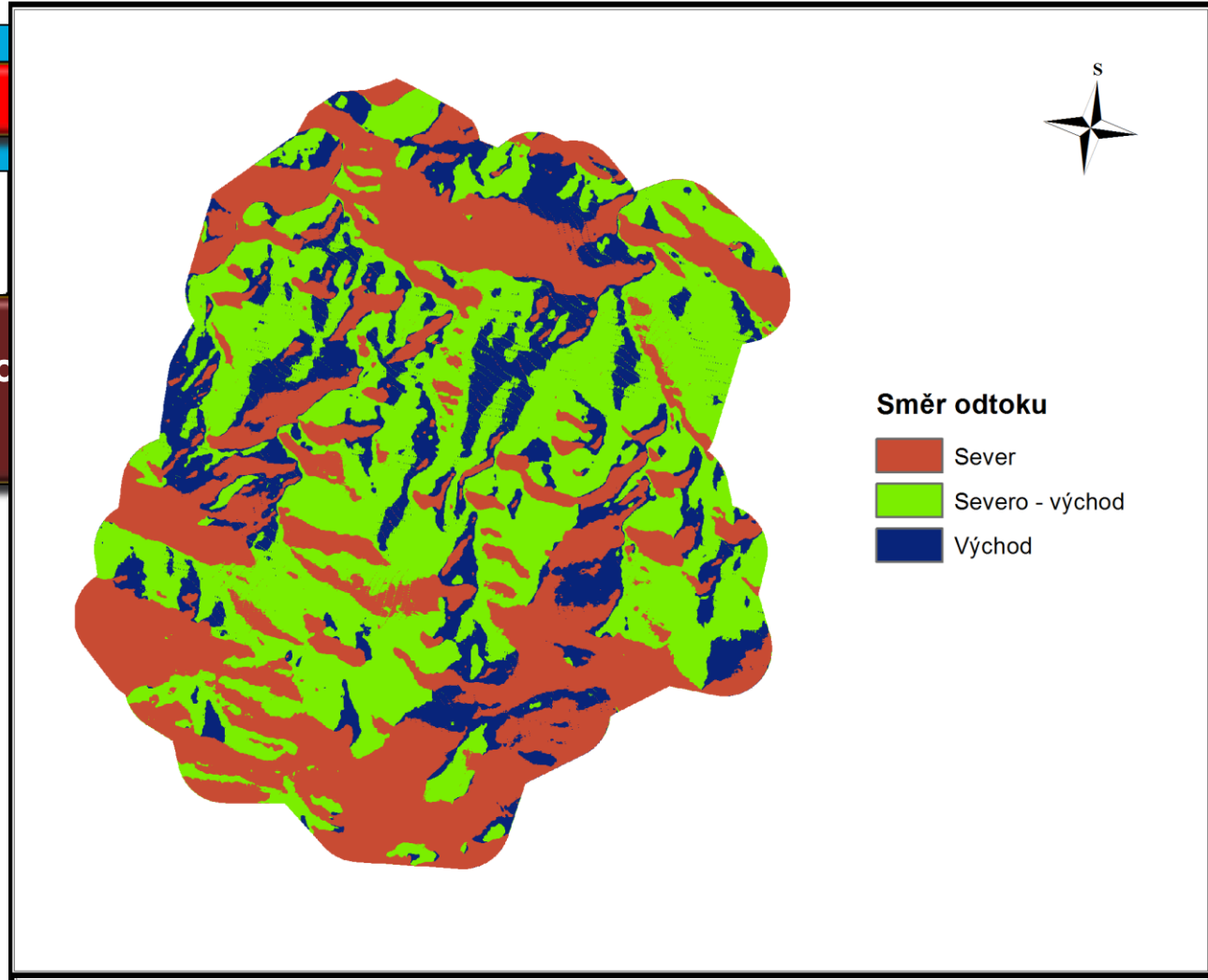
# Modely LS 1 a LS 2



# Modely LS 1 a LS 2



# Modely LS 1 a LS 2

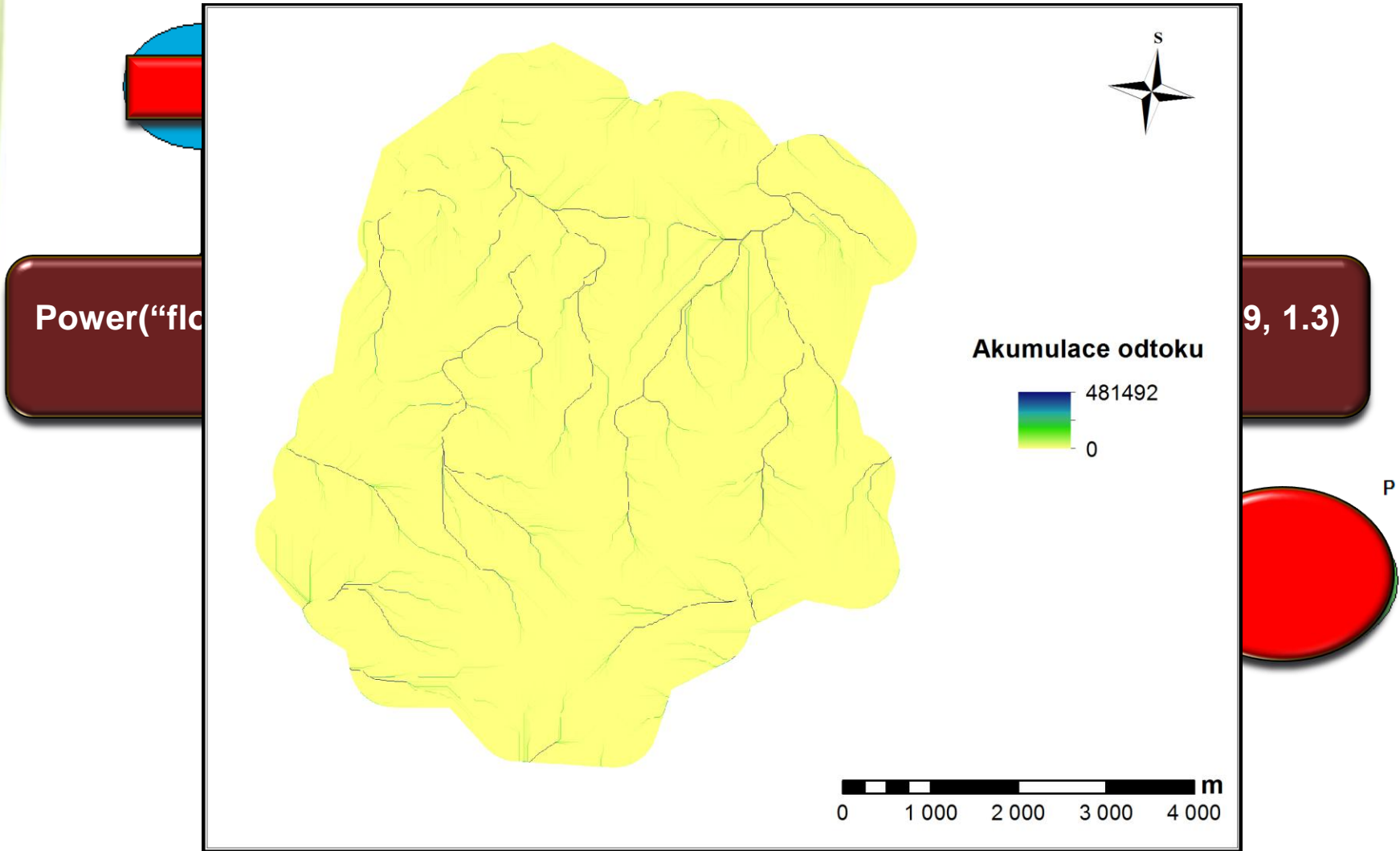


Power("flo

9, 1.3)

