

Názov prednášky:

Modelovanie toku vody a erózie

Osnova prednášky:

- Úvod do problematiky
- Model SIMWE
- Model USLE

Odporúčaná literatúra

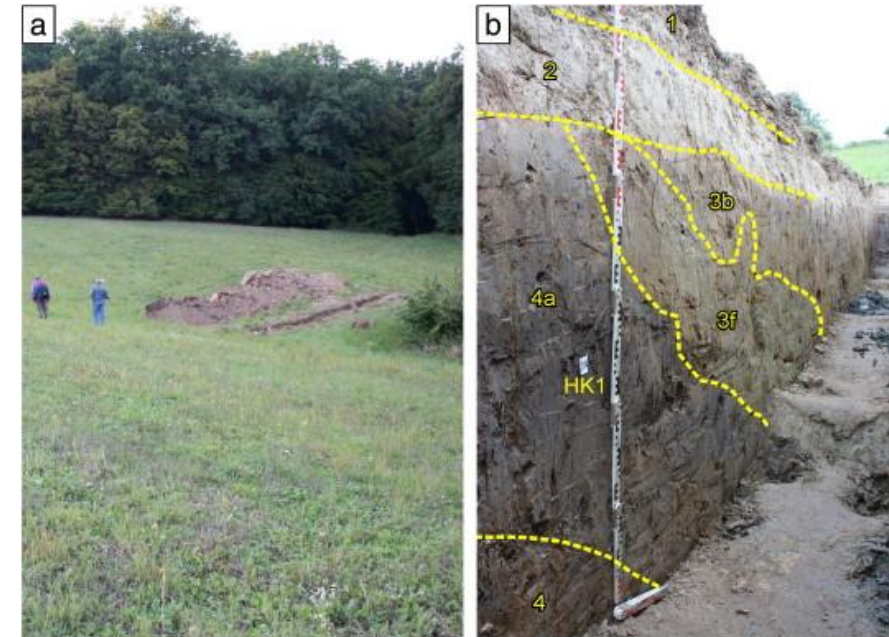
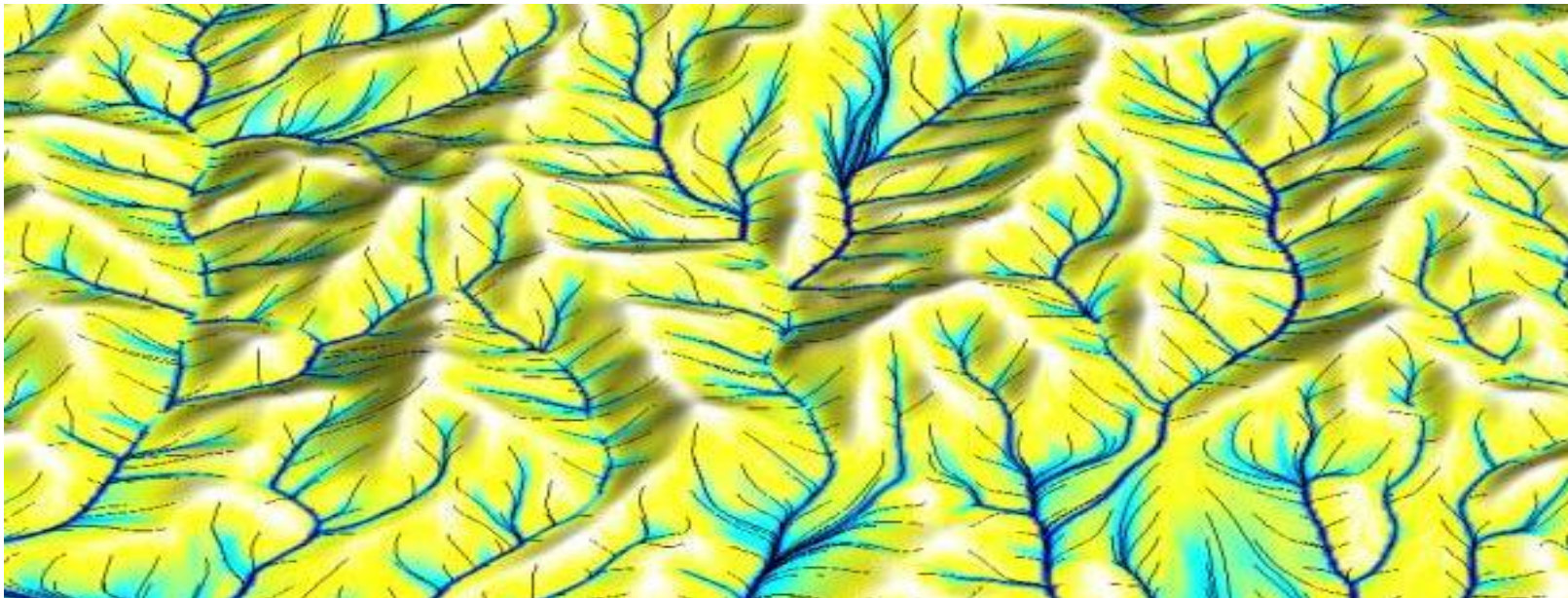
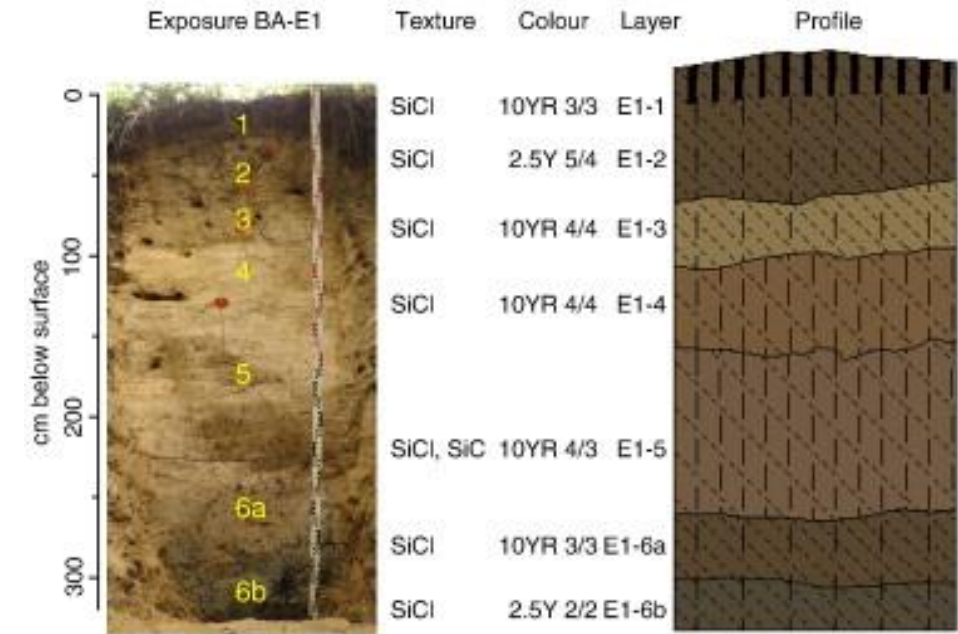
HOFIERKA, J., ŠÚRI, M., 1999: Modely vodnej erózie pôdy a ich aplikácie na Slovensku. Geografický časopis. Vol. 51, no. 2, p. 177-192.

Úvod do problematiky

Vodná (zrážková) erózia pôdy – súbor eróznno-akumulačných procesov podmienených zrážkovou vodou (dažďovou a z roztopeného snehu) tečúcou po svahu

Lehotský a Stankoviansky, 1992

- voda tečúca po svahu (povrchový tok vody) spôsobuje oddelenie pôdných častíc, ich transport a nakoniec ich akumuláciu
- základným nástrojom na modelovanie pohybu častíc po svahu je modelovanie povrchového toku vody (Moore a Foster, 1990)

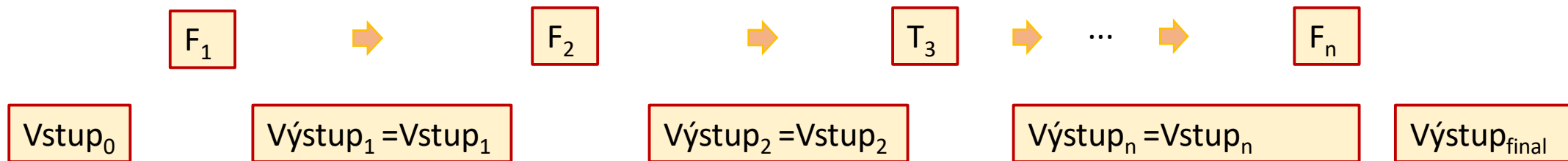


Úvod do problematiky

- Erózia pôdy je prirodzený proces, ktorého výsledkom je odstránenie (premiestnenie) častíc pôdnej hmoty mechanickým pôsobením exogénnych činiteľov vyznačujúcich sa určitou kinetickou energiou ako sú:
 - dážď, prúdiaca voda (povrchový odtok)
 - vietor,
 - zriedkavejšie ľad, topiaci sa sneh
 - živočíchy(Fulajtár, Janský, 2001).
- tento prírodný proces má v prirodzených podmienkach nízku intenzitu a je potrebným „omladzovacím“ procesom – stará pôda sa nahrádza novou
- intenzita takejto erózie je nižšia alebo rovnaká ako intenzita tvorby novej pôdy
- erózia s vyššou intenzitou ako je intenzita tvorby novej pôdy je nežiadúca, pričom dochádza ku degradácii fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy, k odnosu biologicky a hydrologicky najhodnotnejších povrchových vrstiev, k znižovaniu celkovej hĺbky pôdy, odnosu živín, úbytkom organickej hmoty, atď.
(Bielek, 1996, Fulajtár, Janský, 2001).

