

Tvorba hydrologických podkladov pre návrh protieróznych opatrení v krajine v prostredí GIS

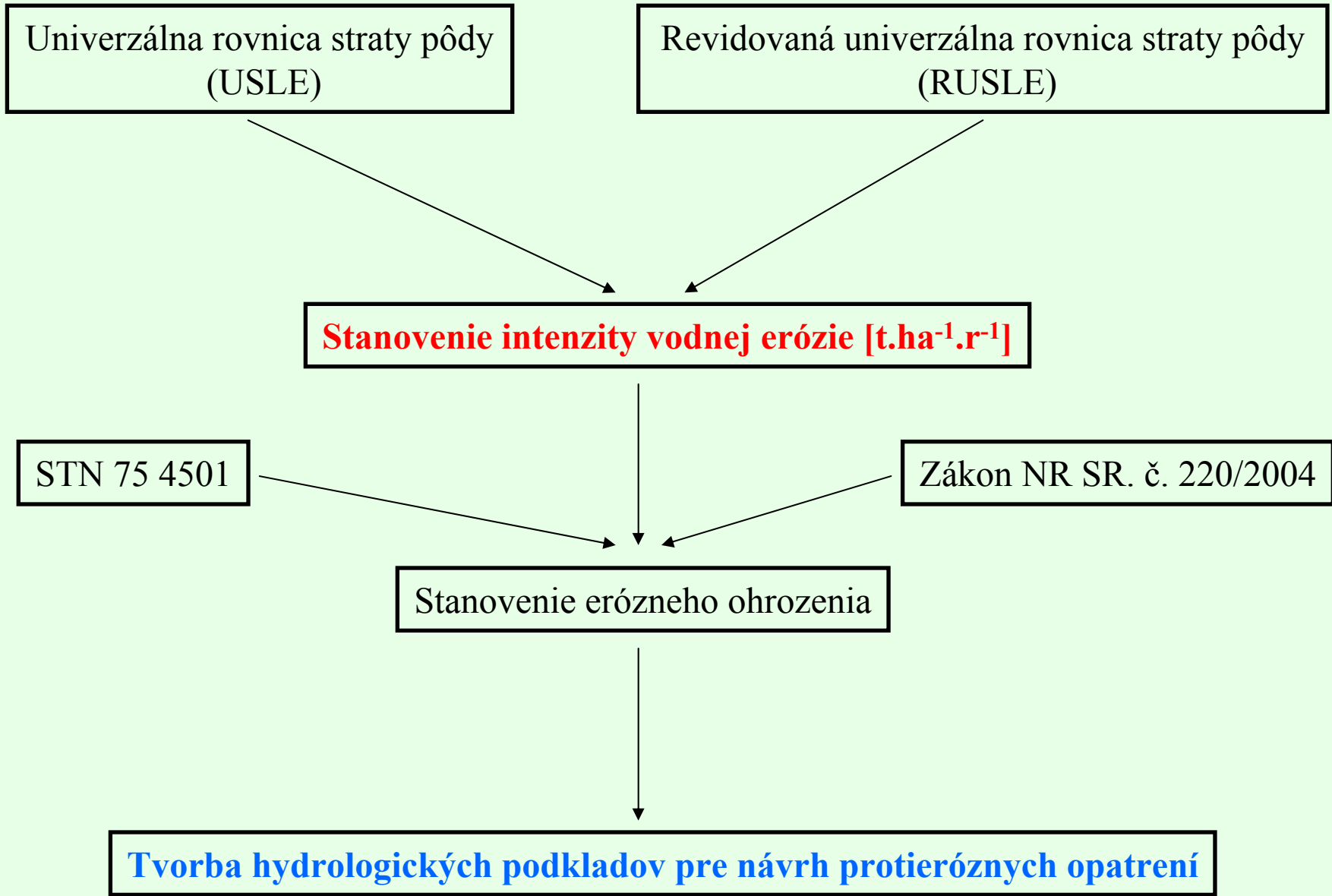


Karol Šinka

Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav

Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre



Tvorba hydrologických podkladov pre návrh protieróznych opatrení

Výška [mm] a objem [m³] povrchového odtoku
(CN-metóda)