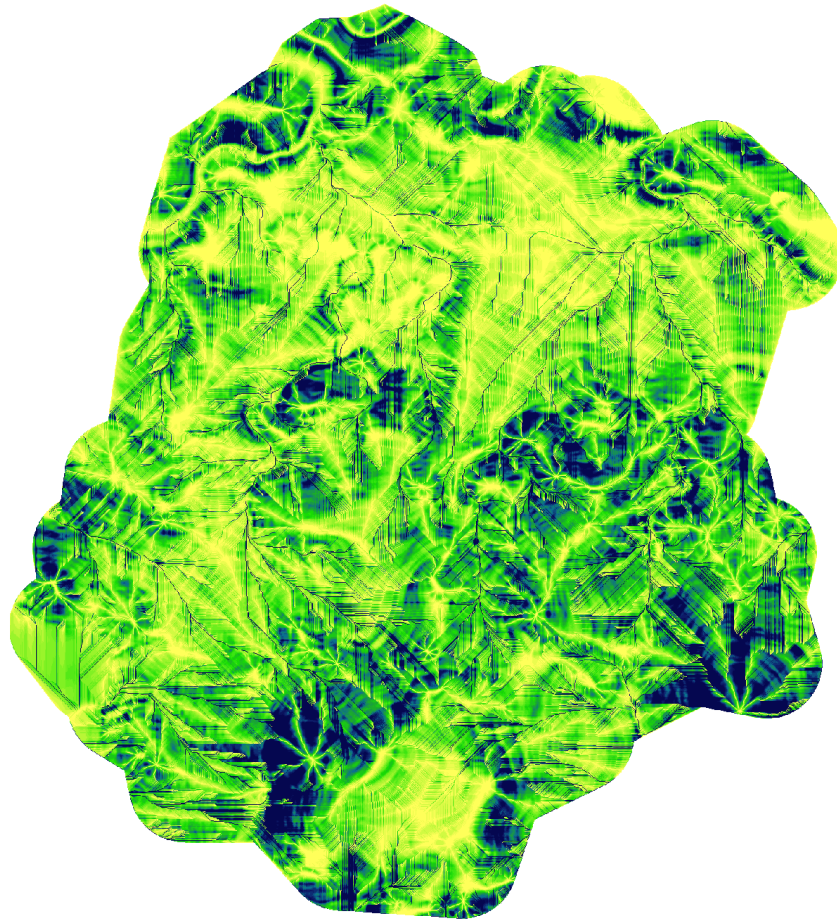
P

# Modely LS 1 a LS 2

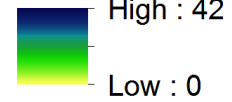




# Modelv LS 1 a LS 2



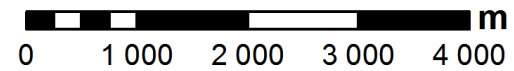
LS faktor

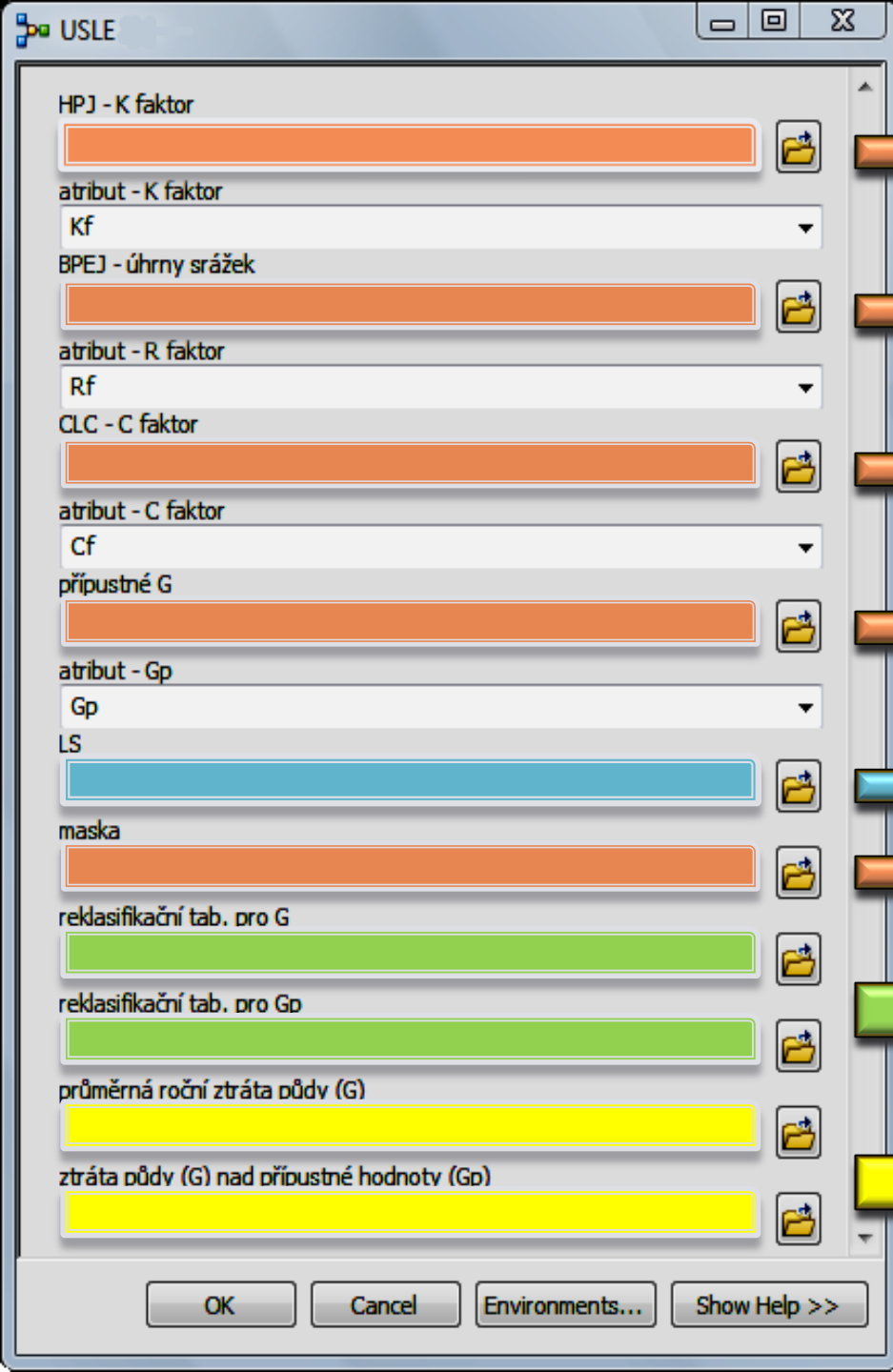


Power

9, 1.3)

P





USLE

HPJ s hodnotami K faktoru  
vektorová polygonová vrstva

BPEJ s hodnotami R faktoru  
vektorová polygonová vrstva

aktualizovaná CLC s hodnotami C faktoru  
vektorová polygonová vrstva

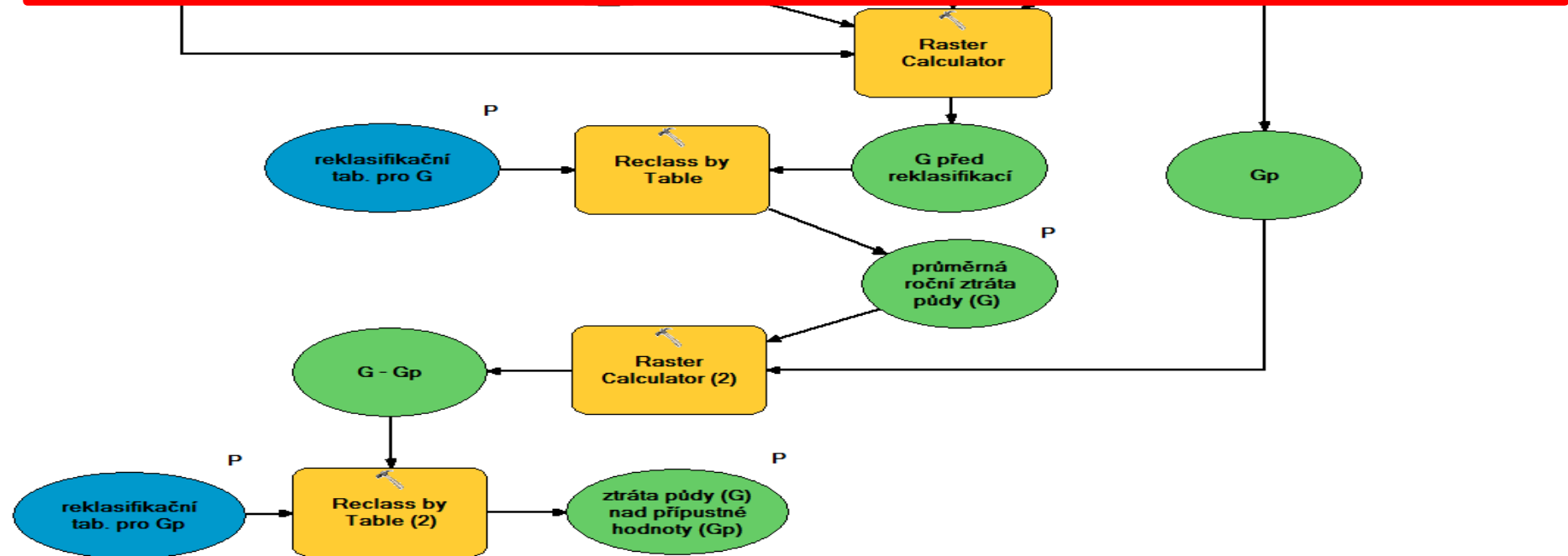
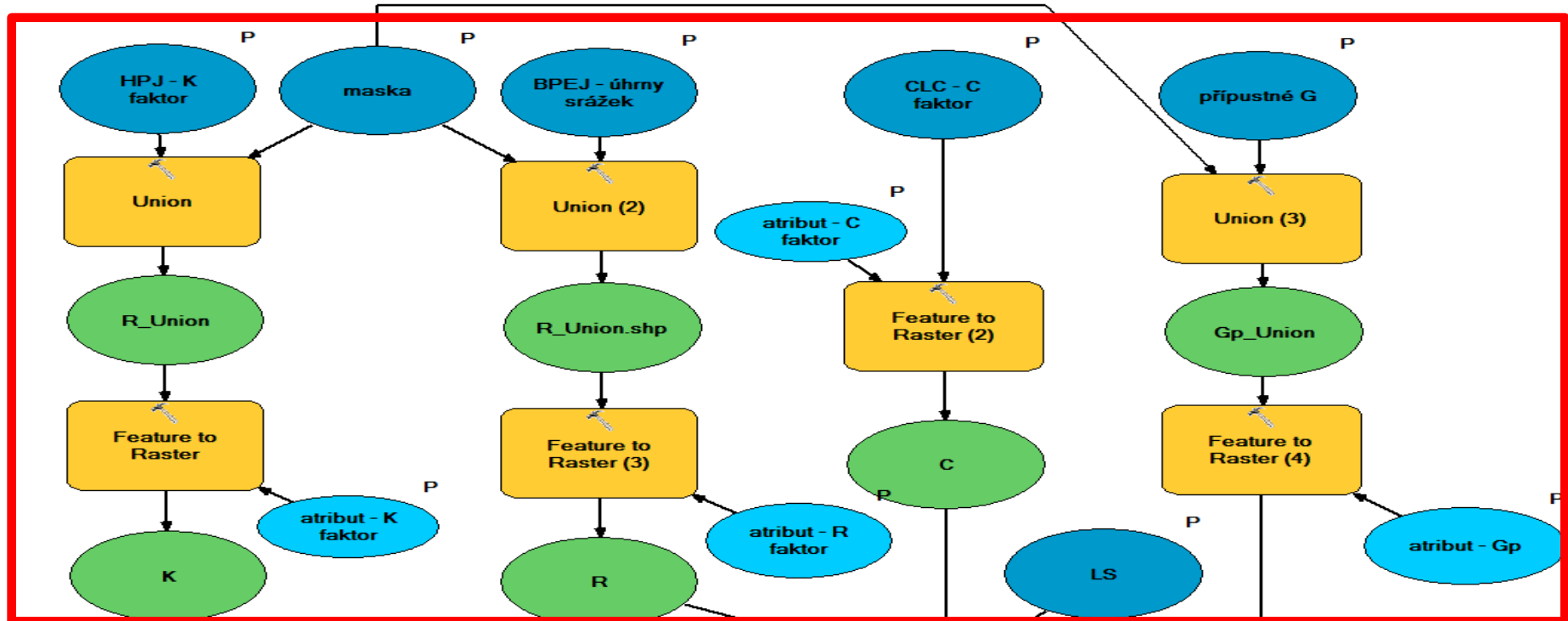
BPEJ s hodnotami přípust. ztráty půdy  
vektorová polygonová vrstva

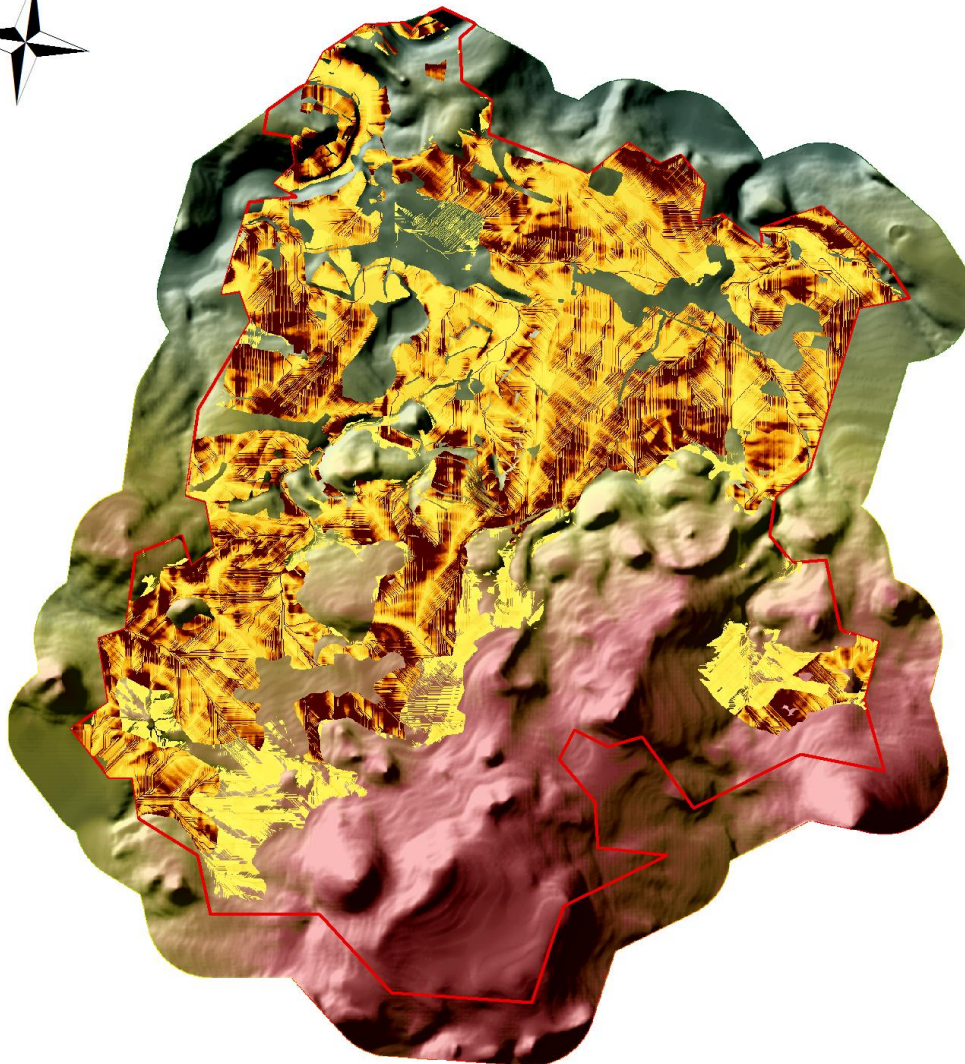
rastr topografického faktoru (5m)

hranice řešeného území  
vektorová polygonová vrstva

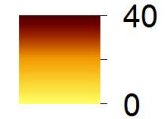
reklasifikace extrémních hodnot  
ztráty půdy nad  $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$