Pojem „iterácia“

- Pojem prevzatý z matematiky
- **Iteračná metóda** alebo **metóda postupných aproximácií** alebo **metóda postupnej aproximácie** je postup, pri ktorom sa opakovane používa nejaká operácia/funkcia s cieľom postupne sa priblížiť ku konečnému výsledku; formálnejšie vyjadrené: postup, pri ktorom sa z danej funkcie $f(x)$ tvoria postupne funkcie $f_2(x) = f(f(x))$, $f_3(x) = f(f_2(x)) = f(f(f(x)))$ atď.
- jednotlivé opakovanie v rámci tohto procesu sa označuje ako (prvá, druhá...n-1-vá, n-tá)
- Iterovanie je teda opakované použitie určitej funkcie $f(x)$ tak, že v ďalšom kroku sa ako argument funkcie použije výsledok predošlého kroku, t. j. $f_2(x) = f(f(x))$. Výsledok druhej iterácie sa použije v tretej atď. Funkcia sa aplikuje až do dosiahnutia stanoveného počtu iterácií (ten môže byť kladné celé číslo)



Modelovanie erózie pôdy

Empirické modely

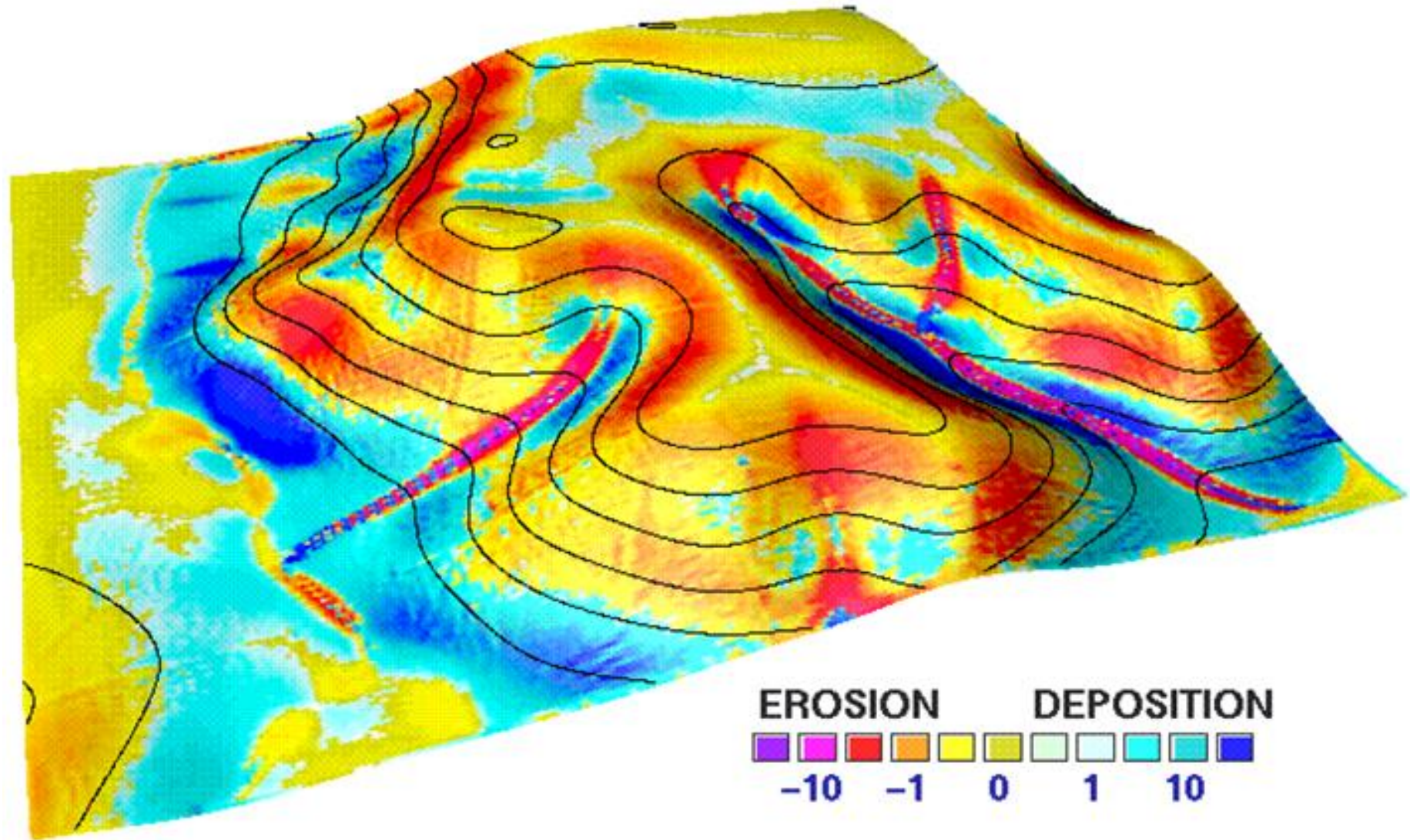
- USLE

Fyzikálne modely

- WEPP
- ERDEP
- USPED
- LISEM
- EUROSEM
- ANSWERS
- CREAMS
- AGNPS
- SIMWE

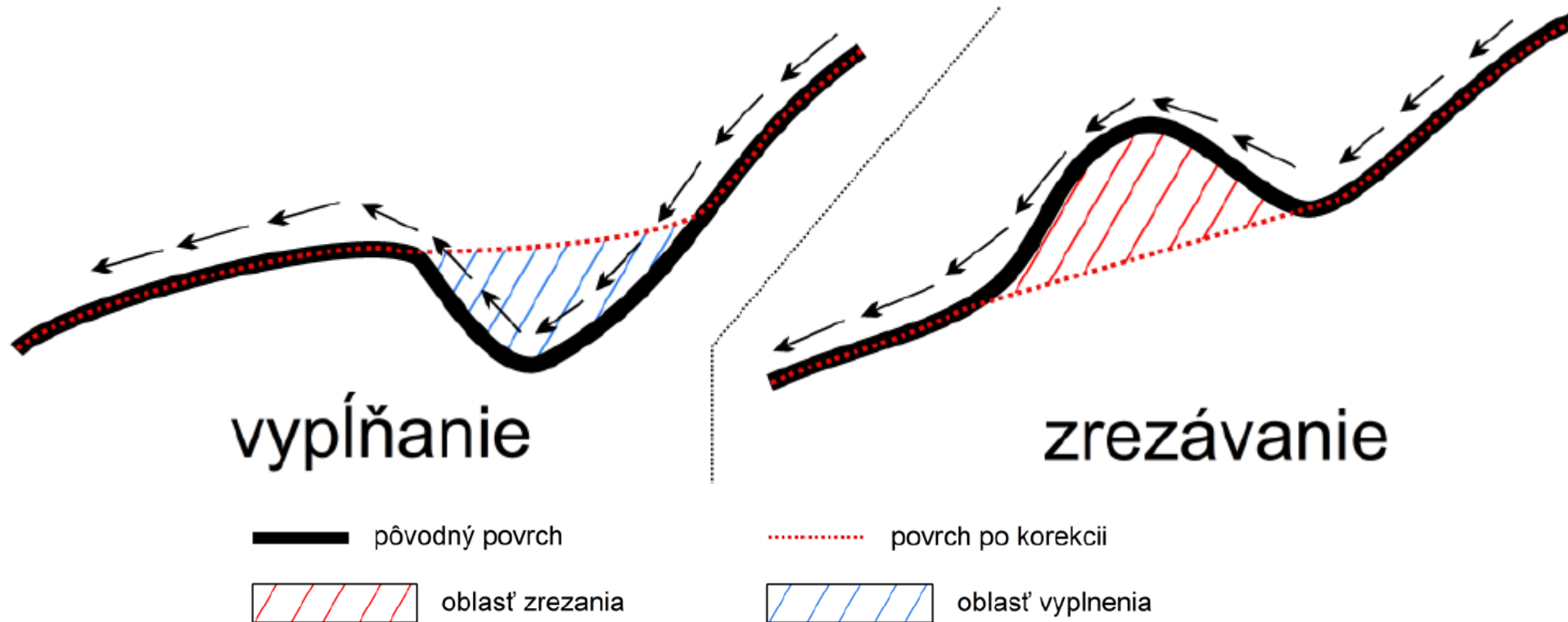
Modely výmoľovej erózie

- EGEM
- Minár a Tremboš (1994)
- Desmet et. al (1999)
- Sidorchuk (1999)
- Souchère et. al (2003)



Príprava dát

- DTM, ktorý vstupuje do výpočtov, musí spĺňať podmienku sprietočnenia
 - Sprietočnenie modelu spočíva v úpravách hodnôt nadmorskej výšky v tých bunkách DTM, ktoré vytvárajú prekážku pre odtok zrážkovej vody.
 - eliminácia falošných singularít