Doba koncentrácie [h]

Plošný povrchový odtok
(CN – metóda)

+

Sústredený odtok malej hĺbky
(Bransby – Williams)

Kulminačný (maximálny) prietok [m³.s⁻¹]

Autor: Dr. Holger Schäuble, geograf

Názov: **HydroTools 1.0 for ArcView 3.x**



Adresa: TERRACS
Geographical information systems and services
Beim Herbstenhof 48, 72076 Tübingen (Germany)

Websiete: www.terracs.de (pôvodná, už neaktualizovaná)
www.terracs.com (nová)

Názov: **HydroTools 2.0 Professional for ArcGIS 9.x – v priebehu roka 2008**



HydroTools 1.0 - Preparation [X]

DEM Preparation Functions:

- Derive Sinks
- Flow Direction
- Filling Sinks
- Flat Area Detection
- DEM Correction

GRID Selection:

DEM: <None>

Direction: []

Options:

Advanced: []

Calculate Exit Info

© Holger Schäuble, TU Darmstadt 2003

HydroTools 1.0 - Hydrology [X]

Hydrology Functions:

- Flow Length
- Flow Accumulation
- Flow Change
- Flow Maximum
- Contributing Area
- Snap Pour Points
- Stream Designation

GRID Selection:

Direction: <None>

Weight: <None>

Transfer: []

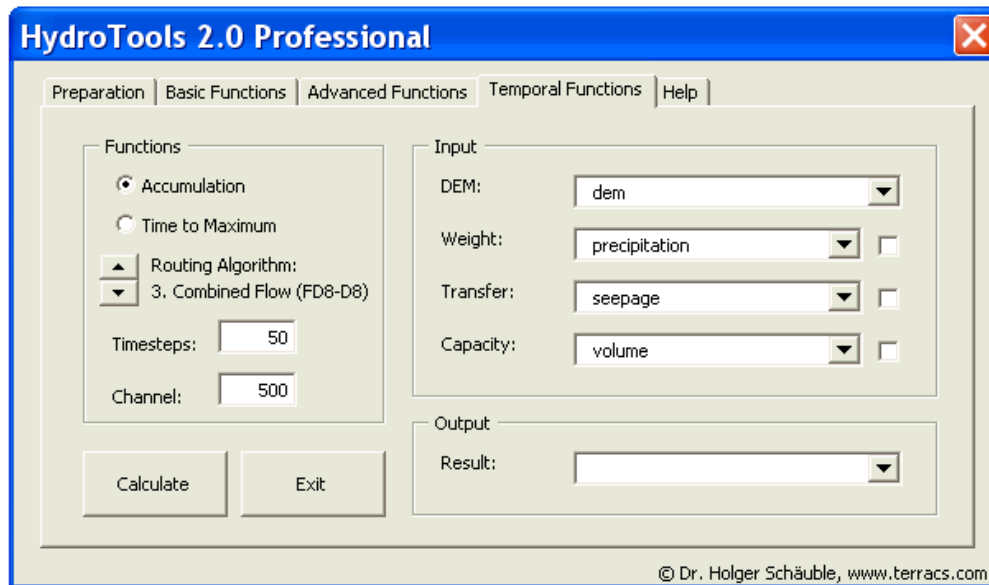
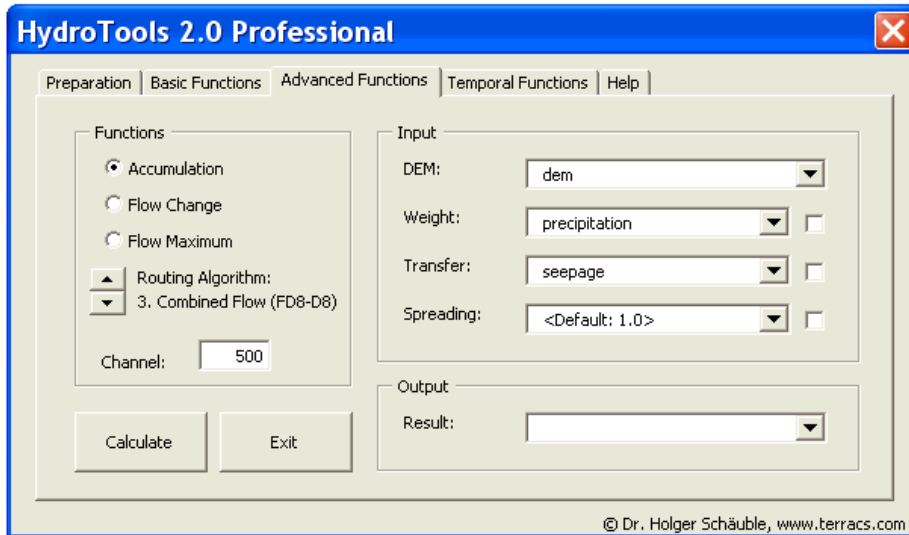
Options:

Concentration: [] Channel: []

Calculation: Downward from divides

Calculate Exit Info

© Holger Schäuble, TU Darmstadt 2003



Hydrologické modelovanie (prostredie GIS)

Hydrologicky korektný DMR

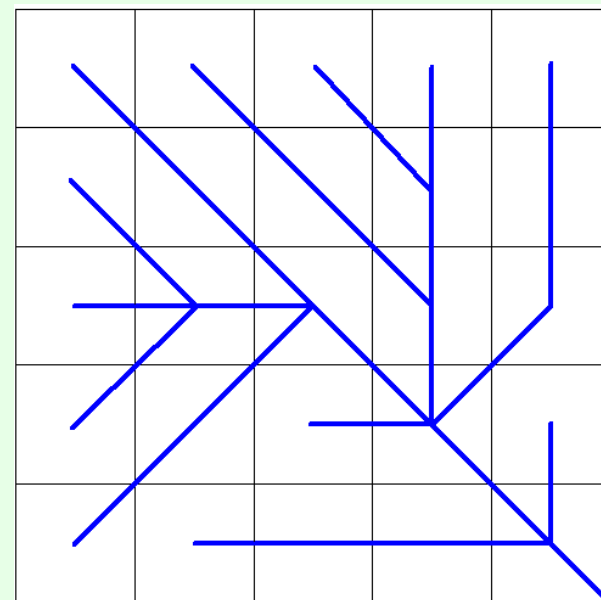
178	172	169	171	158
174	167	156	149	146
169	153	144	137	138
164	158	155	122	131
168	161	147	121	116

Smer odtoku (Flow Direction D8) →

2	2	2	4	4
2	2	2	4	4
1	1	2	4	8
128	128	1	2	4
128	1	1	1	2

1	Východ
2	Juhovýchod
4	Juh
8	Juhozápad
16	Západ
32	Severozápad
64	Sever
128	Severovýchod

Riečna sieť



Hydrologické modelovanie (prostredie GIS)

Akumulácia odtoku (Flow accumulation D8)

k výtokovému profilu
Hydrologic modeling

0	0	0	0	0
0	1	1	2	1
0	3	8	5	2
0	1	0	19	0
0	0	1	2	24

k výtokovému profilu vrátane
HydroTools

1	1	1	1	1
1	2	2	3	2
1	4	9	6	3
1	2	1	20	1
1	1	2	3	25

Mapa odtokových čísiel (CN – metóda)

Pre použitie CN – metódy potrebujeme **priestorovo identifikovať** (minimálne prvé dva):

- a) hydrologickú charakteristiku vlastností pôd
- b) využívanie pôdy
- c) hydrologickú charakteristiku (kvalitu) pôdneho krytu

Veľké rezervy na určenie kvality – vitality pôdneho krytu má diaľkový prieskum zeme prostredníctvom vytvárania vegetačných indexov. Žiaľ, v súčasnosti využiteľné družicové snímky majú malé priestorové rozlíšenie (Landsat 30 m , SPOT a IRS 20 m).