**VÝSTUP:** průměrná roční ztráta půdy  
průměrná roční ztráta půdy  
nad přípustné hodnoty  
rastr

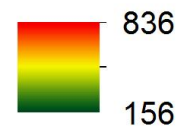




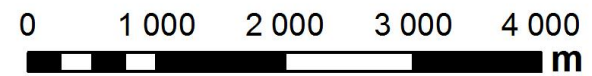
G [t/ha.rok]



Výška [m.n.m]



 řešené území



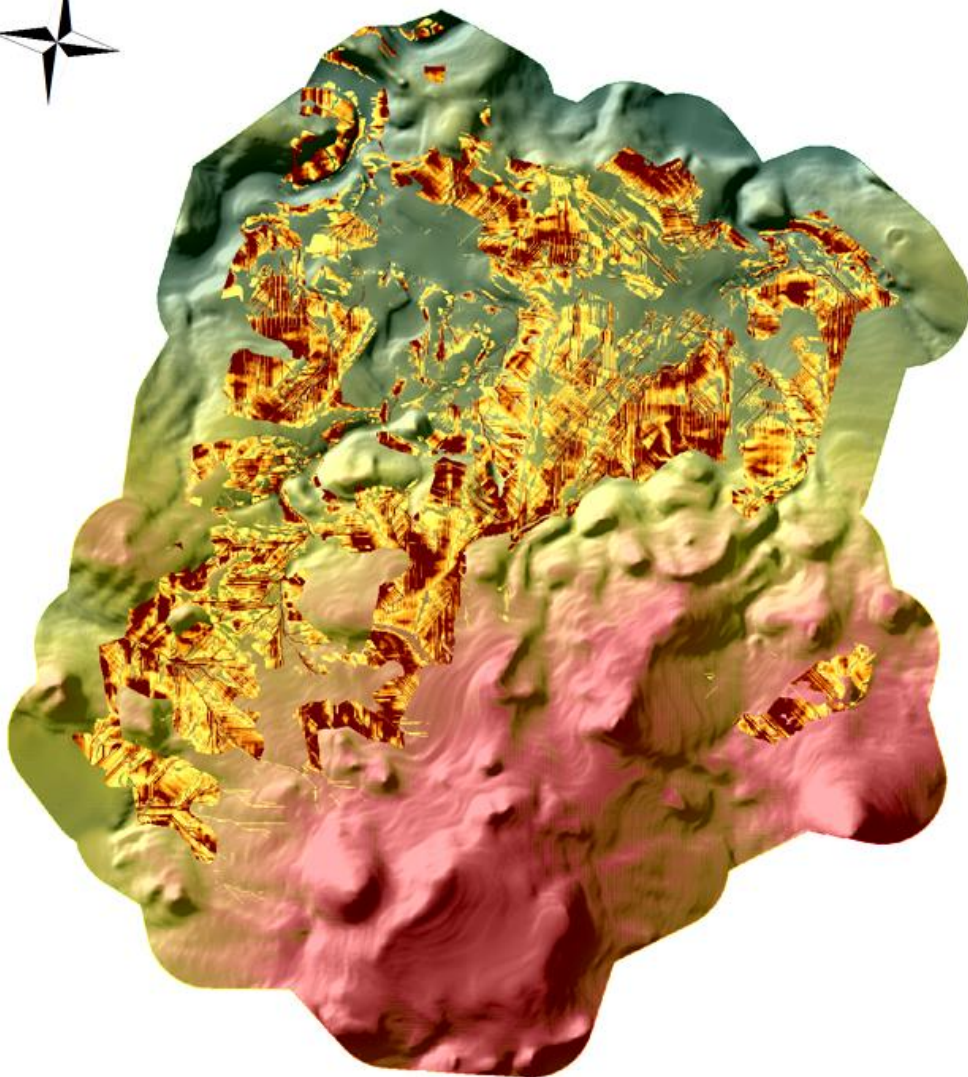
reklasifikační  
tab. pro Gp

Reclass by  
Table (2)

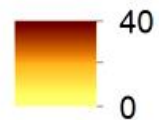
tribut - Gp

F

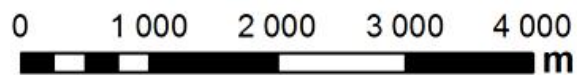
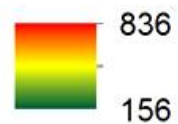




G nad Gp [t/ha.rok]



Výška [m.n.m]

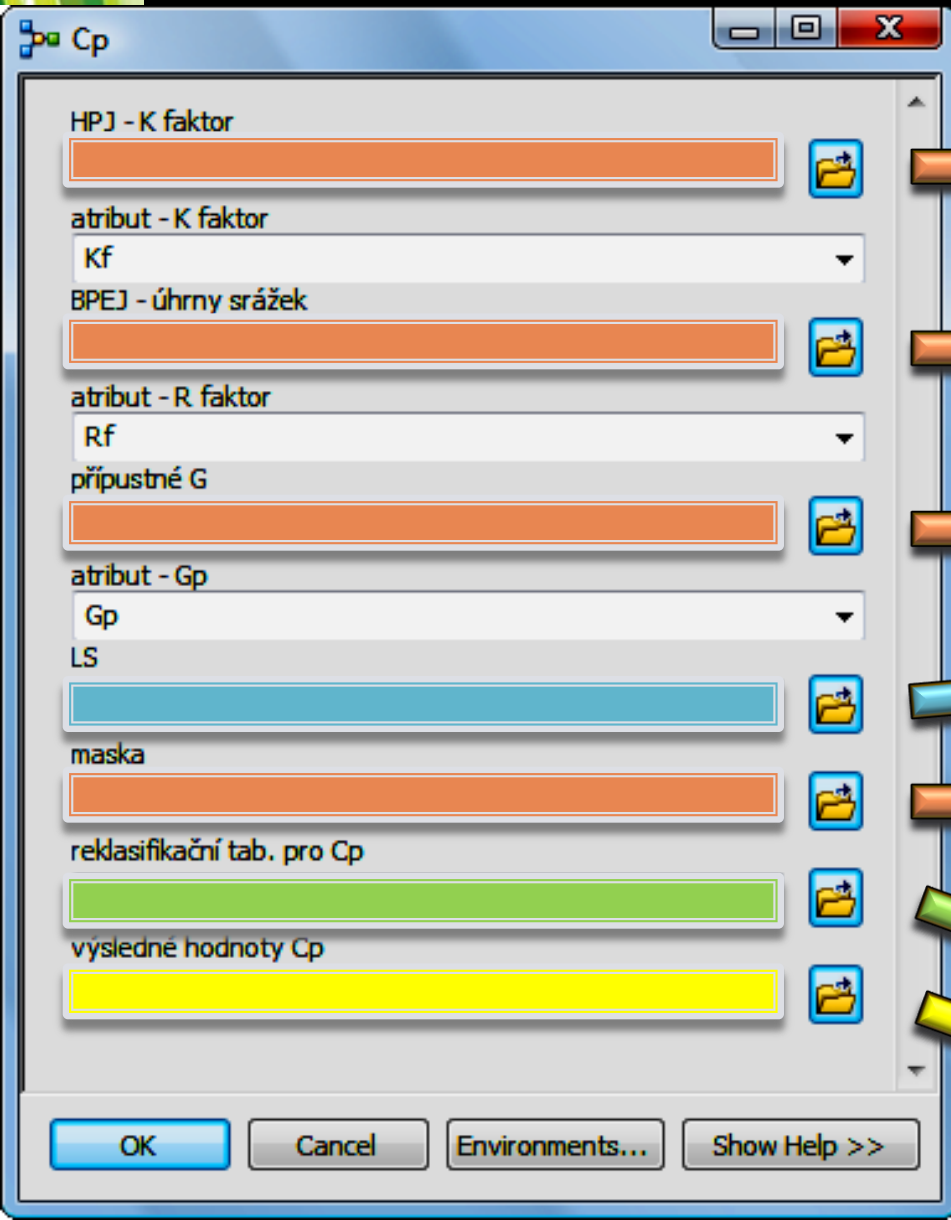


reklasifikační  
tab. pro Gp

Reclass by  
Table (2)

but - Gp

# Model $C_p$



HPJ s hodnotami K faktoru  
*vektorová polygonová vrstva*

BPEJ s hodnotami R faktoru  
*vektorová polygonová vrstva*

BPEJ s hodnotami přípustné ztráty půdy  
*vektorová polygonová vrstva*

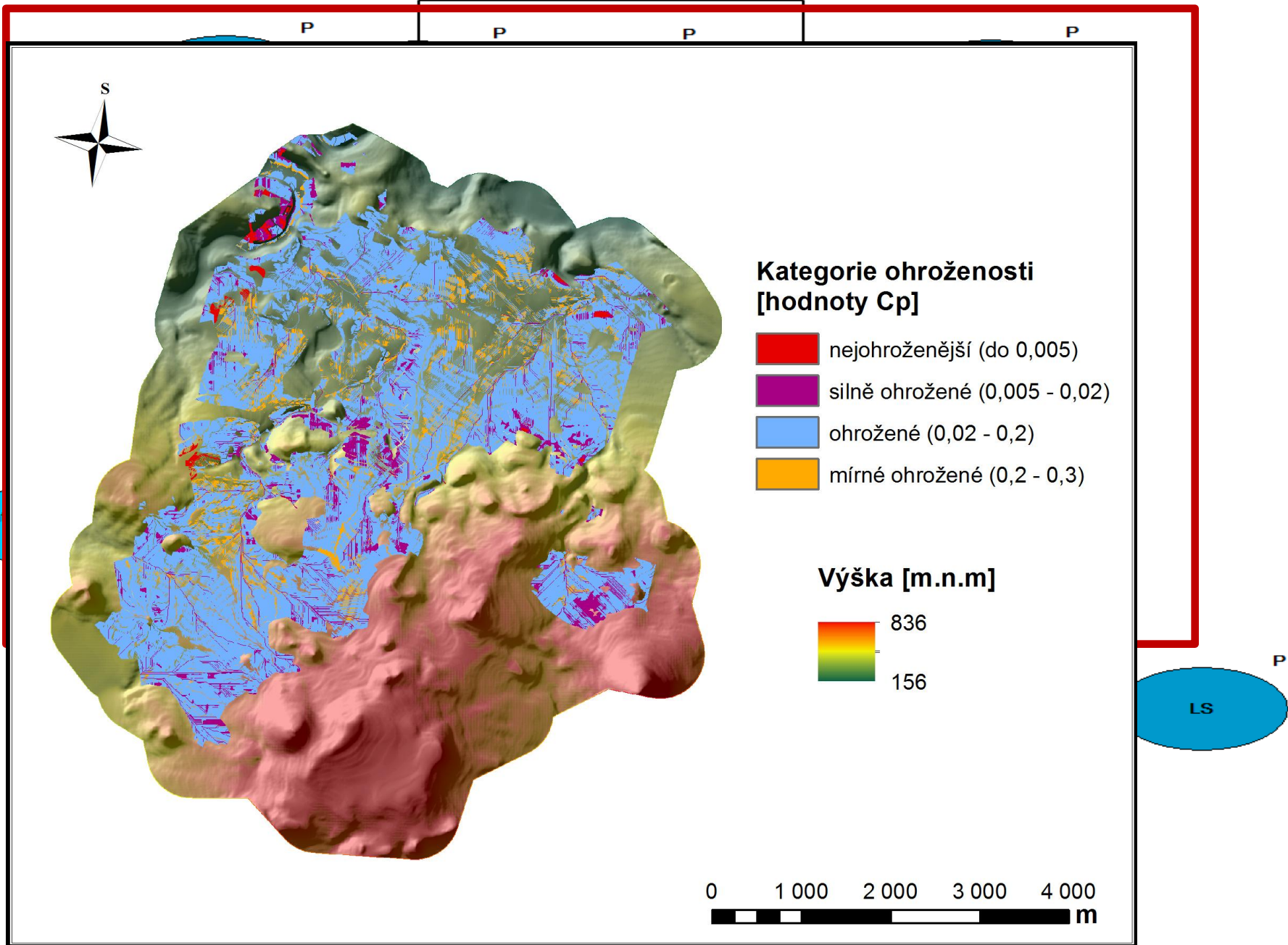
topografický faktor (rastr)

hranice řešeného území  
*vektorová polygonová vrstva*

reklasifikace – lze měnit dle požadavků

maximální přípustné hodnoty  $C_p$   
*rastr*





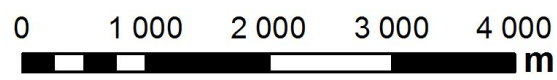
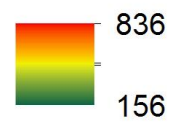
P P P P