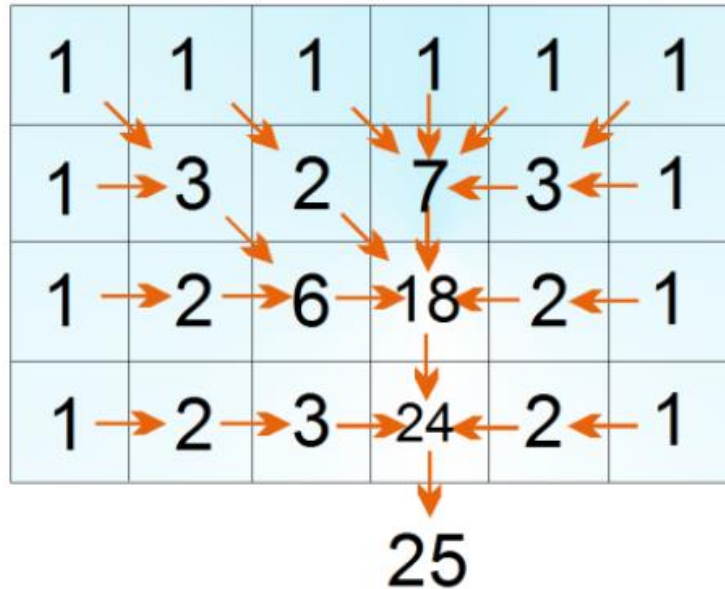


- Tento krok je možné vykonať pomocou modulu **r.fill.dir** v GRASS GIS

Model SIMWE

Prispievajúca/príspevková plocha

- Príspevková plocha – plocha, z ktorej voda odteká do skúmaného bodu
- V rámci rastrovej vrstvy DTM, príspevkovú plochu skúmanej bunky tvoria všetky bunky, v ktorých gravitačne podmienený smer toku hmoty spôsobuje, že prenášaný materiál sa dostane do skúmanej bunky
 - Základné pravidlo - ľubovoľná bunka, ktorá je súčasťou príspevkovej plochy skúmanej bunky, nemôže byť zároveň súčasťou príspevkovej plochy inej bunky



smer toku

7

počet prispievajúcich pixelov



pixel

- je možné počítať pomocou modulu **r.terraflow** v GRASS GIS-e
- tento modul počíta aj TCI (Topographic Convergence Index)

$$TCI = \ln \left(\frac{\alpha}{\tan \beta} \right)$$

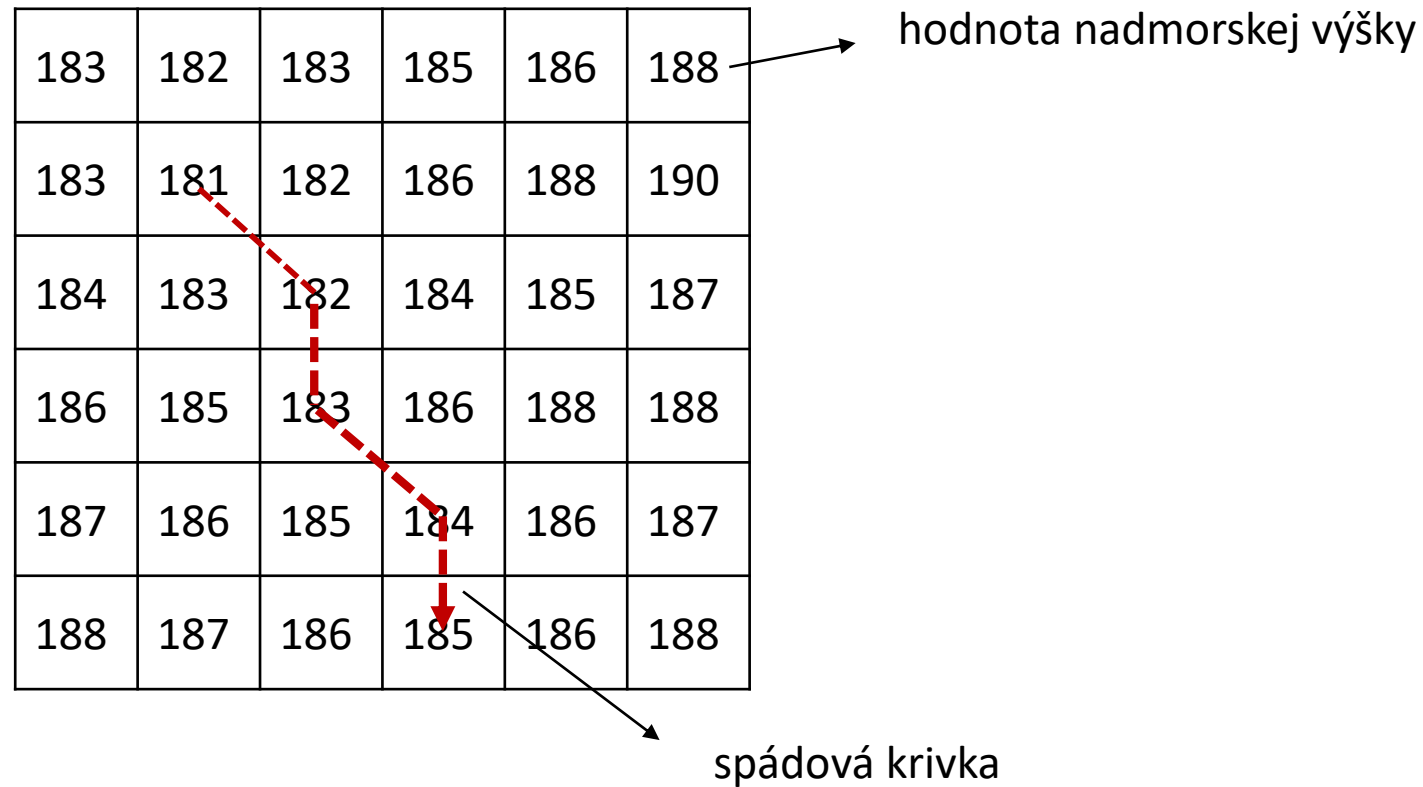
α - príspevková plocha

β - sklon reliéfu v smere maximálneho spádu

Model SIMWE

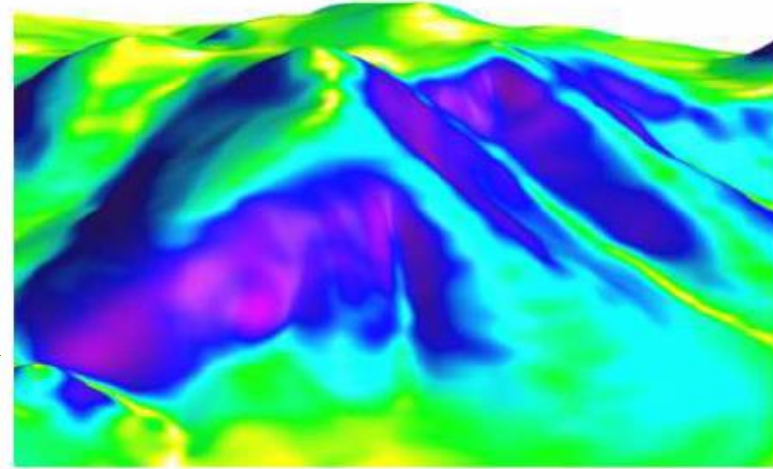
Výpočet spádových kriviek

- modul r.flow v GRASS GIS-e
- Algoritmus založený na vyhľadávaní lomových bodov
- Počet buniek, cez ktoré prechádza spádová krivka = parameter dĺžky spádovej krivky

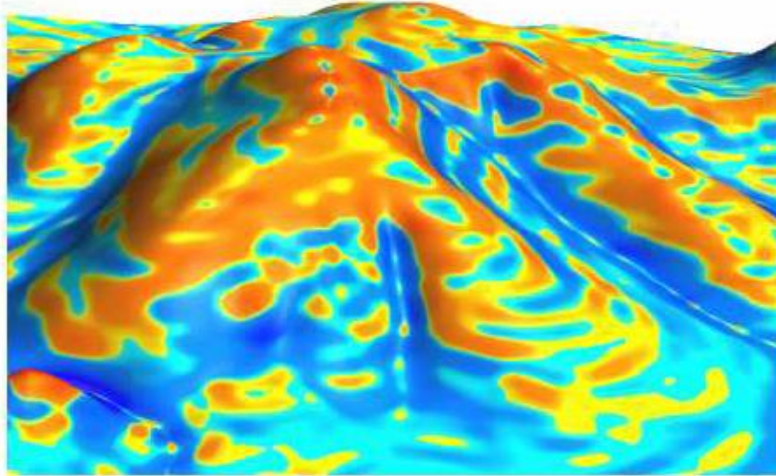


Model SIMWE

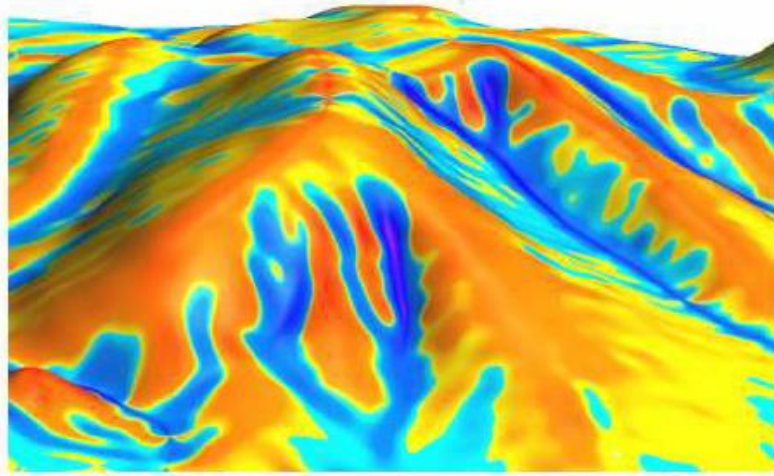
- Model implementovaný do prostredia GRASS GIS r.sim.water / r.sim.sediment
- príprava vstupných údajov
 - zrážky
 - georeliéf (nadmorská výška)
 - odvodené geomorfometrické parametre
 - parciálne derivácie 1. rádu
 - parciálne derivácie 2. rádu



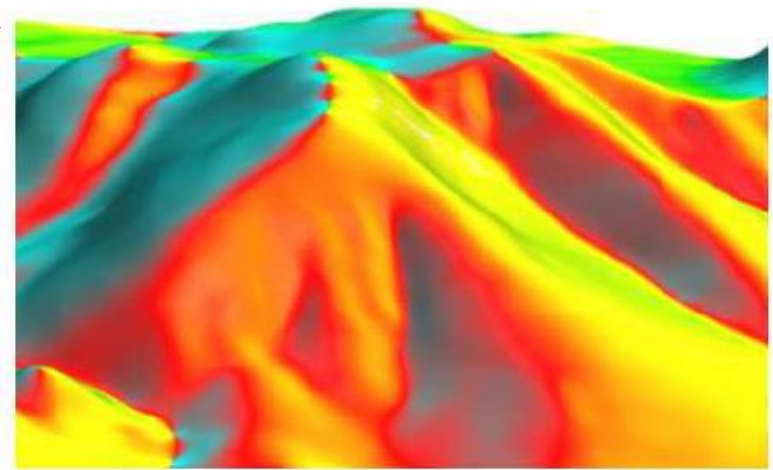
sklon



Normálová krivosť v smere spádnice



Normálová krivosť v smere dotýčnice ku vrstevnici



orientácia

- vlastnosti pôdy (schopnosť infiltrácie vody do pôdy)

Model SIMWE

Princíp modelovania

- Model SIMWE – Simulation of Water Erosion (Mitas & Mitasova, 1998)
- simulácia procesov povrchového tečenia vody a vodnej erózie pôdy pomocou metódy Monte Carlo náhodných krokov
 - Transport častíc po povrchu
- metóda je založená na dualite medzi fyzikálnym poľom a časticami
 - dualita - hustota častíc v priestore vytvára pole a naopak
 - priestorové procesy sú reprezentované priestorovými a časovými zmenami polí alebo priestorovo distribuovanými časticami
- 2D kontinuálna rovnica prúdenia povrchového toku vody (r.sim.water)
- 2D model erózie pôdy vychádzajúci z modelu WEPP (r.sim.sediment)

Model SIMWE

NAME

r.sim.water - Overland flow hydrologic simulation using path sampling method (SIMWE).