- d) hydrologickú charakteristiku jednotlivých spôsobov obrábania pôdy

K dosiahnutiu CN – hodnôt je potrebné pristúpiť **k ich prekrytiu**. Rozlišujeme:

- 1. prekrytie vektorových dátových modelov (X-tools, Intersect)
- 2. prekrytie rastrových dátových modelov (**Spatial Analyst, Combine**)

55	60	65	60	72
55	68	73	75	80
65	75	80	83	83
70	72	73	85	85
65	70	78	86	86

Mapa odtokových čísel **reprezentatívnych**

$$\text{Mapa odtokových čísel reprezentatívnych} = \frac{\text{Akumulácia odtoku D8; váha: Mapa odtokových čísel}}{\text{Akumulácia odtoku D8; bez váhy}}$$

Akumulácia odtoku D8
váha: Mapa odtokových čísel

55	60	65	60	72
55	123	133	200	152
65	265	605	416	235
70	137	73	1414	85
65	70	148	234	1819

Akumulácia odtoku D8
bez váhy

1	1	1	1	1
1	2	2	3	2
1	4	9	6	3
1	2	1	20	1
1	1	2	3	25

Mapa odtokových čísel **reprezentatívnych**

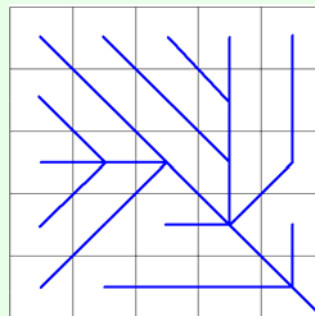
55	60	65	60	72
55	68	73	75	80
65	75	80	83	83
70	72	73	85	85
65	70	78	86	86



55	60	65	60	72
55	61.5	66.5	66.67	76
65	66.25	67.22	69.33	78.33
70	68.5	73	70.7	85
65	70	74	78	72.76

Akumulácia odtoku
váha: Mapa odtokových čísel

55	60	65	60	72
55	123	133	200	152
65	265	605	416	235
70	137	73	1414	85
65	70	148	234	1819



Akumulácia odtoku D8
bez váhy

1	1	1	1	1
1	2	2	3	2
1	4	9	6	3
1	2	1	20	1
1	1	2	3	25

Použitie zistených hodnôt CN

Po určení mapy odtokových čísiel reprezentatívnych môžeme pristúpiť za pomoci mapového (raster) kalkulátora k výpočtu:

a) mapy potenciálnej retencie – A [mm]

$$A = 25.4 * (1000 / CN_{REP} - 10)$$

b) mapy výšky povrchového odtoku – $H_{o,p}$ [mm]

$$H_{o,p} = (H_{D,N} - 0.2 * A)^2 / (H_{D,N} + 0.8 * A)$$

c) mapy prispievajúcich plôch (povodí) – S_p [km²]

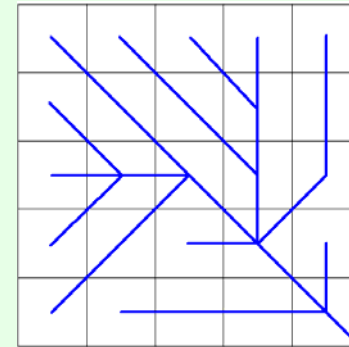
$$S_p = (\text{akumulácia odtoku bez váhy} * \text{rozlíšenie rastra}^2) / 1\,000\,000$$

d) mapy objemu povrchového odtoku – $O_{o,p}$ [m³]

$$O_{o,p} = 1000 * H_{o,p} * S_p$$

Zároveň treba zdôrazniť, že *výšku povrchového odtoku* na základe CN – metódy dostávame vo výtokovom profile (ktorou je v rastrovom modeli každá bunka) vždy v milimetroch vodného stĺpca pre jeho prispievajúcu plochu (povodie) za celú dobu trvania dažďa, nikdy nie skutočnú výšku povrchového odtoku, ktorá sa v príslušnom výtokovom profile vytvorí.