### Kategorie ohroženosti [hodnoty Cp]

- nejohroženější (do 0,005)
- silně ohrožené (0,005 - 0,02)
- ohrožené (0,02 - 0,2)
- mírně ohrožené (0,2 - 0,3)

### Výška [m.n.m]

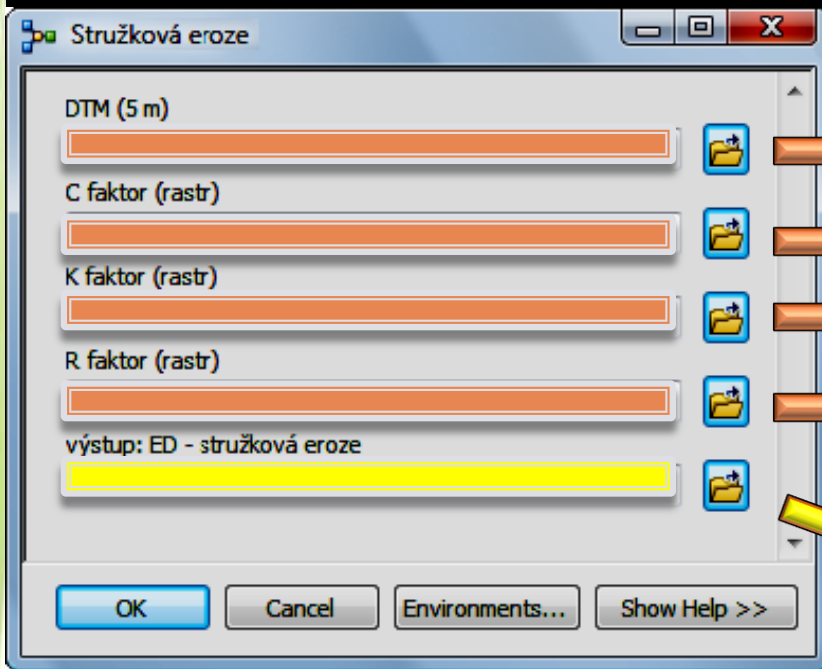


a

LS

tektonických  
tab. pro Cp





ISP

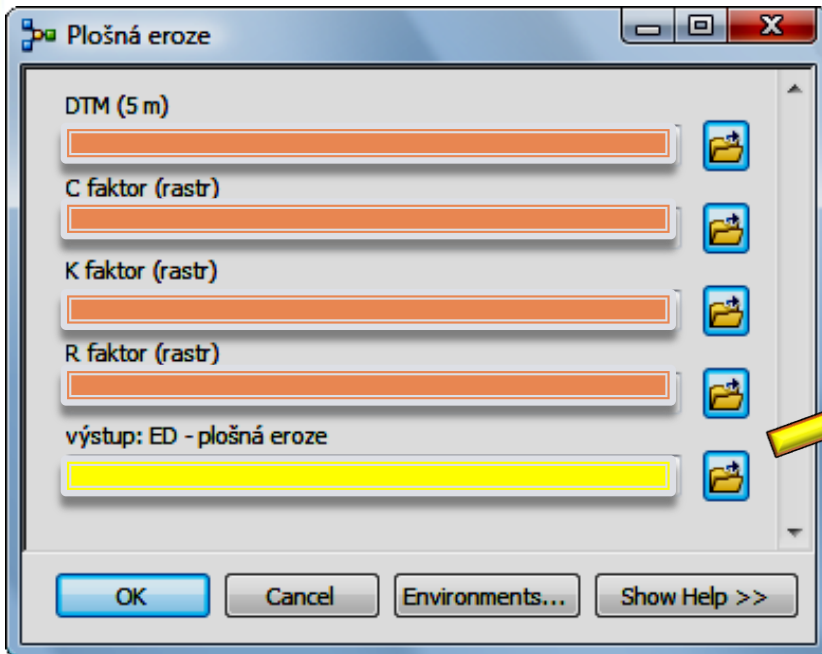
DTM (5 m)

rastr C faktoru

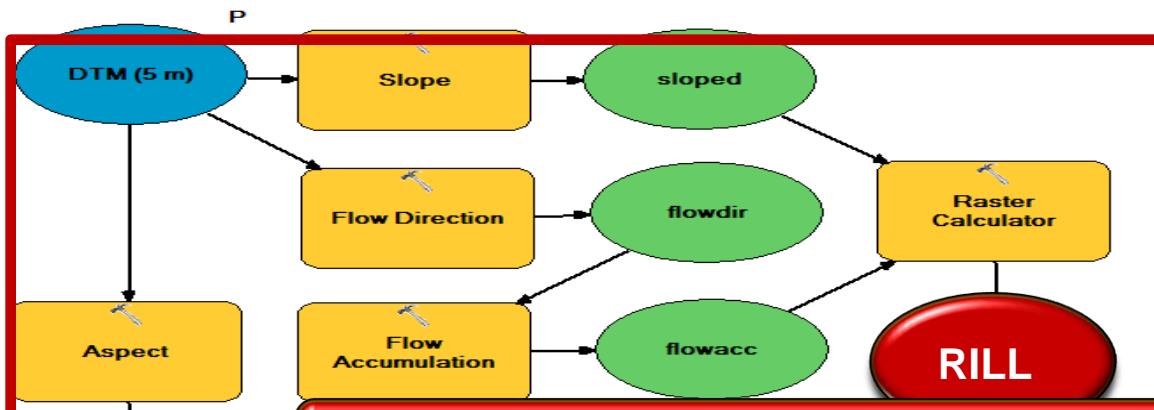
rastr K faktoru

rastr R faktoru

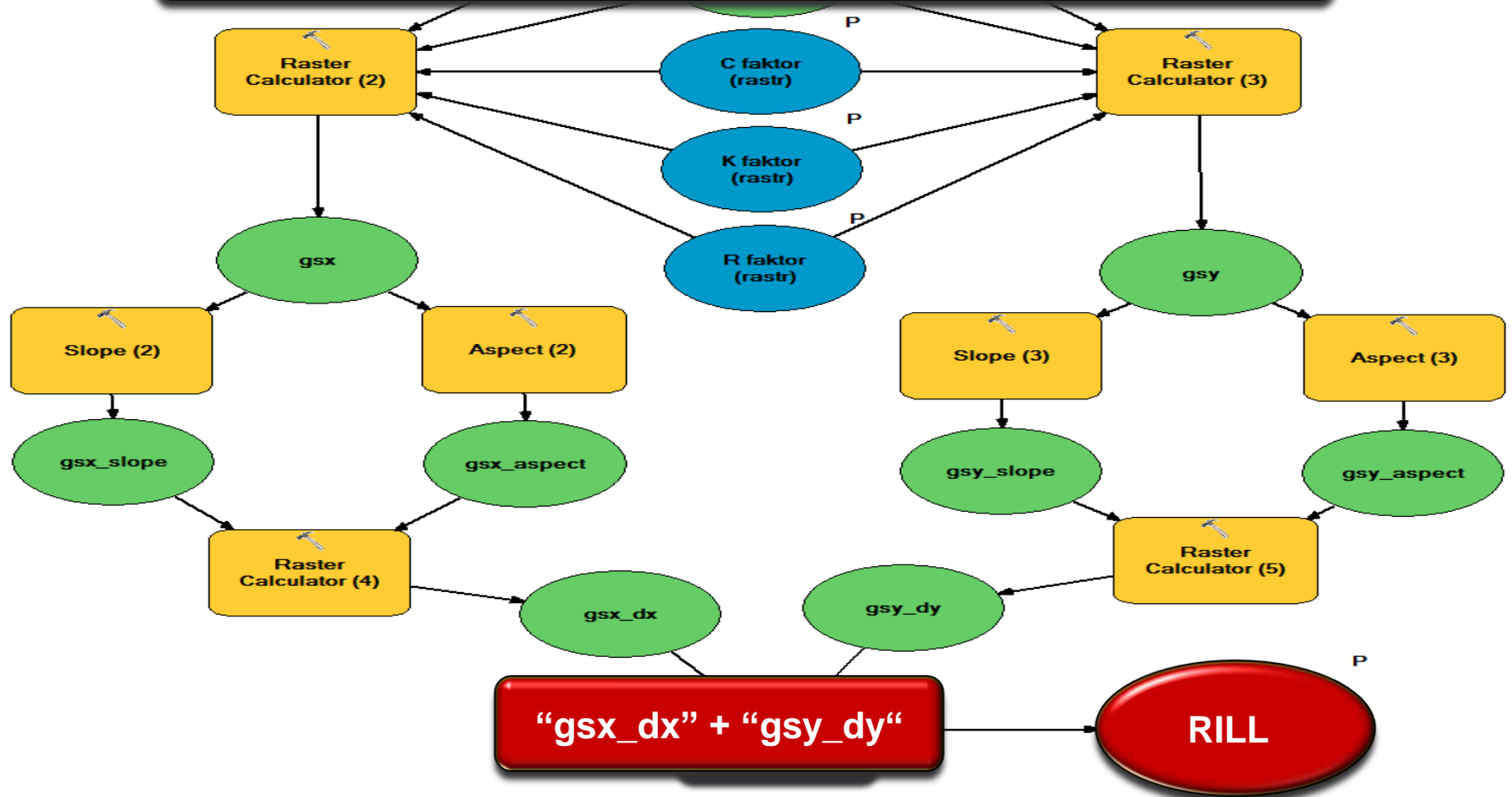
změna indexu transportní kapacity  
– stružková eroze  
*rastr*