KEYWORDS

raster, flow, hydrology

SYNOPSIS

r.sim.water

r.sim.water help

r.sim.water [-t] *elevin=name dxin=name dyin=name* [*rain=name*] [*rain_val=float*] [*infil=name*]
[*infil_val=float*] [*manin=name*] [*manin_val=float*] [*traps=name*] [*depth=name*] [*disch=name*]
[*err=name*] [*nwalk=integer*] [*niter=integer*] [*outiter=integer*] [*diffc=float*] [*hmax=float*] [*halpha=float*]
[*hbeta=float*] [--overwrite] [--verbose] [--quiet]

Model SIMWE

Parameters:

elevin=name

Name of elevation raster map [m]

dxin=name

Name of x-derivatives raster map [m/m]

dyin=name

Name of y-derivatives raster map [m/m]

rain=name

Name of rainfall excess rate (rain-infilt) raster map [mm/hr]

rain_val=float

Rainfall excess rate unique value [mm/hr]

Default: 50

infil=name

Name of runoff infiltration rate raster map [mm/hr]

infil_val=float

Runoff infiltration rate unique value [mm/hr]

Default: 0.0

manin=name

Name of Manning's n raster map

manin_val=float

Manning's n unique value

Default: 0.1

traps=name

Name of flow controls raster map (permeability ratio 0-1)

depth=name

Name for output water depth raster map [m]

disch=name

Name for output water discharge raster map [m³/s]

err=name

Name for output simulation error raster map [m]

nwalk=integer

Number of walkers, default is twice the number of cells

niter=integer

Time used for iterations [minutes]

Default: 10

outiter=integer

Time interval for creating output maps [minutes]

Default: 2

diffc=float

Water diffusion constant

Default: 0.8

hmax=float

Threshold water depth [m]

Diffusion increases after this water depth is reached

Default: 0.3

halpha=float

Diffusion increase constant

Default: 4.0

hbeta=float

Weighting factor for water flow velocity vector

Default: 0.5

Model SIMWE

NAME

r.sim.sediment - Sediment transport and erosion/deposition simulation using path sampling method (SIMWE).

KEYWORDS

raster, sediment flow, erosion, deposition

SYNOPSIS

r.sim.sediment

r.sim.sediment help

r.sim.sediment *elevin=name wdepth=name dxin=name dyin=name detin=name tranin=name tauin=name* [*manin=name*] [*manival=float*] [*tc=name*] [*et=name*] [*conc=name*] [*flux=name*] [*erdep=name*] [*nwalk=integer*] [*niter=integer*] [*outiter=integer*] [*diffc=float*] [--**overwrite**] [--**verbose**] [--**quiet**]

Model SIMWE

Parameters:

elevin=*name*

Name of elevation raster map [m]

wdepth=*name*

Name of water depth raster map [m]

dxin=*name*

Name of x-derivatives raster map [m/m]

dyin=*name*

Name of y-derivatives raster map [m/m]

detin=*name*

Name of detachment capacity coefficient raster map [s/m]

tranin=*name*

Name of transport capacity coefficient raster map [s]

tauin=*name*

Name of critical shear stress raster map [Pa]

manin=*name*

Name of Manning's n raster map

manival=*float*

Manning's n unique value

Default: 0.1

tc=*name*

Name for output transport capacity raster map [kg/ms]

et=*name*

Name for output transport limited erosion-deposition raster map [kg/m²s]

conc=*name*

Name for output sediment concentration raster map [particle/m³]

flux=*name*

Name for output sediment flux raster map [kg/ms]

erdep=*name*

Name for output erosion-deposition raster map [kg/m²s]

nwalk=*integer*

Number of walkers

niter=*integer*

Time used for iterations [minutes]

Default: 10

outiter=*integer*

Time interval for creating output maps [minutes]