Použitie zistených hodnôt CN



Mapa potenciálnej retencie [mm]

207.8	169.3	136.8	169.3	98.8
207.8	159.0	128.0	127.0	80.2
136.8	129.4	123.9	112.3	70.3
108.9	116.8	93.9	105.3	44.8
136.8	108.9	89.2	71.6	95.1

Mapa výšky povrchového odtoku [mm]

3.42	6.35	10.14	6.35	16.94
3.42	7.40	11.44	11.59	21.70
10.14	11.22	12.10	14.13	24.80
14.81	13.31	18.07	15.54	35.19
10.14	14.81	19.24	24.34	17.79

Použitie zistených hodnôt CN

Mapa prispievajucich plôch [km²]

0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
0.0025	0.005	0.005	0.0075	0.005
0.0025	0.01	0.0225	0.015	0.0075
0.0025	0.005	0.0025	0.05	0.0025
0.0025	0.0025	0.005	0.0075	0.0625

Objem povrchového odtoku [m³]

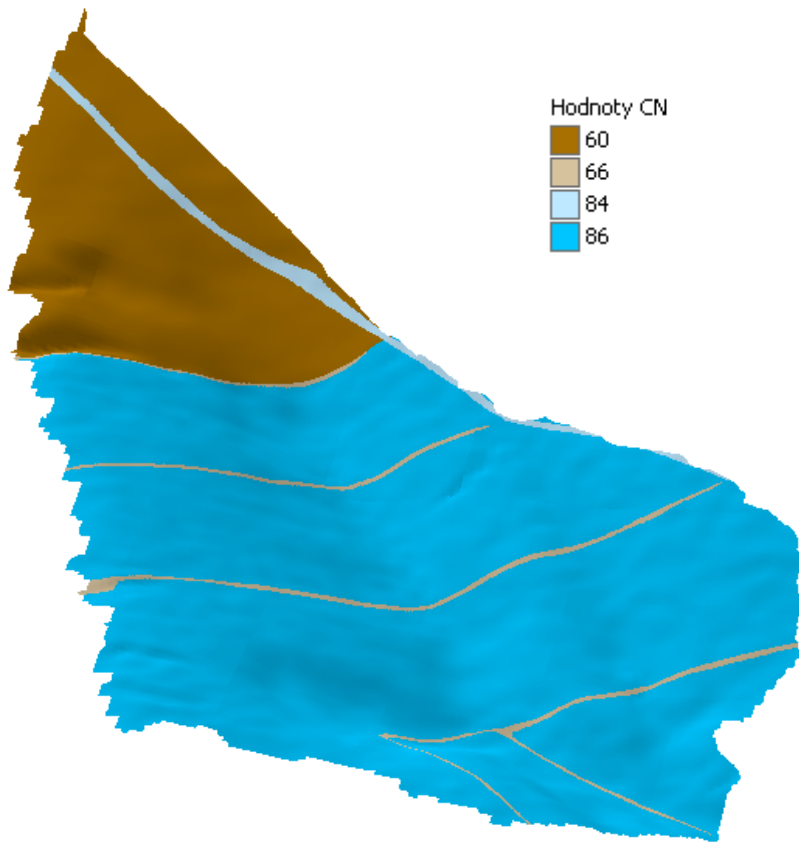
8.6	15.9	25.3	15.9	42.4
8.6	37.0	57.2	86.9	108.5
25.3	112.2	272.2	212.0	186.0
37.0	66.5	45.2	776.8	88.0
25.3	37.0	96.2	182.60	1112.1

Modelové územie – mikropovodie (k.ú. Lužianky – Zbehy)