změna indexu transportní kapacity  
– plošná eroze  
*rastr*



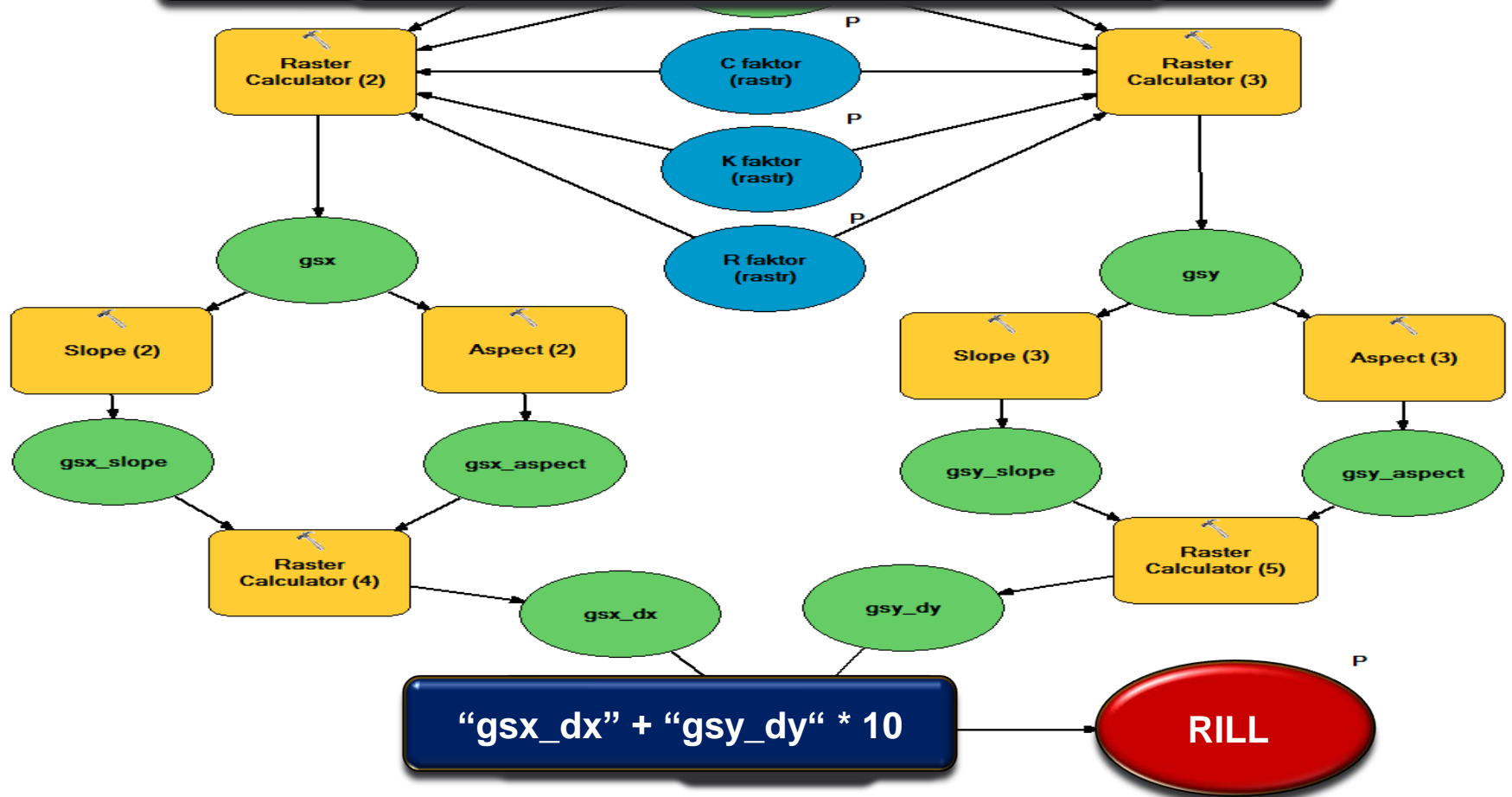
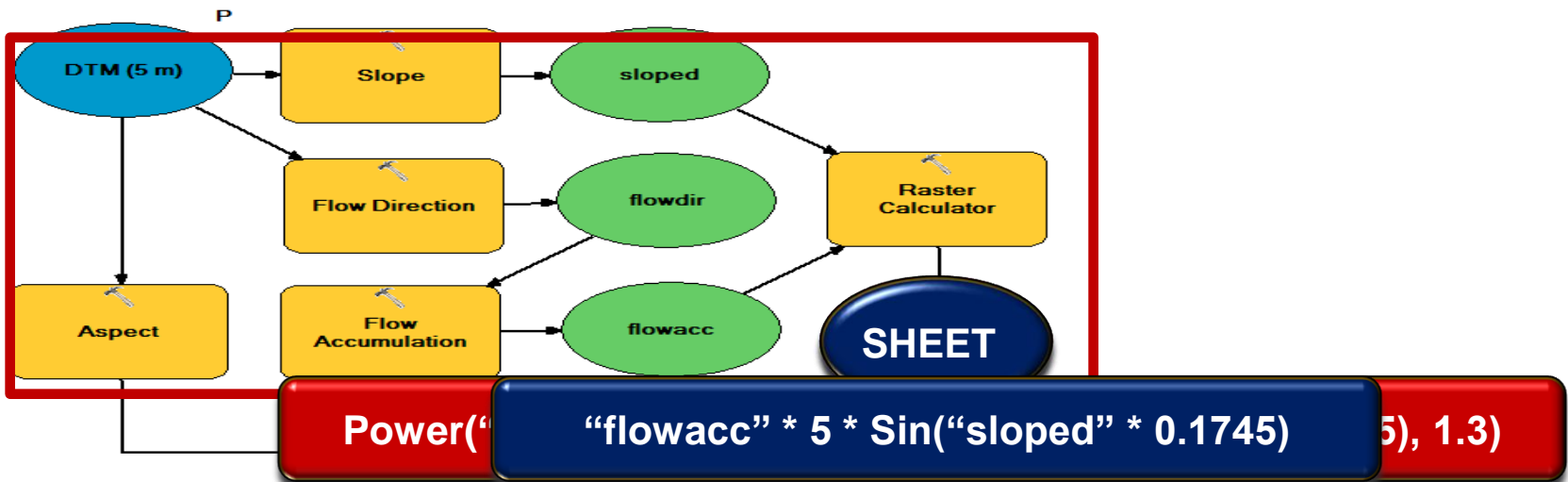
$$\text{Power}(\text{"flowacc"} * 5, 0.6) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"sloped"} * 0.1745), 1.3)$$

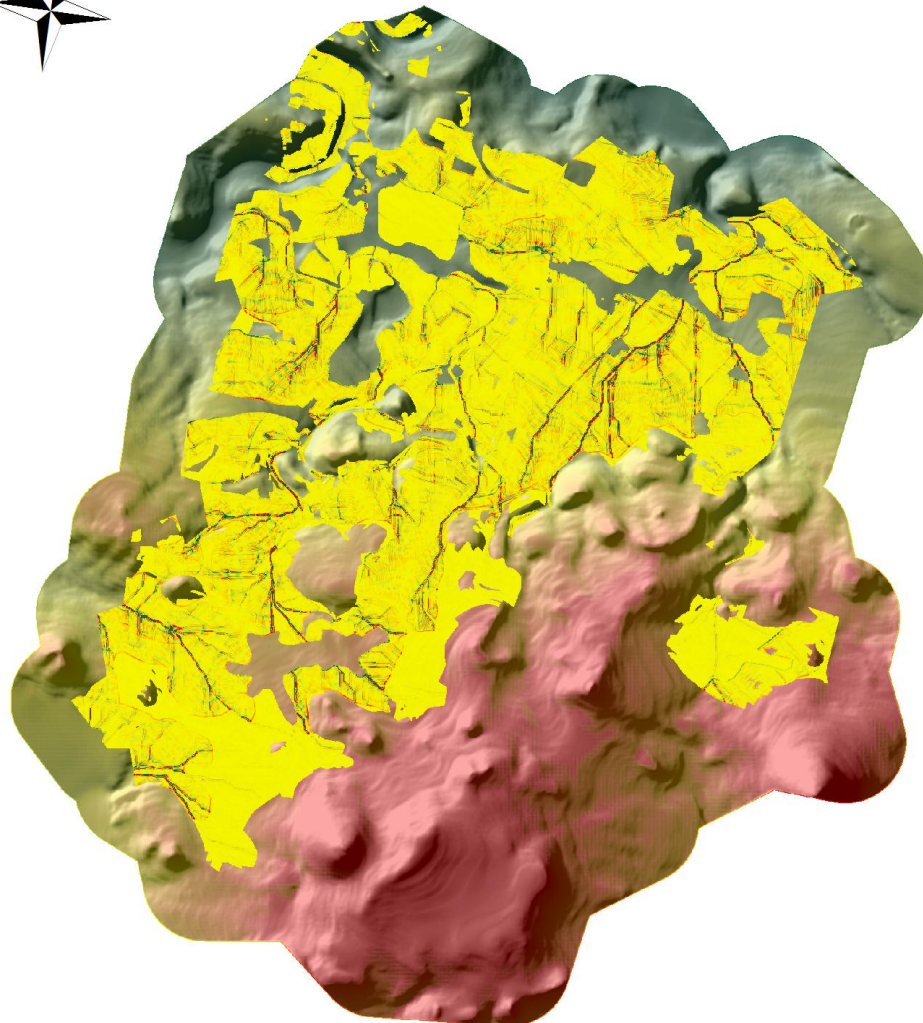
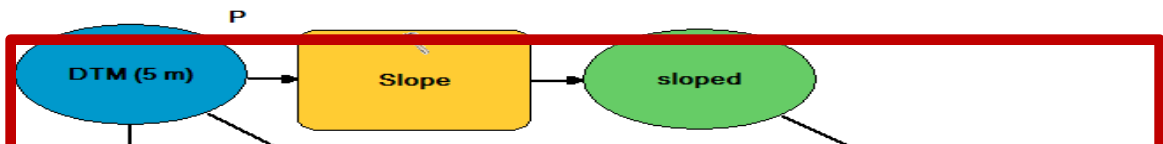


$$\text{"gsx\_dx"} + \text{"gsy\_dy"}$$

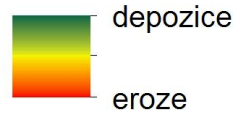




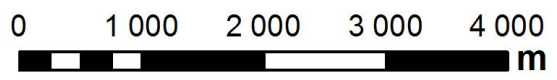
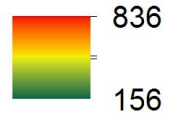




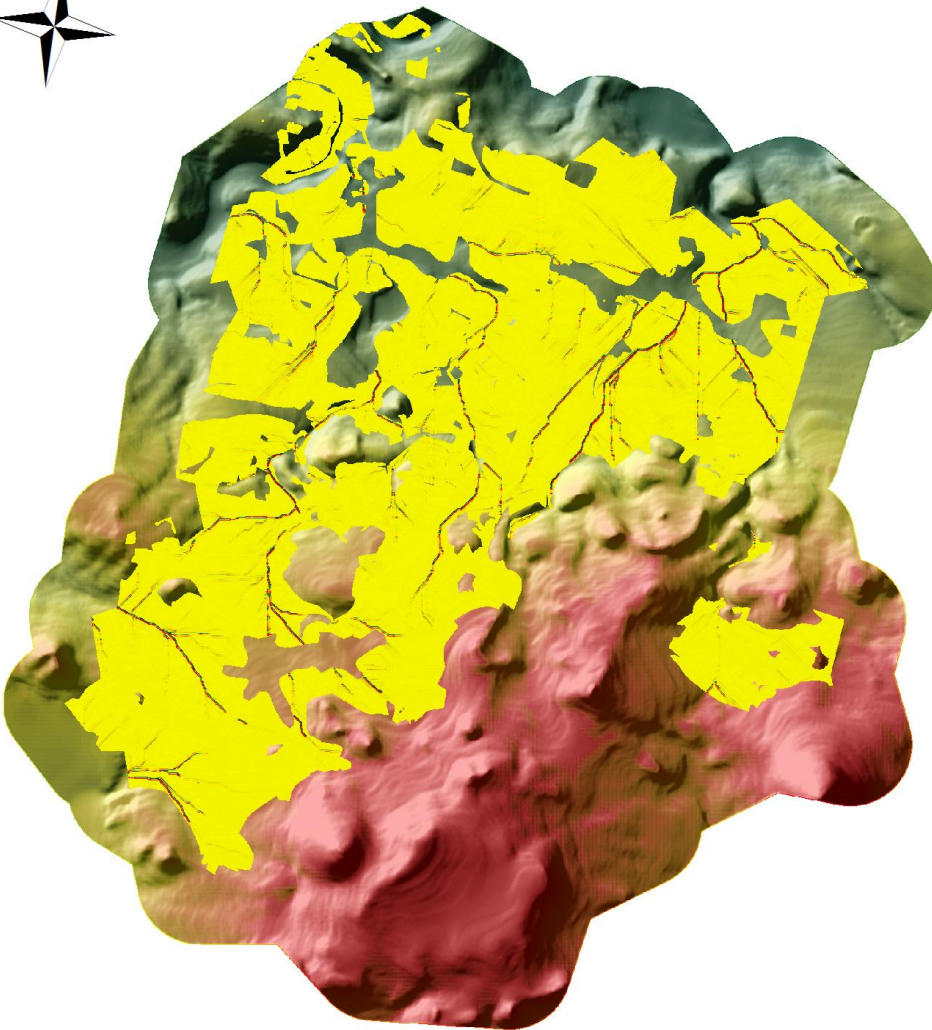
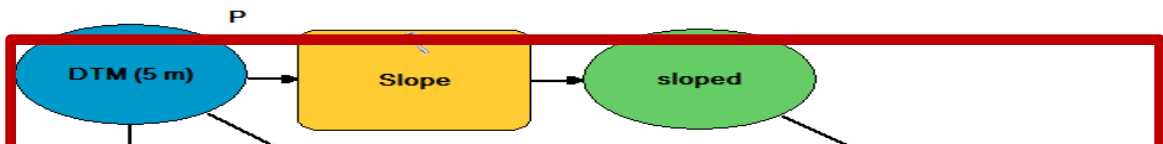
**depozice/eroze**