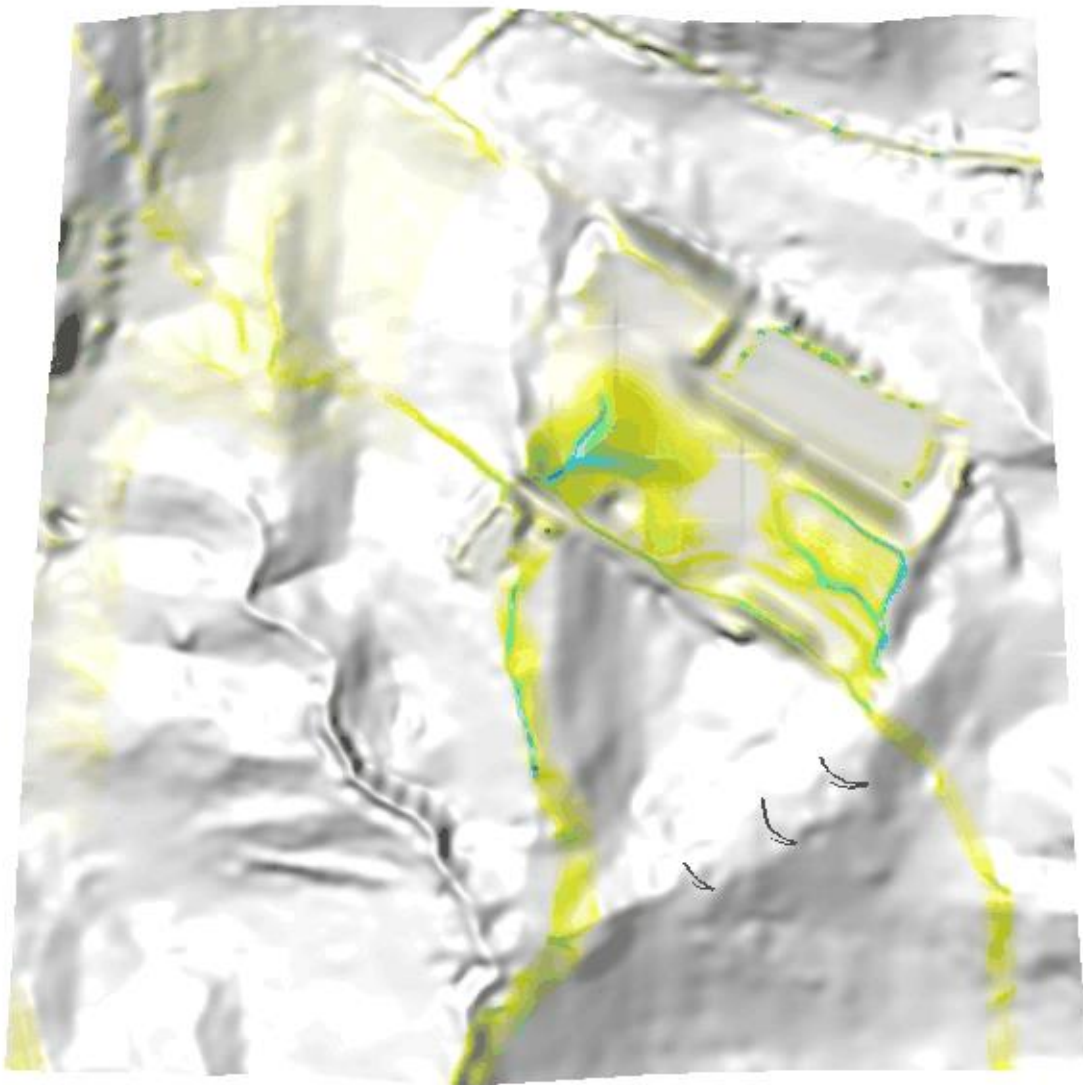
Default: 2

diffc=*float*

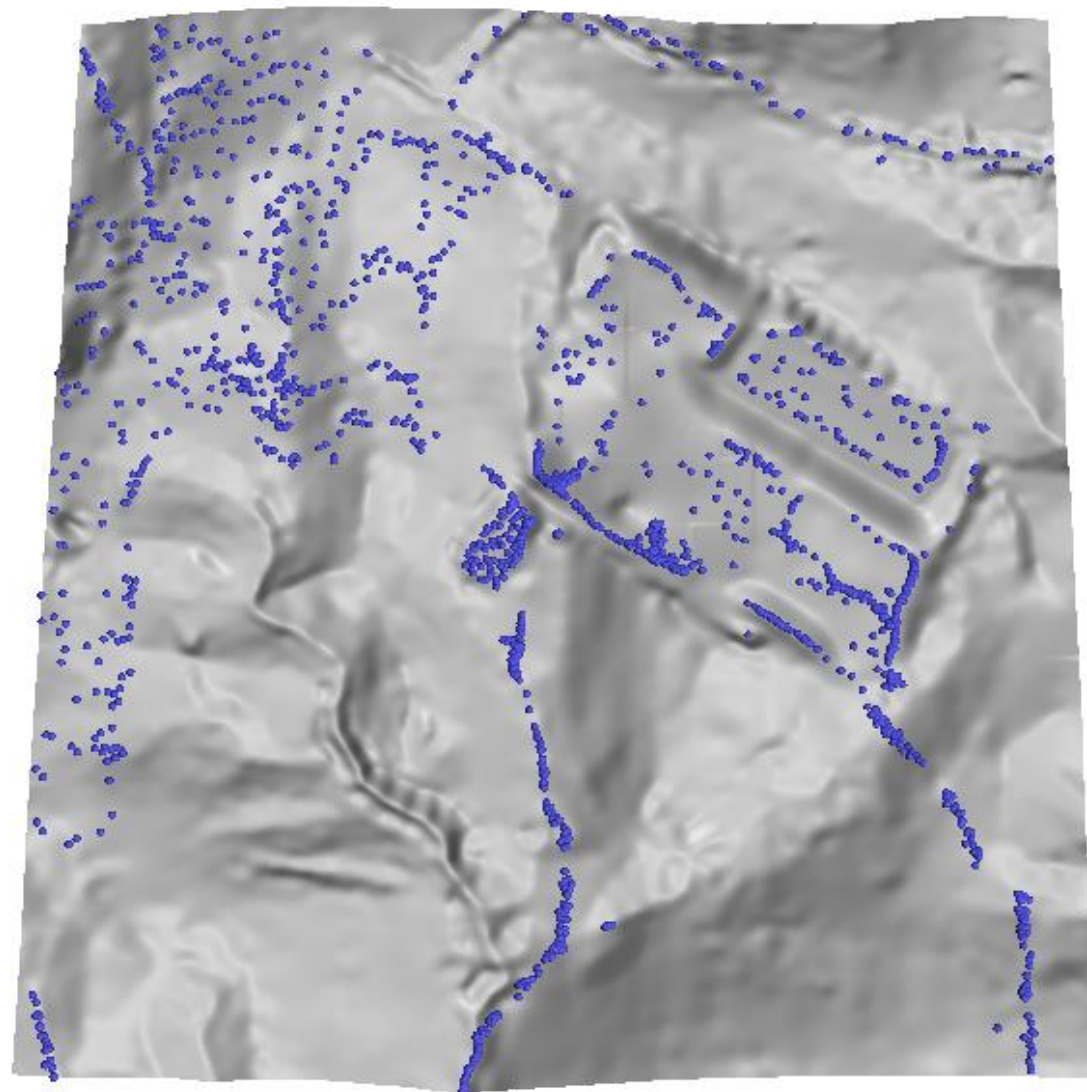
Water diffusion constant

Default: 0.8

Povrchový tok vody simulovaný príkazom r.sim.water v GRASS-e



reprezentácia poľom

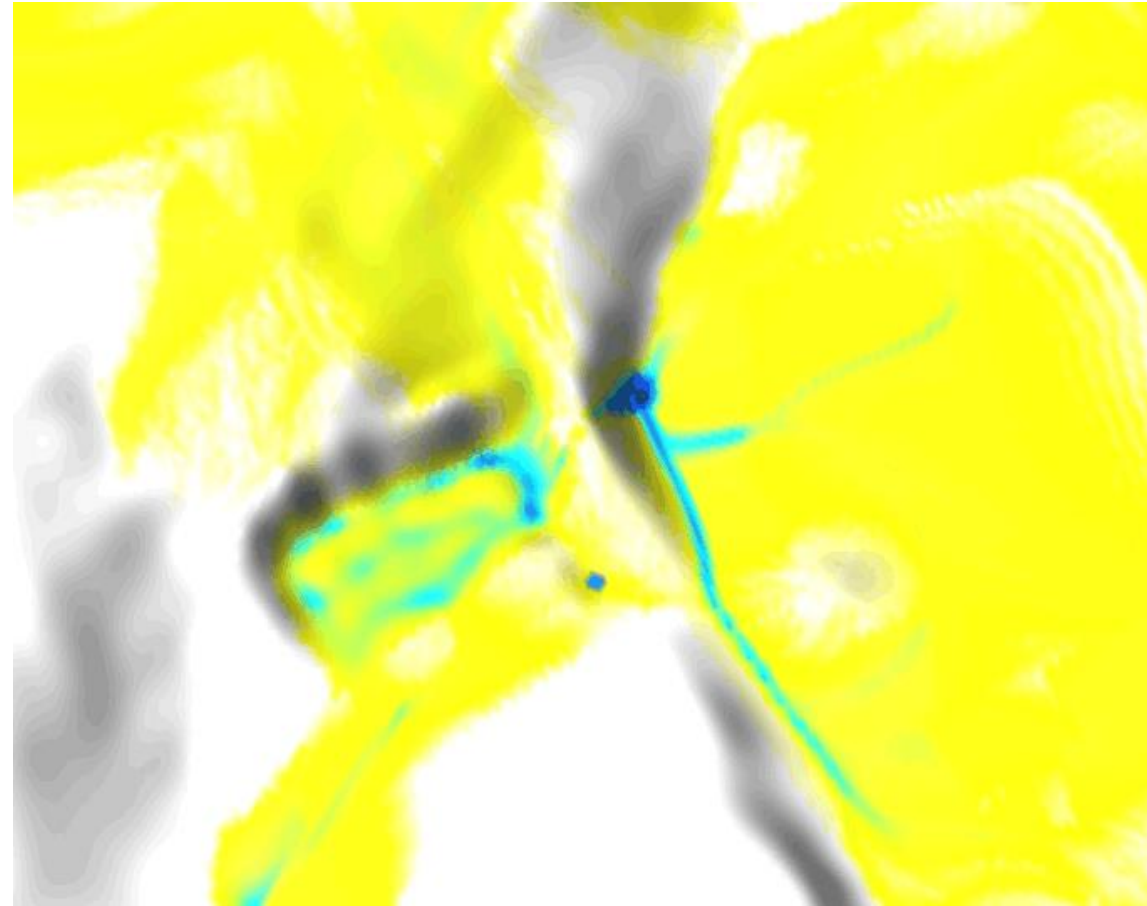


reprezentácia časticami (zobrazené 1% častíc)

Preferovaný tok



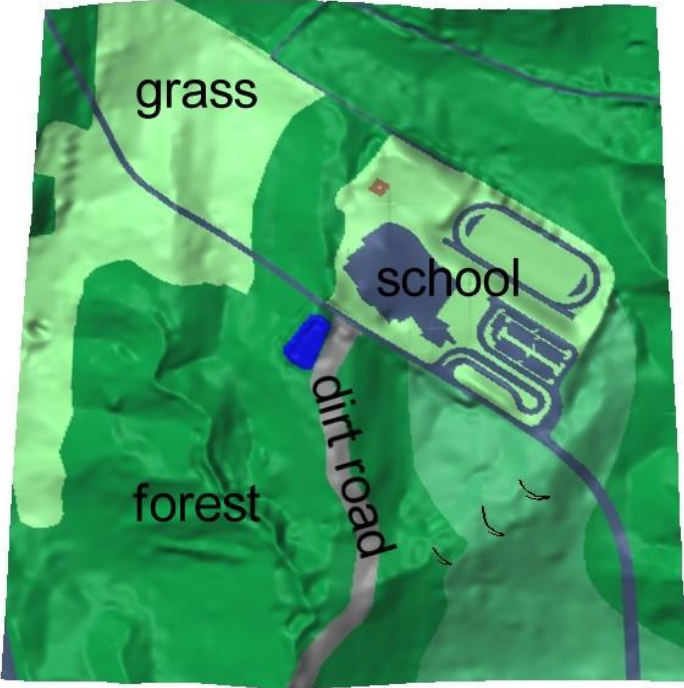
simulácia efektu rúry pomocou preferenčného toku