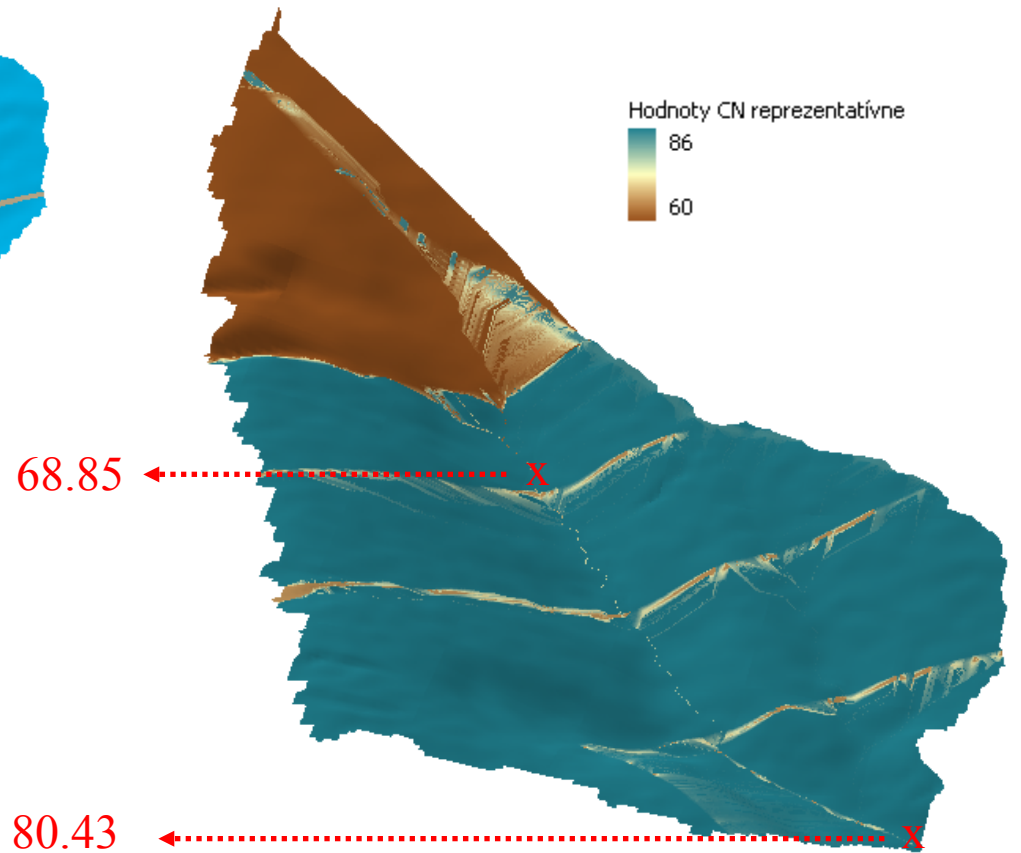


© Eurosense, s.r.o.