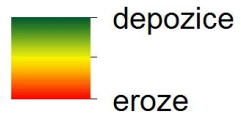
**Výška [m.n.m]**



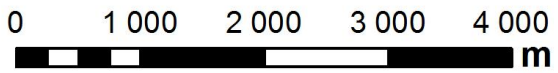
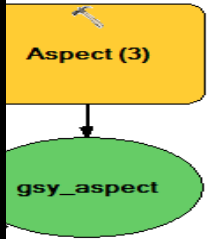
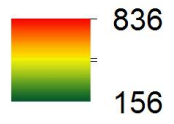
P



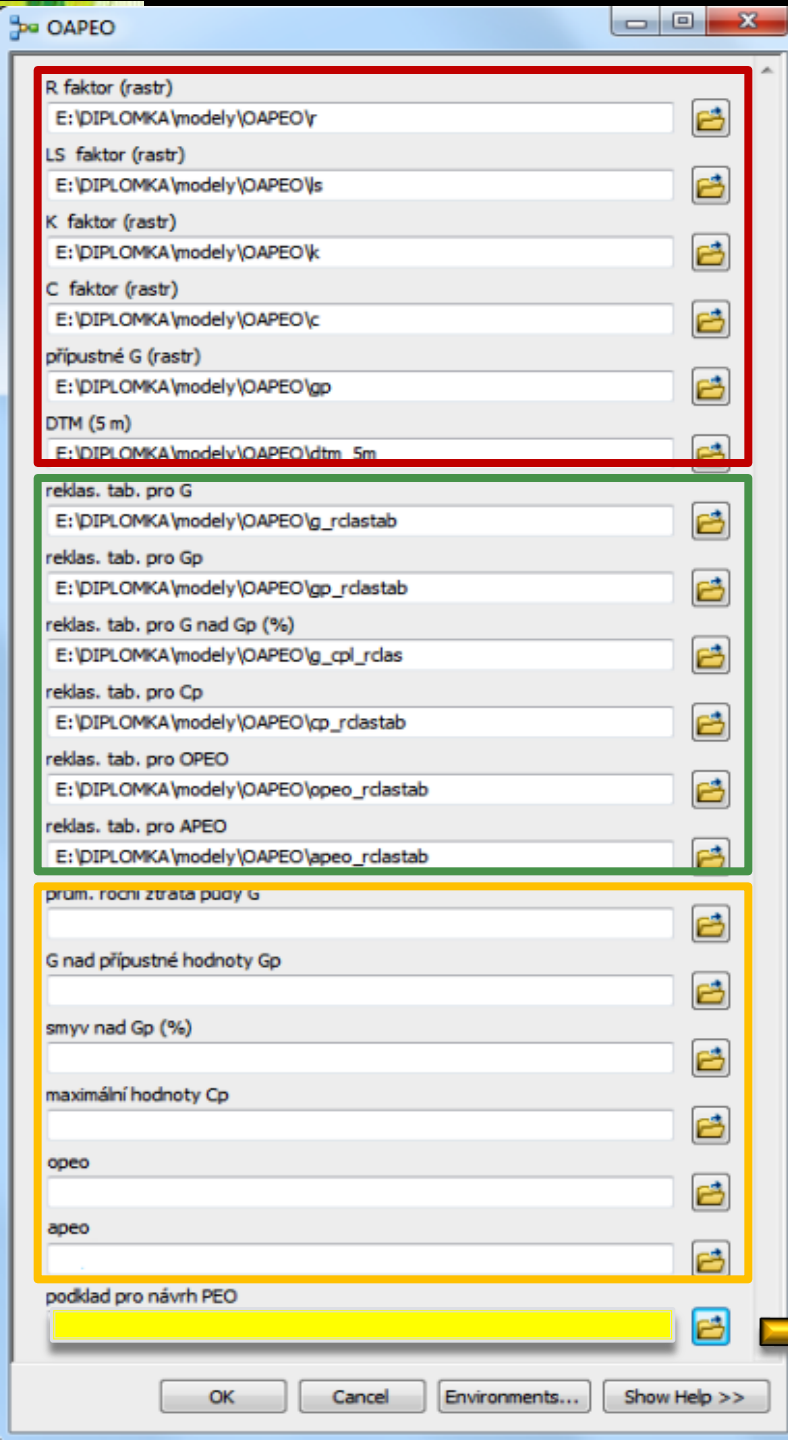
**depozice/eroze**



**Výška [m.n.m]**



P



# Model OAPEO

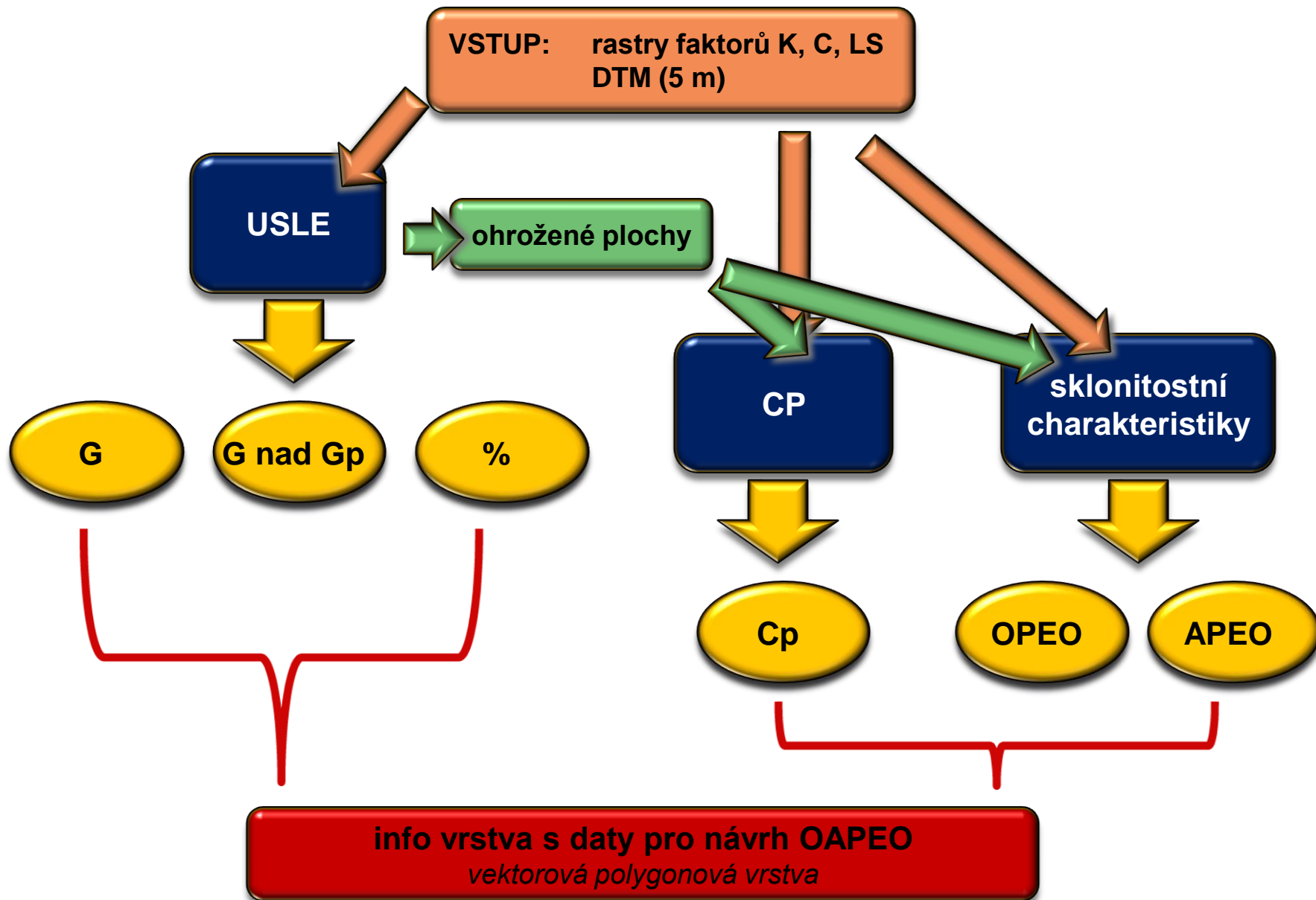
rastry faktorů K, C, R, LS  
rastr Gp  
DTM (5 m)

reklasifikační tabulky výsledných hodnot

**VÝSTUP:** G  
G nad Gp  
G nad Gp (%)  
Cp na ohrožené ploše  
OPEO dle sklonitosti  
APEO dle sklonitosti

*rastry*

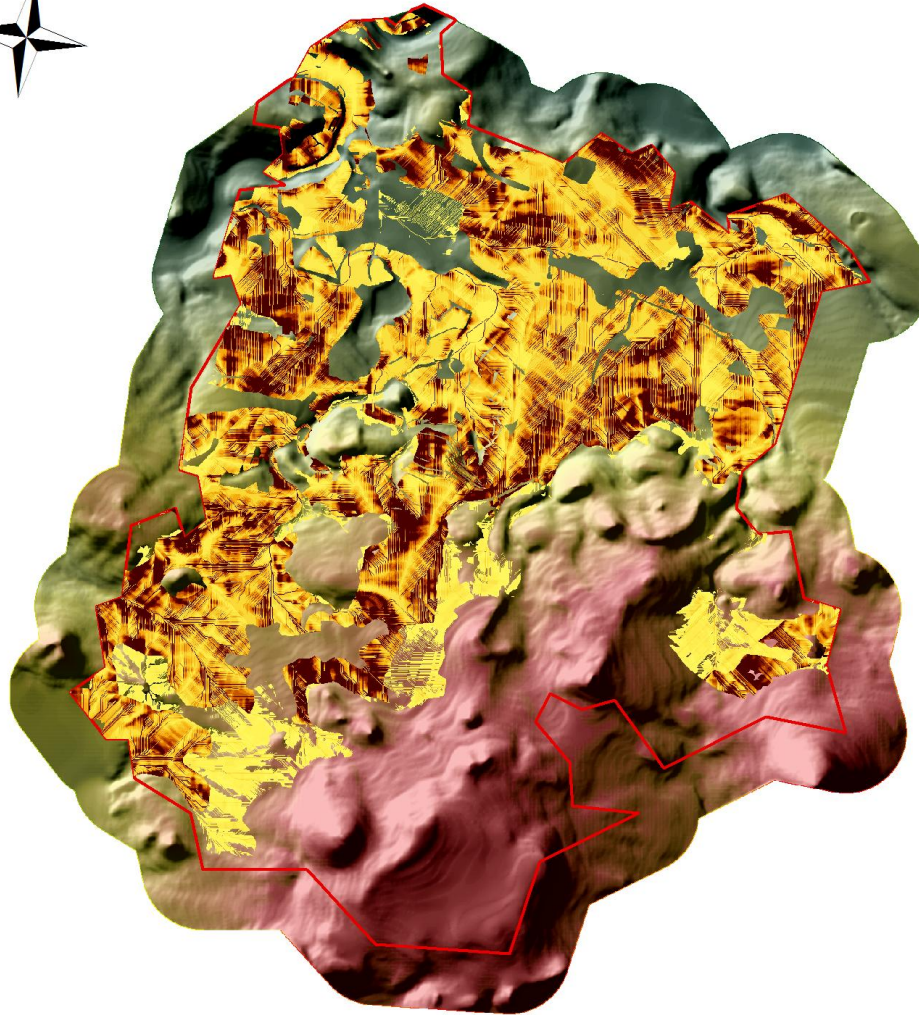
**info vrstva s daty pro návrh OAPEO**  
*vektorová polygonová vrstva*



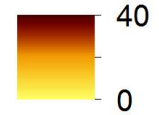




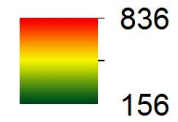
G



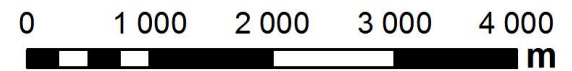
G [t/ha.rok]