vytvorená retenčná nádrž a prívodná rúra

Plánovanie golfového ihriska

Scenáre



1. pred výstavbou



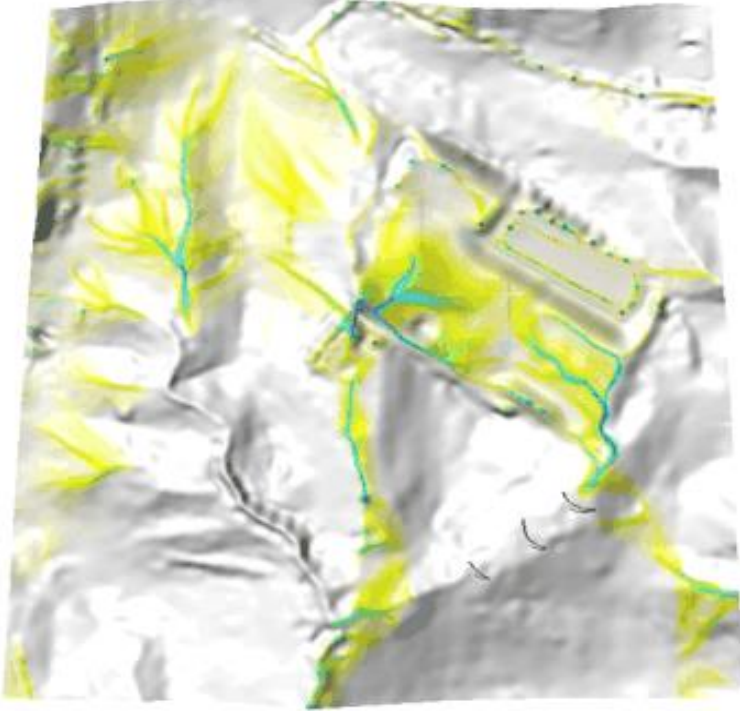
2. počas výstavby



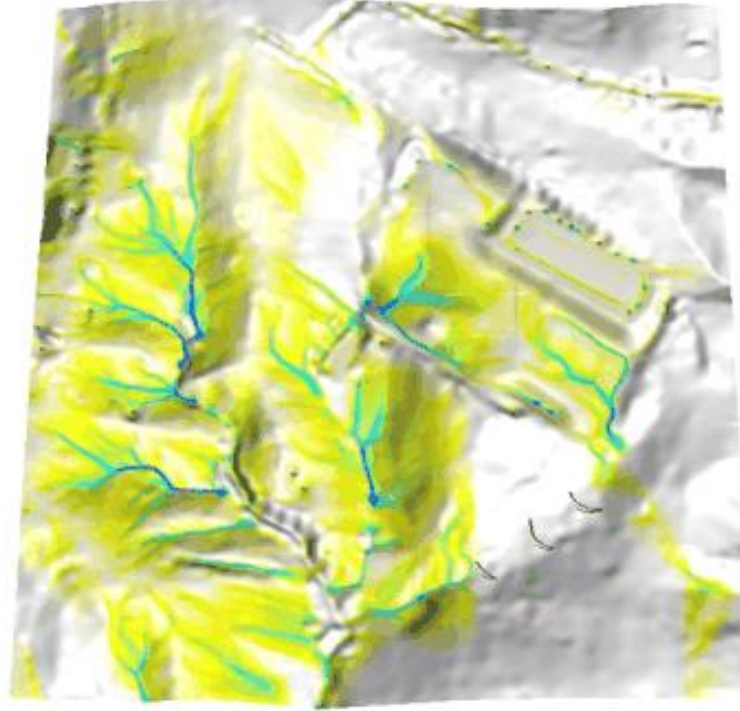
3. po výstavbe
- dokončené golfové ihrisko

Porovnanie scenárov

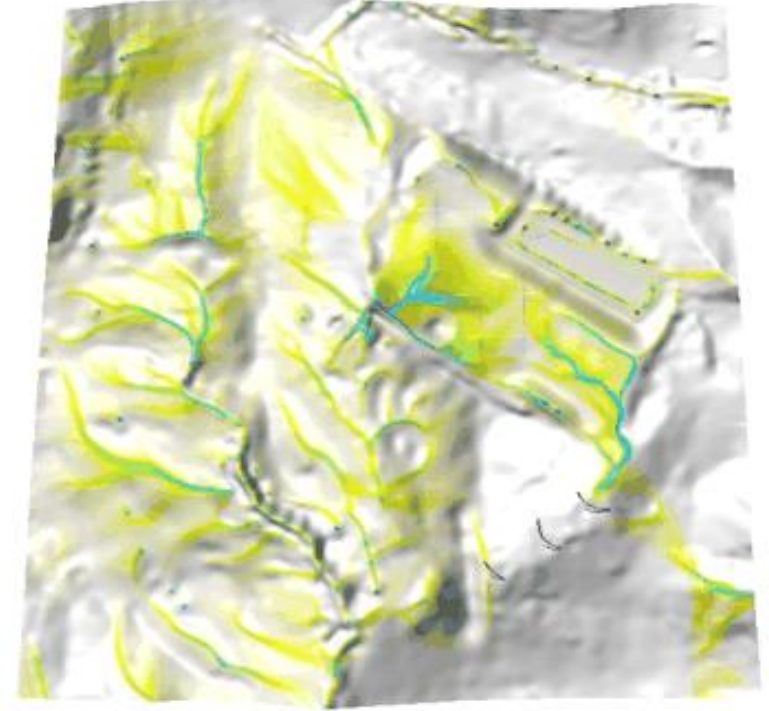
Tok vody



1. pred výstavbou



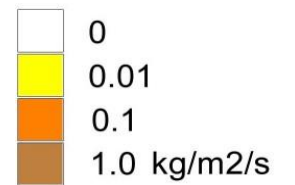
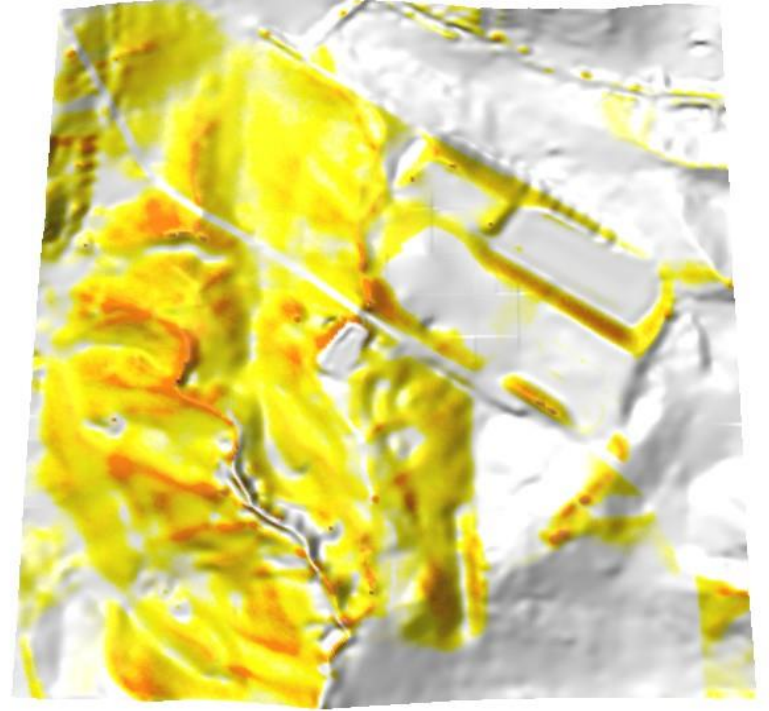
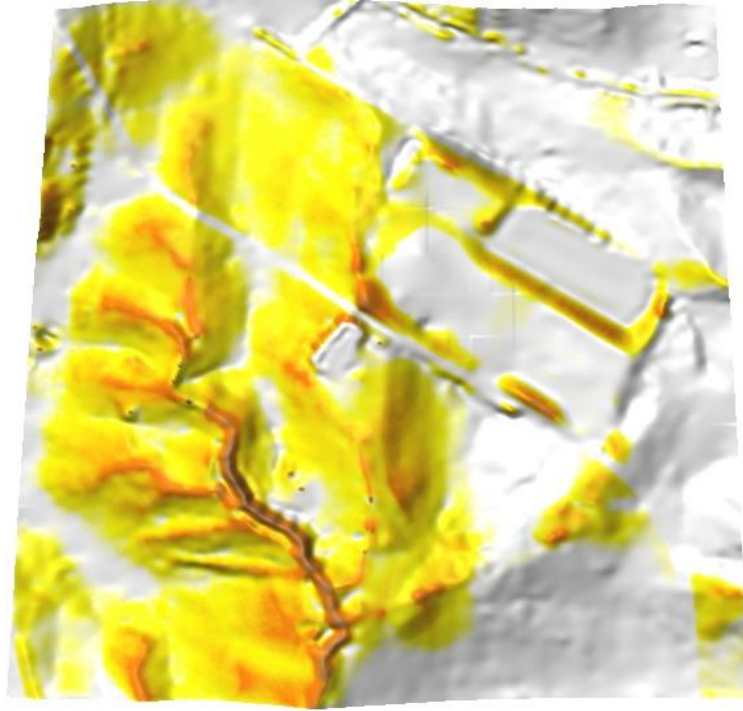
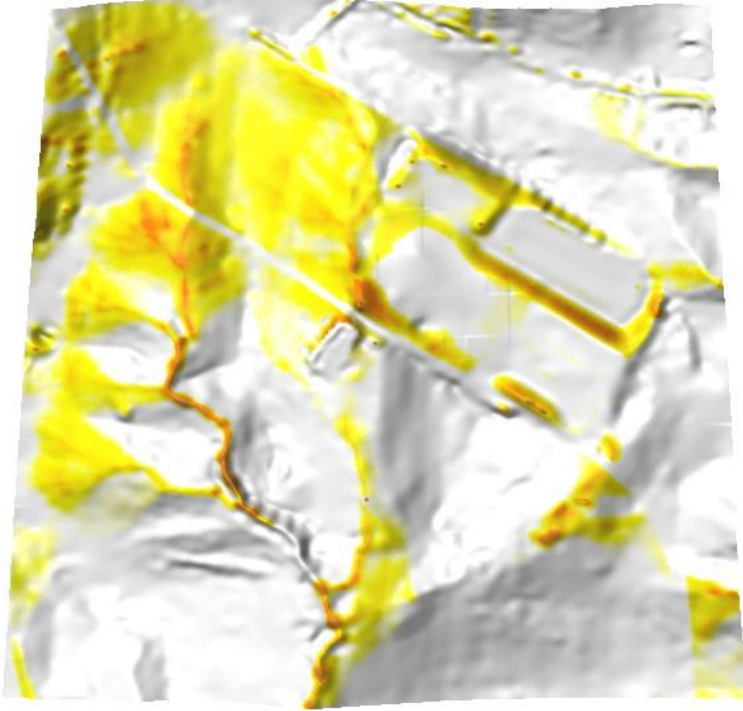
2. počas výstavby