Mapa odtokových čísel

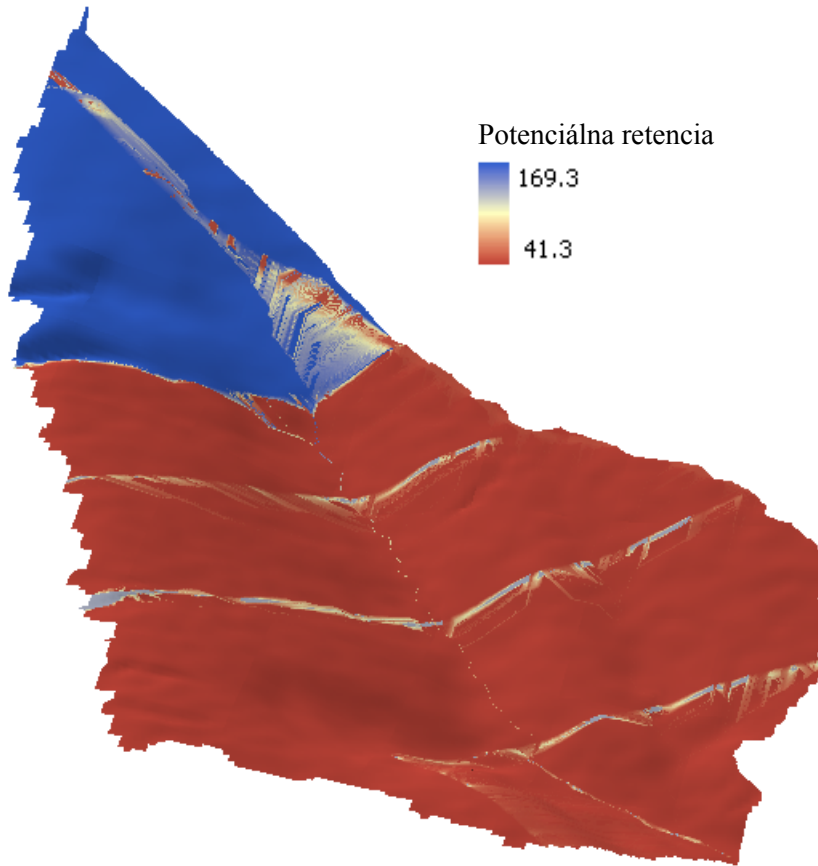


Mapa odtokových čísel reprezentatívnych



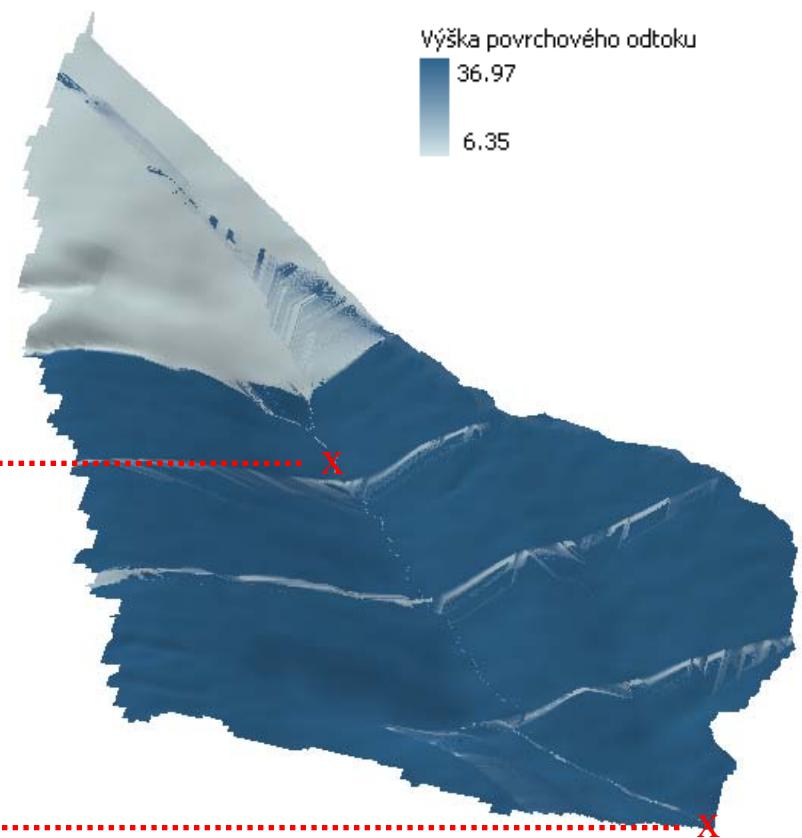
Kontrola správnosti
zonálnou štatistikou!

Mapa potenciálnej retencie - A [mm]



$$A = 25.4 * (1000 / CN_{REP} - 10)$$

Mapa výšky povrchového odtoku – $H_{o,p}$ [mm]