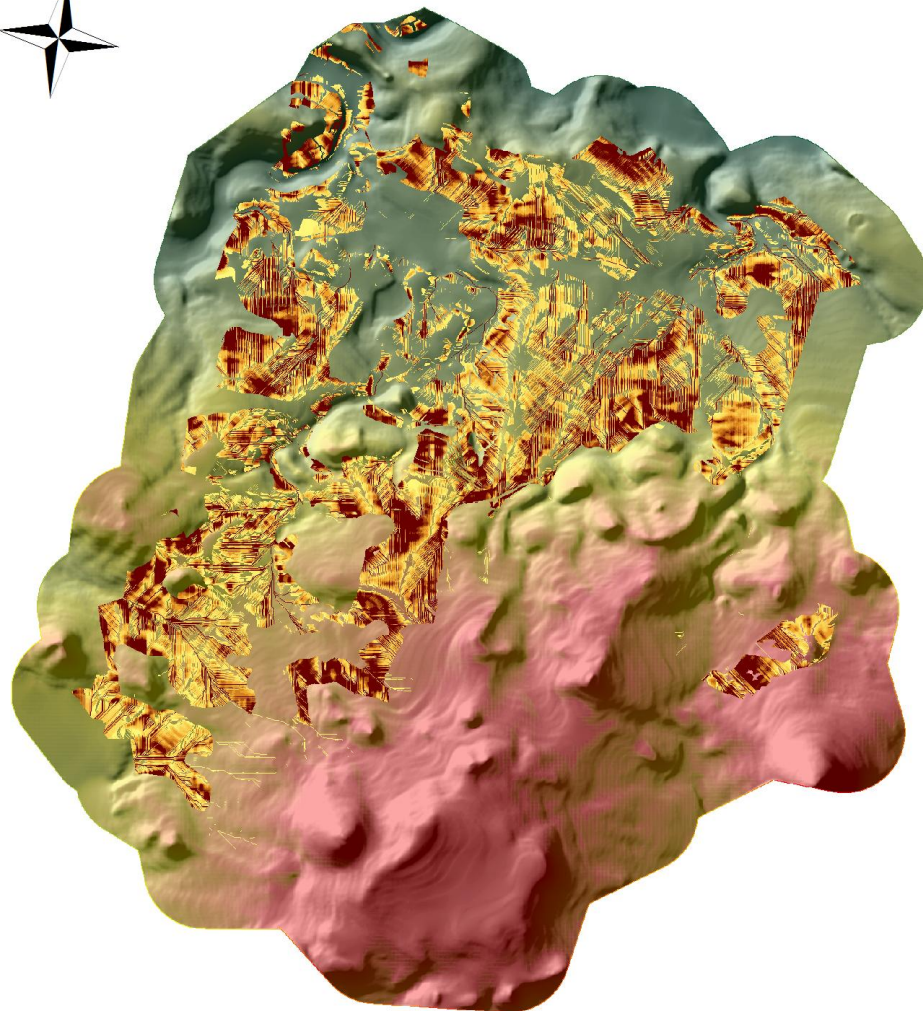
Výška [m.n.m]



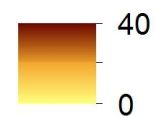
řešené území



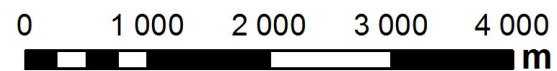
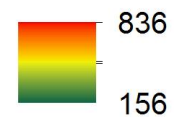


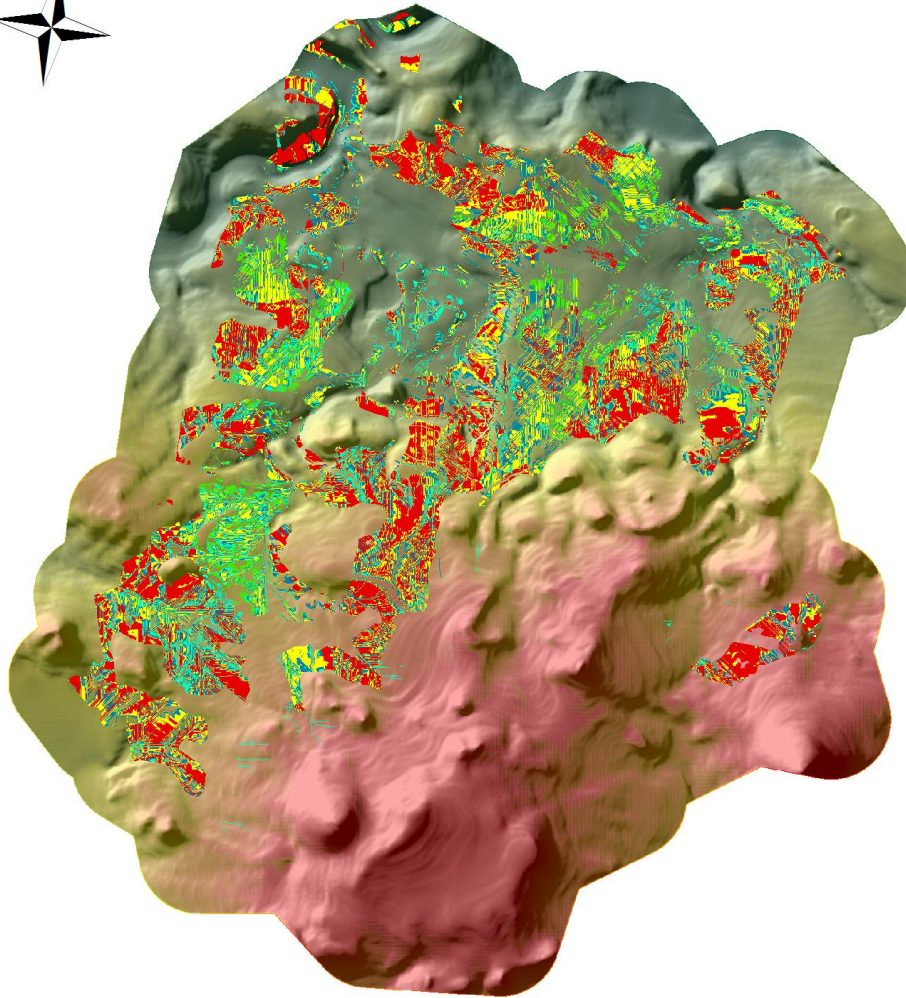


**G nad Gp [t/ha.rok]**

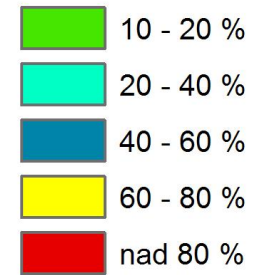


**Výška [m.n.m]**

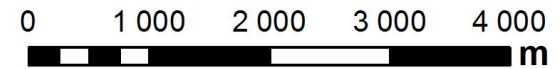
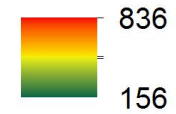


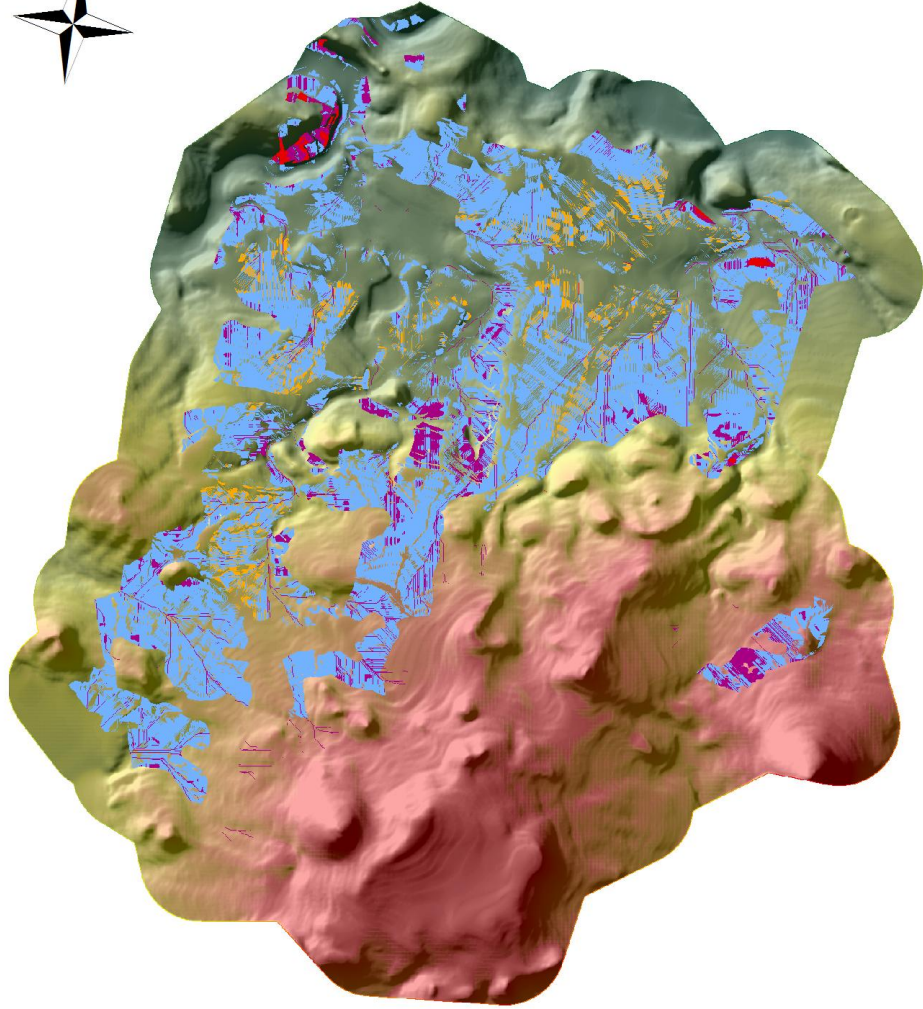


**Průměrný roční  
smyv půdy (%)**







**Výška [m.n.m]**

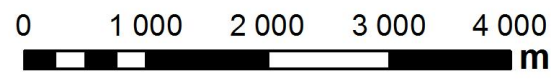
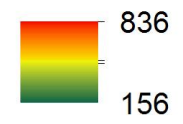




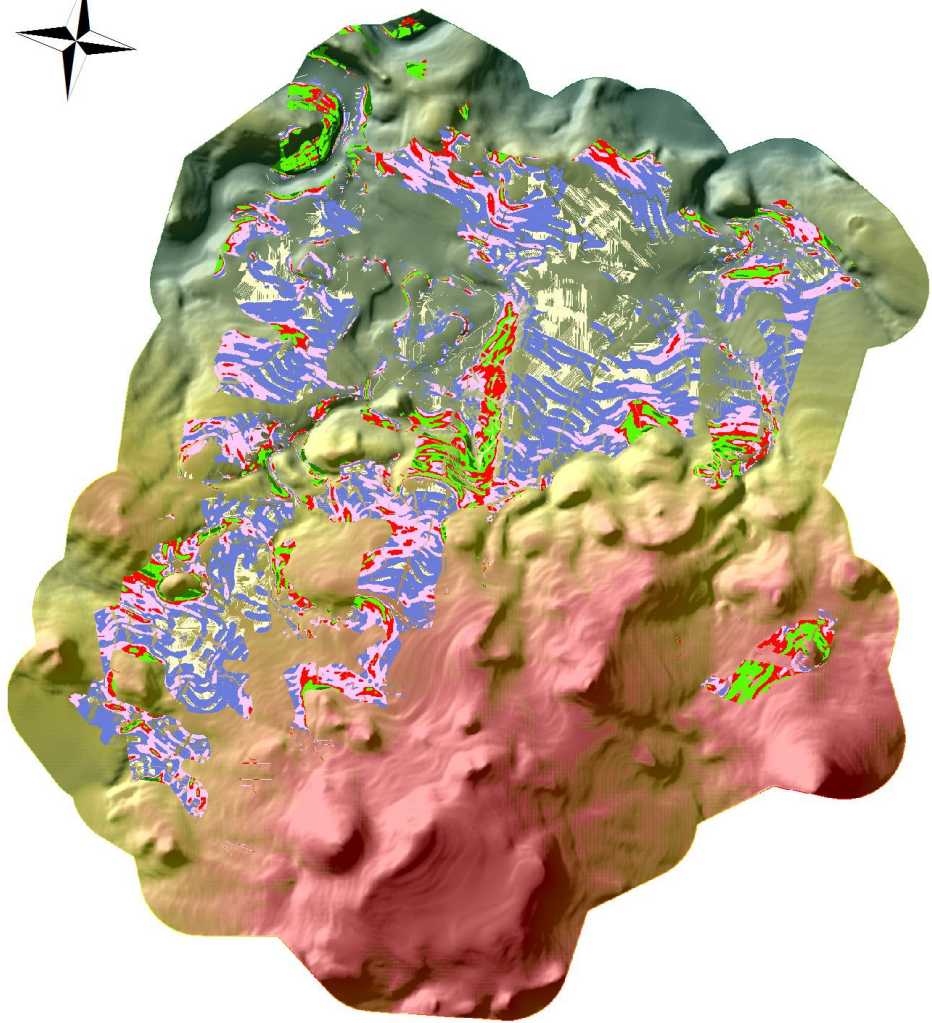
**Kategorie ohroženosti  
[hodnoty Cp]**