3. po výstavbe
- dokončené golfové ihrisko

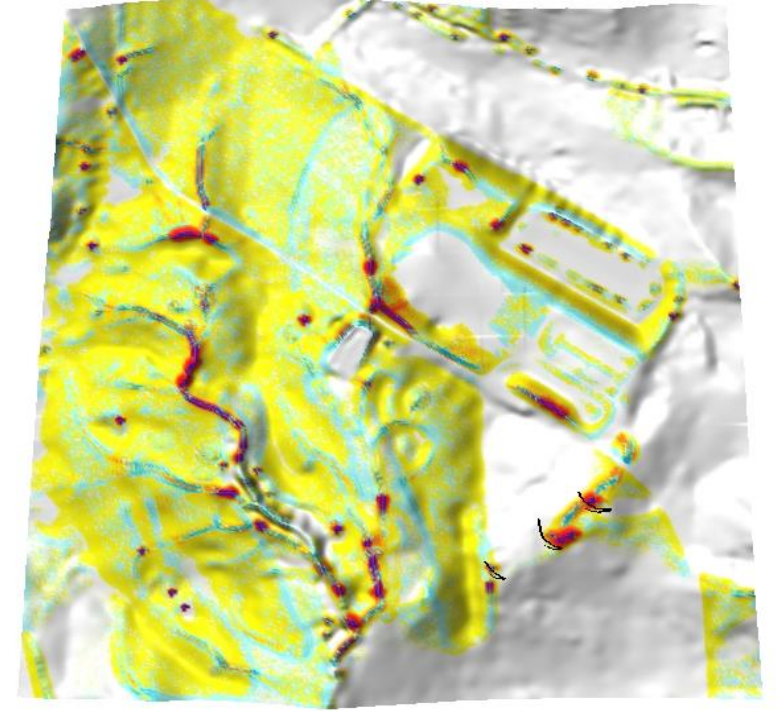
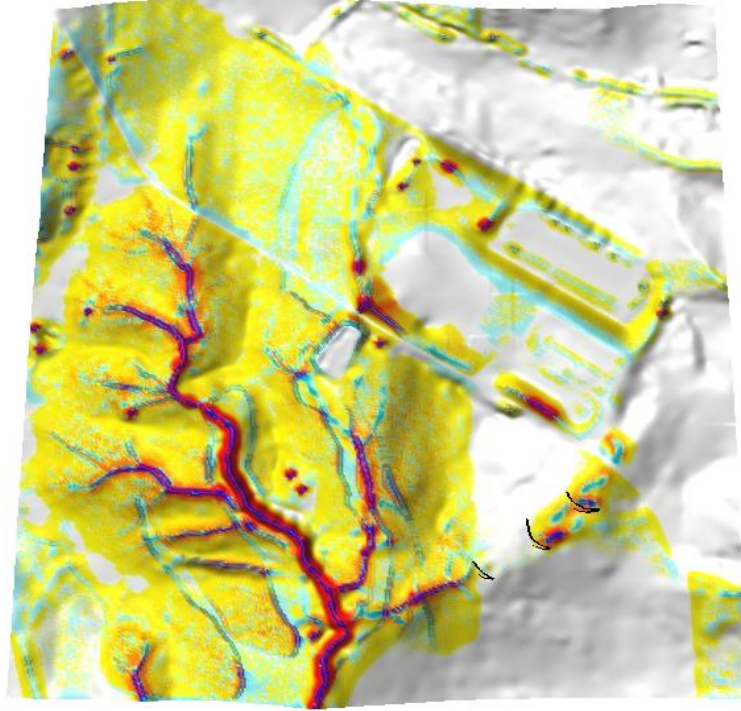
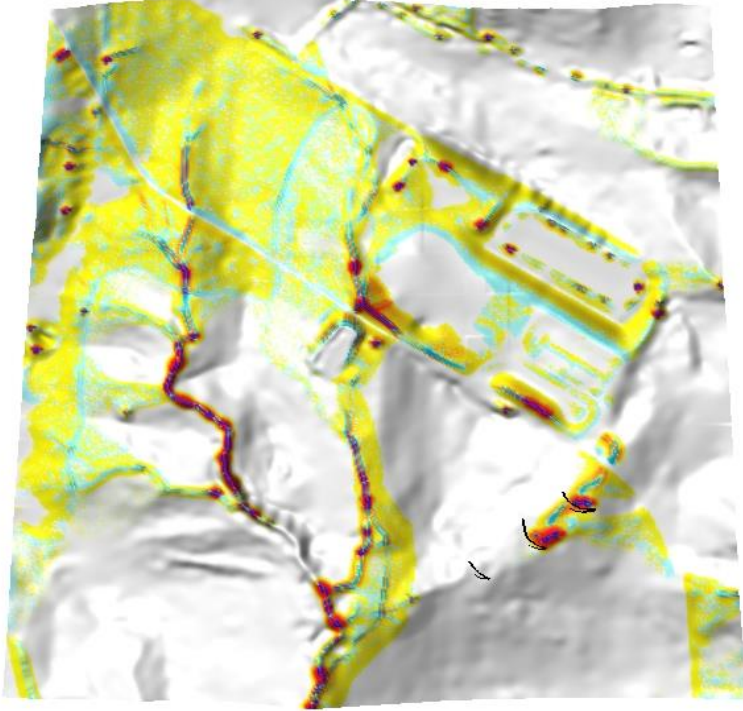
Porovnanie scenárov

Tok sedimentov



Porovnanie scenárov

Intenzita erózie a akumulácie



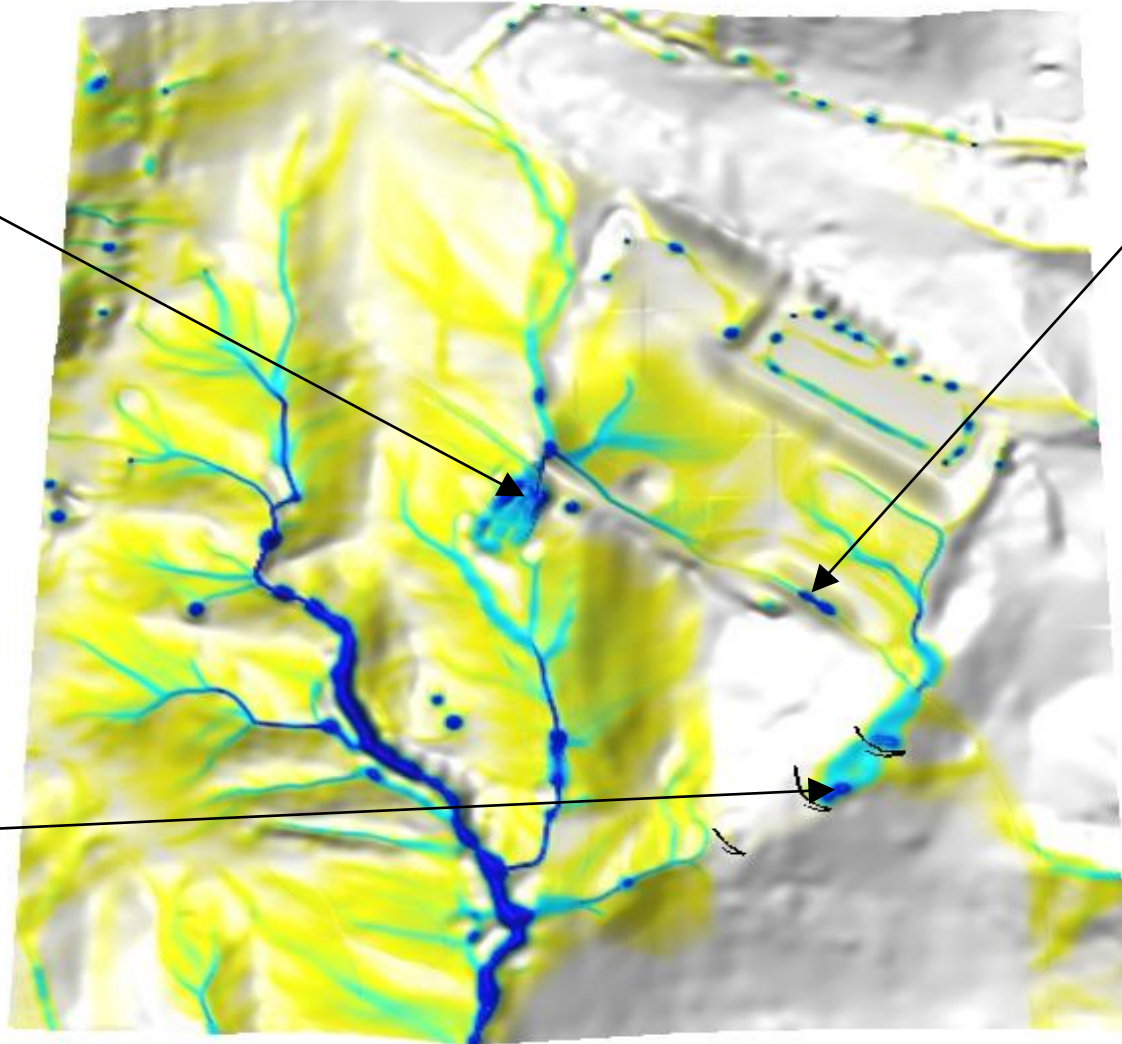
■ net erosion

■ net deposition

Protierózne opatrenia



retenčná nádrž



plot v retenčnej oblasti

Model USLE

- Modelovanie veľkosti erózie pôdy povrchovo odtekajúcou vodou, na základe všeobecnej rovnice zmyvu pôdy

$$E = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P \text{ [t.ha}^{-1}\text{.rok}^{-1}\text{]}$$

E – strata pôdy v tonách na ha za rok

R – faktor eróznej účinnosti prívalového dažďa

K – faktor náchylnosti pôdy na eróziu

L – faktor dĺžky svahu

S – faktor sklonu svahu

C – faktor ochranného vplyvu vegetácie

P – faktor účinnosti protieróznych opatrení

Model USLE

- **Faktor erózne účinnosti dažďa**

- Súčin celkovej kinetickej energie prívalového dažďa a jeho maximálnej 30- minútovej intenzity

$$R = E \cdot i_{30}$$

i_{30} - maximálna 30 minútová intenzita dažďa [cm.h^{-1}]

E – celková kinetická energia dažďa [J.m^{-2}]

$$E = (206 + 87 \log i) \cdot Z$$

Z – zrážkový úhrn

i – intenzita dažďa [cm.h^{-1}]

- uvedený faktor vyjadruje pravdepodobnosť výskytu dažďa s určitou energiou
- podrobný metodický postup výpočtu uvádza napr. Janeček a kol., (2012).

Model USLE

- **Faktor náchylnosti pôdy na eróziu (K - faktor)**

- Určuje sa na základe infiltračných vlastností pôdy a odolnosti pôdných agregátov pri dopade dažďových kvapiek a transportu povrchovo odtekajúcou vodou
 - o týchto vlastnostiach rozhoduje najmä zrnitosť pôdy, štruktúra pôdy, obsah humusu, a pod

HPJ	K	HPJ	K	HPJ	K	HPJ	K
00	0,72	50	0,59	12	0,26	62	0,39
01	0,20	51	0,50	13	0,26	63	0,30
02	0,31	52	0,55	14	0,20	64	0,17
03	0,31	53	0,52	15	0,31	65	0,41
04	0,34	54	0,51	16	0,13	66	0,35
05	0,31	55	0,25	17	0,22	67	0,20
06	0,31	56	0,30	18	0,16	68	0,39
07	0,26	57	0,30	19	0,23	69	0,25
08	0,26	58	0,30	20	0,25	70	0,20
09	0,26	59	0,21	21	0,23	71	0,35
10	0,13	60	0,21	22	0,23	72	0,25
11	0,34	61	0,31	23	0,25	73	0,11



HPJ – hôavná pôdna jednotka

čísllice na 3. a 4. mieste sedemmiestneho kódu BPEJ

Model USLE

- Faktor dĺžky svahu a sklonu (L a S)

- čím väčší sklon, tým väčší odtok, a tým väčšia erózia pôdy
- Čím dlhší svah, tým sa zvyšuje množstvo odtekajúcej vody a tým sa zvyšuje erózia pôdy

- Neskôr sa faktor S zamenil za faktor tzv. veľkosť prispievajúcej plochy
- V metodike RUSLE sa faktor S a L uvádza ako spoločný faktor

Faktor sklonu svahu S - vyjadruje pomer straty pôdy na jednotku plochy záujmového celku k strate pôdy na štandardnej porovnávacej ploche so sklonom $s = 9\%$

$$S = \frac{0,43 + 0,3 s + 0,043 s^2}{6,313}$$

s – sklon svahu v %

Faktor dĺžky svahu L - vyjadruje pomer straty pôdy na jednotku plochy záujmového celku, k strate pôdy na štandardnej porovnávacej ploche dlhej 22,13 m

$$L = \left(\frac{d}{22,13} \right) p$$

d – neprerušená dĺžka svahu

p – náchylnosť svahu na ryhovú eróziu (pre sklon do 3% $p=0,3$; 3%-5% $p=0,4$; nad 5% $p=0,5$)

Model USLE

- LS faktor dĺžky svahu a sklonu (L a S)

- čím väčší sklon, tým väčší odtok, a tým väčšia erózia pôdy
- Čím dlhší svah, tým sa zvyšuje množstvo odtekajúcej vody a tým sa zvyšuje erózia pôdy

- Neskôr sa faktor S zamenil za faktor tzv. veľkosť prispievajúcej plochy
- V metodike **RUSLE** sa faktor S a L uvádza ako spoločný faktor

Faktor sklonu svahu S - vyjadruje pomer straty pôdy na jednotku plochy záujmového celku k strate pôdy na štandardnej porovnávacej ploche so sklonom $s = 9\%$

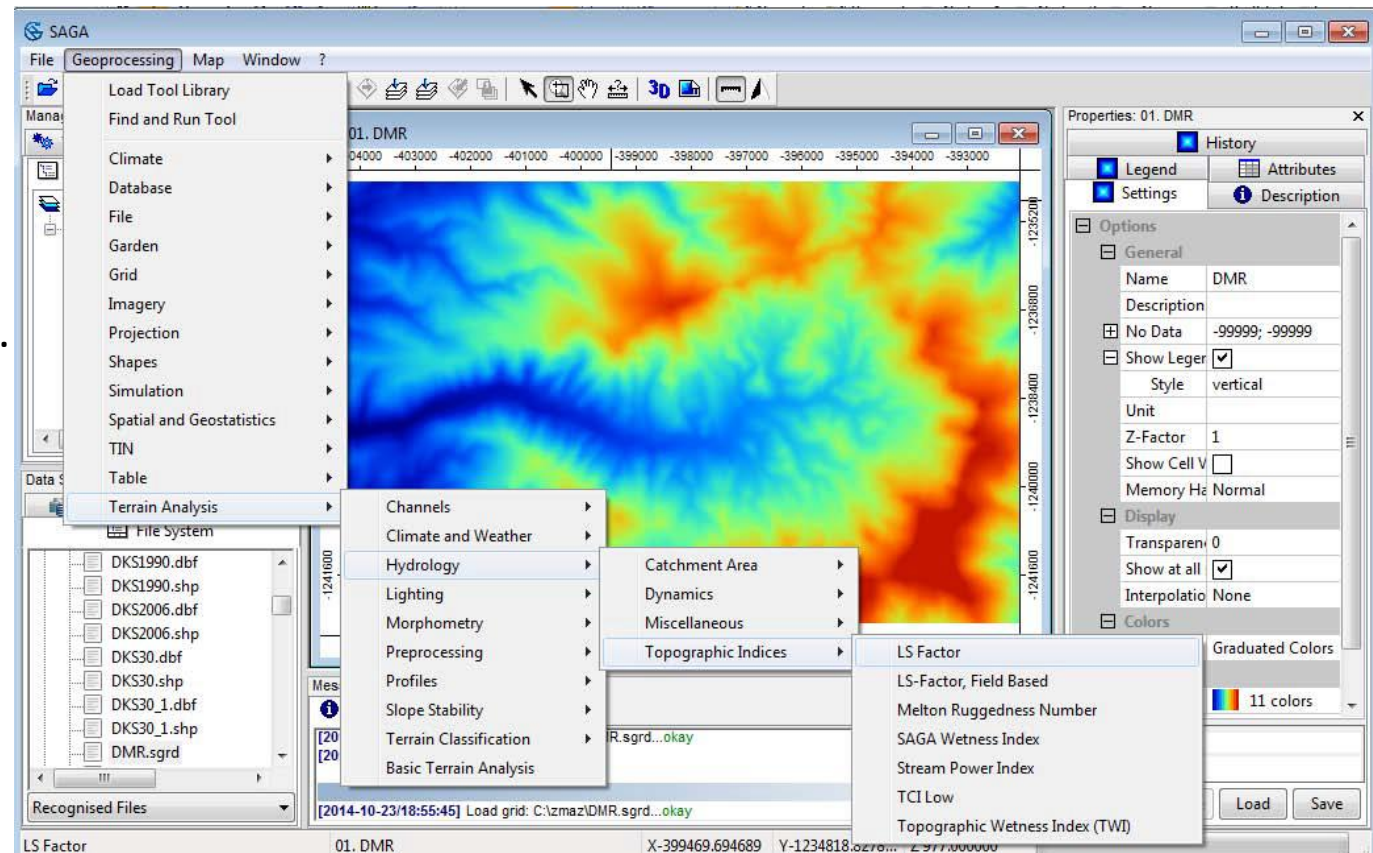
$$LS = \left(\frac{A}{22,13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0,0896} \right)^n$$

A – veľkosť prispievajúcej plochy

β – sklon v stupňoch ($^{\circ}$)

m, n – koeficienty závislé od typu modelovanej erózie.

Pri plošnom odtoku sa obe rovnajú 1



Model USLE

- Faktor ochranného vplyvu vegetácie (Faktor C)

- ochrane povrchu pred dopadajúcimi dažďovými kvapkami, v spomaľovaní povrchového odtoku, zvyšovaní infiltrácie, zlepšovaní štruktúry pôdy, spevňovaní pôdy, atď.
- čím väčší zápoj, tým vyššia ochrana
- z poľnohospodárskych plodín poskytujú najlepšiu ochranu trávne porasty. Naopak, širokoriadkové plodiny, ako kukurica, zemiaky, vinice a sady (bez trávneho podrastu) chránia pôdu najmenej (Janeček a kol., 2012). Najdokonalejšou ochranou je les.

Názov plodiny	Hodnota C-faktora
chmeľnice	0,73
sady a vinice – bez terasovania	0,62
zemiaky	0,60
zemiaky skoré	0,51
kukurica na zmo	0,58
kukurica na siláž	0,49
cukrová repa	0,53
obilniny- jaré	0,31
oziminy	0,18
sady, vinice – terasované	0,12
dateľoviny	0,015
lucerna	0,002
lúky, viacročné tráv	0,005

Model USLE

- Faktor účinnosti protieróznych opatrení (Faktor P)

- účinnosť protieróznych opatrení je vyjadrený pomerom straty pôdnej hmoty obhospodarovanej pozdĺž vrstevníc (vrstevnicová agrotechnika) a štandardnou orbou (pri tvorbe interaktívneho modelu nebol zohľadnený)
- Potenciálna erózia - eróziu, ktorá by sa na danej ploche vyskytovala, keby na nej nerástla žiadna vegetácia a neboli by na nej vykonané žiadne technické ani biotické protierózne opatrenia

$$E_{\text{pot}} = R \cdot K \cdot LS$$

E_{pot} = strata pôdy v tonách na ha za rok

R = faktor eróznej účinnosti prívalového dážďa

K = faktor náchylnosti pôdy na eróziu

LS = spoločný faktor veľkosti prispievajúcej plochy a sklonu svahu

Protierózne opatrenia	Sklon svahu			
	2 – 7	7 – 12	12 – 18	18 – 24
priame riadky v ľubovlnom smere	1,00	1,00	1,00	1,00
vrstevnicové obrábanie	0,60	0,70	0,90	1,00
pásové pestovanie plodín				
– striedanie okopanín a viacročných krmovín	0,30	0,35	0,40	0,45
– striedanie okopanín a ozimín	0,50	0,60	0,75	0,90
hrádzkovanie	0,25	0,30	0,40	0,45
terasovanie (podľa typu)			0,50 – 0,15	0,05 – 0,20

Užitočný odkaz

<http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/erozia/vod/vod.aspx>

Model USLE