-  nejohroženější (do 0,005)
-  silně ohrožené (0,005 - 0,02)
-  ohrožené (0,02 - 0,2)
-  mírně ohrožené (0,2 - 0,3)

**Výška [m.n.m]**



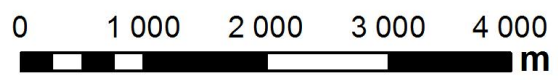
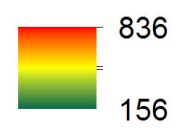


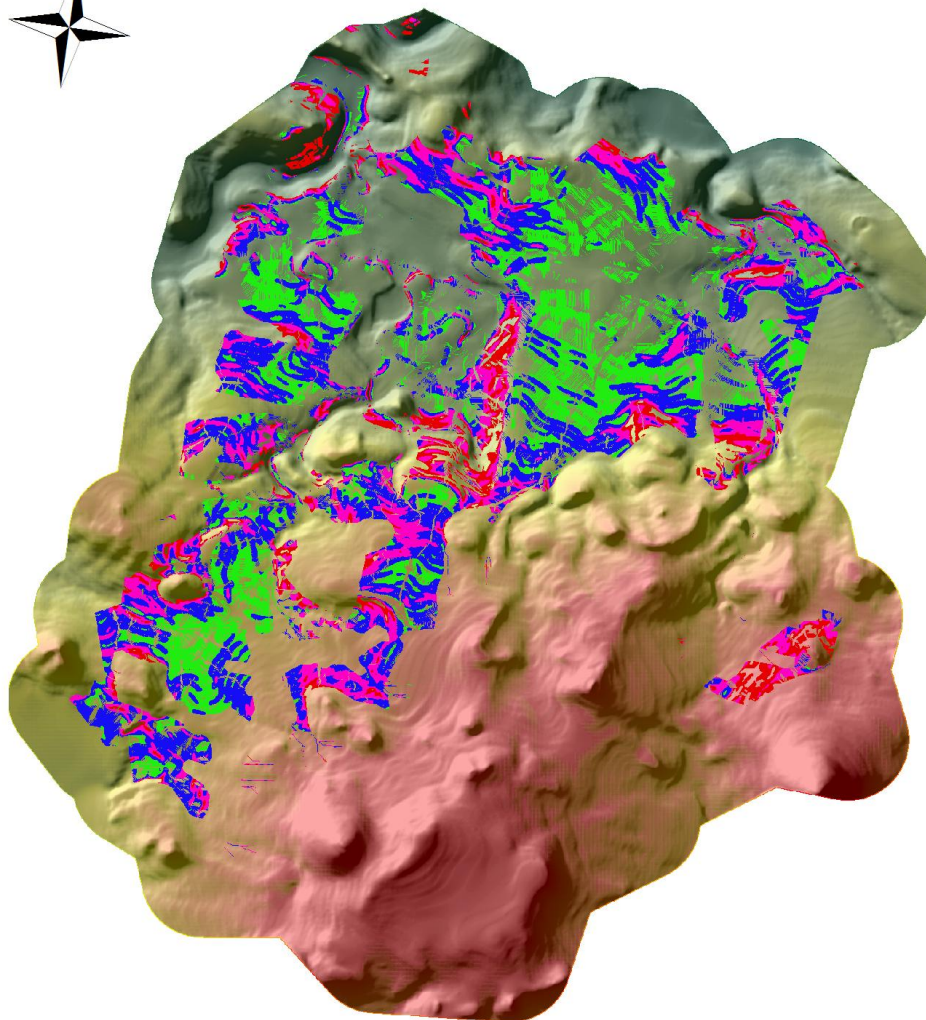


### Kategorie sklonitosti [%] pro návrh OPEO

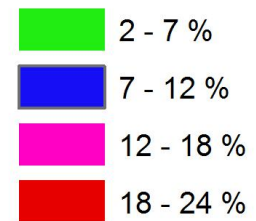
-  mírné ohrožení (0 - 5%)
-  střední ohrožení (5 - 10%)
-  výrazné ohrožení (10 - 15%)
-  silné ohrožení (15 - 20%)
-  zatravnění (20 - 30%)
-  zalesnění (nad 30%)

### Výška [m.n.m]

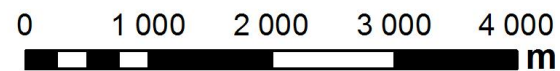
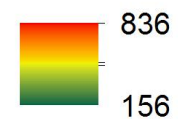




**Kategorie sklonitosti [%]  
pro návrh APEO**



**Výška [m.n.m]**



# Návrh OPEO

	GRIDCODE	GRIDCODE 1	GRIDCODE 2	GRIDCODE 3	GRIDCODE 4	OPEO
	4	1	1	6	6	les
	4	1	4	5	5	TTP
	4	1	4	5	6	TTP
	4	1	4	6	6	les
	4	1	10	1	2	TTP
	4	2	0	1	2	viceleté pícniny
	4	2	0	2	2	viceleté pícniny
	4	2	0	2	3	viceleté pícniny
	4	2	0	3	3	viceleté pícniny
	4	2	0	3	4	viceleté pícniny
	4	2	0	4	4	viceleté pícniny
	4	2	0	4	5	viceleté pícniny

**GRIDCODE1 = 1**

**max. hodnota Cp do 0,005**

**převést na TTP**

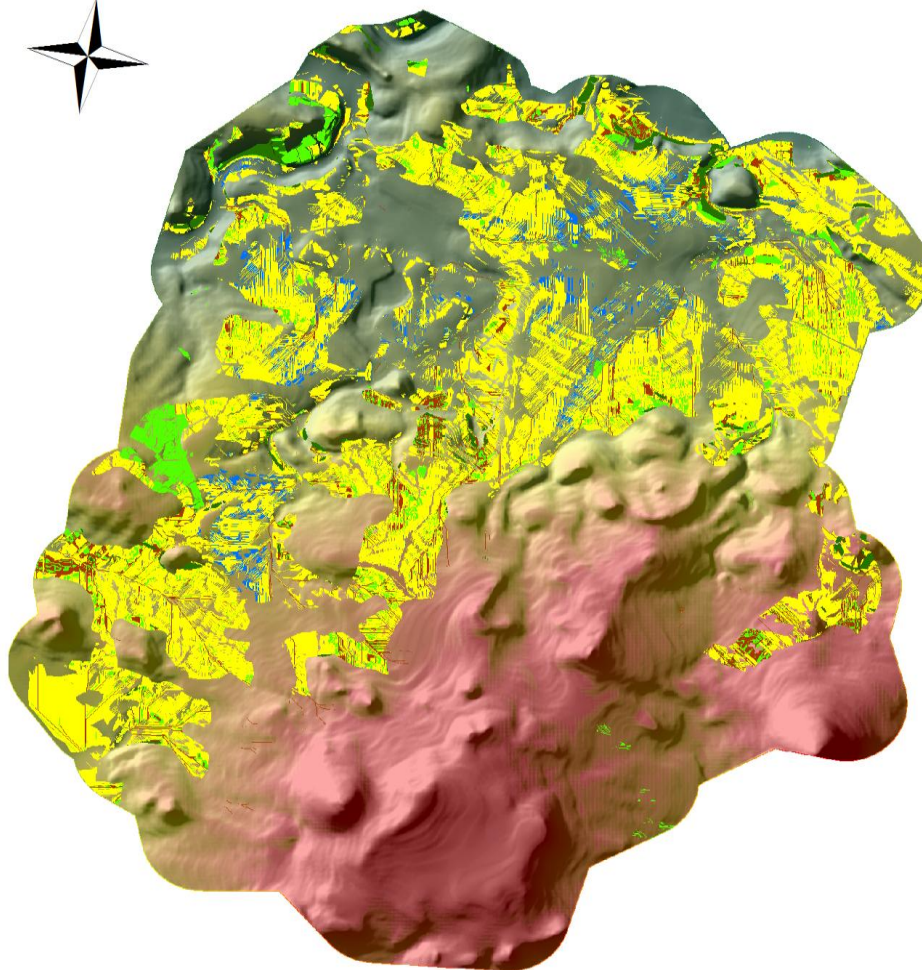


# Návrh OPEO






atributový dotaz	Field Calculator (pro New Field: OPEO)	Vysvětlení
GRICODE = 10	TTP	ztráta půdy nad připustné hodnoty je 90% - převést na TTP
GRICODE1 = 1	TTP	hodnoty $C_p$ do 0,005 - převést na TTP
GRICODE3 = 5	TTP	sklon svahu 20 - 20% - převést na TTP
GRICODE3 = 4 AND GRICODE2 = 1	TTP	mělké půdy na svahu 15 - 20% - převést na TTP
GRICODE2 = 2 AND OPEO <> TTP	víceleté pícniny	hodnoty $C_p$ 0,005 - 0,02 – pěstování víceletých pícnin
GRICODE2 = 3 AND OPEO <> TTP	úžkořádkové plodiny s využitím PEO (nebo víceleté pícniny)	$C_p$ 0,02 - 0,2 - pěstování pícnin nebo úžkořádkových plodin s využitím PEO
GRICODE2 = 3 AND OPEO <> TTP	úžkořádkové plodiny bez omezení, širokořádkové pouze s využitím PEO	$C_p$ 0,2 – 0,3 – pěstování úžkořádkových plodin nebo širokořádkové s PEO
GRICODE = 6	Les	Sklon svahu nad 30 % - zalesnění

OPEO

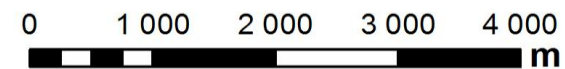
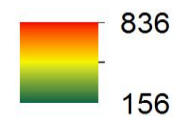
# Návrh OPEO



## Doporučení OPEO

-  TTP
-  les
-  víceleté píceiny
-  úzkorádkové plodiny s PEO
-  širokorádkové plodiny s PEO

## Výška [m.n.m]



OPEO



# Závěr



- byly splněny stanovené cíle práce:

## Arc Toolbox Vodní eroze

modely jednotlivých metod a nástroje pro usnadnění vyhodnocování erozních analýz

## Model OAPEO

GIS katastrů, obcí a regionů v ČR a SR.



# Cíle dalšího výzkumu



- vytvoření systému sběru dat a návrh struktury databáze pro interpolaci srážkového faktoru
- návrh databáze pro evidenci pěstovaných plodin a osevních postupů a určení C faktoru pro jednotlivá vegetační období plodiny a příslušným faktor erozní účinnosti deště pro dané období.
- zahrnutí výpočtu přípustné délky svahu a umístění TPEO
- zahrnutí výpočtu objemu přímého odtoku pomocí Metody CN a dimenze TPEO
- vytvoření metodiky pro tvorbu vrstev faktoru P, včetně návrhu databáze pro její evidenci
- verifikace modelů a analýza citlivosti jednotlivých faktorů reklasifikačních tabulek
- vytvoření webové aplikace, kde budou vytvořené modely přístupné dalším uživatelům

**GIS services**

Reliably and quality



***Děkuji za pozornost***



Ing Jiří Brychta

[www.gisservices.eu](http://www.gisservices.eu)