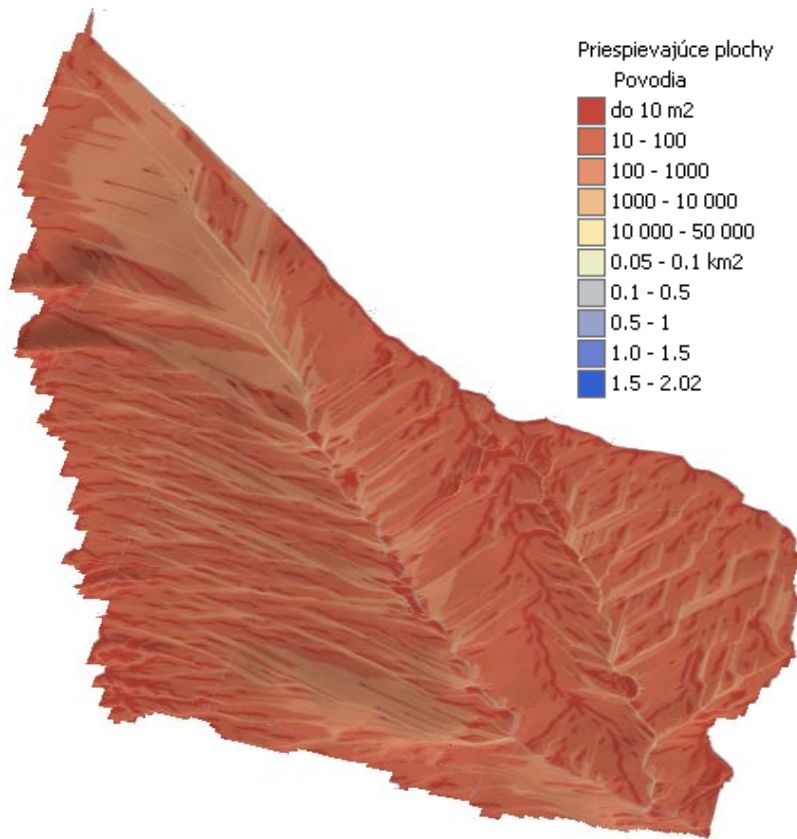


13.65 ← x

$$H_{o,p} = (H_{D,N} - 0.2 * A)^2 / (H_{D,N} + 0.8 * A)$$

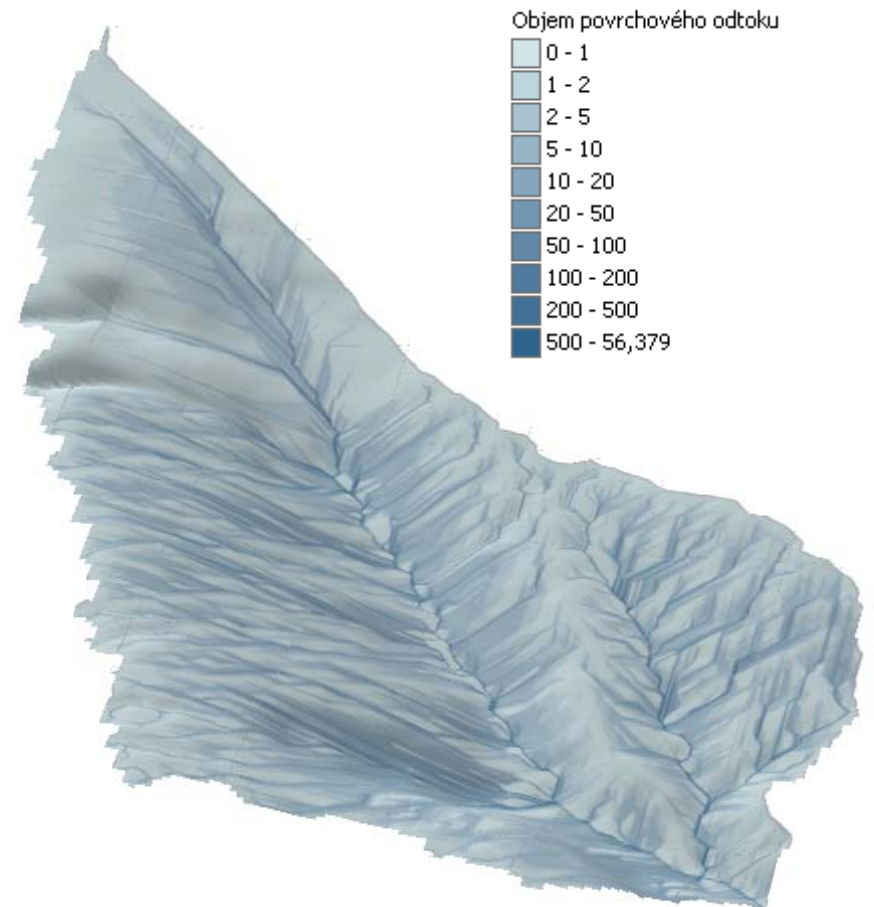
27.82 ← x

Mapa prispievajúcich plôch - S_p [km²]



$$S_p = (\text{Flowacc} * \text{rozlišenie}^2) / 1\,000\,000$$

Mapa objemu povrchového odtoku - $O_{o,p}$ [m³]



$$O_{o,p} = 1000 * H_{o,p} * S_p$$

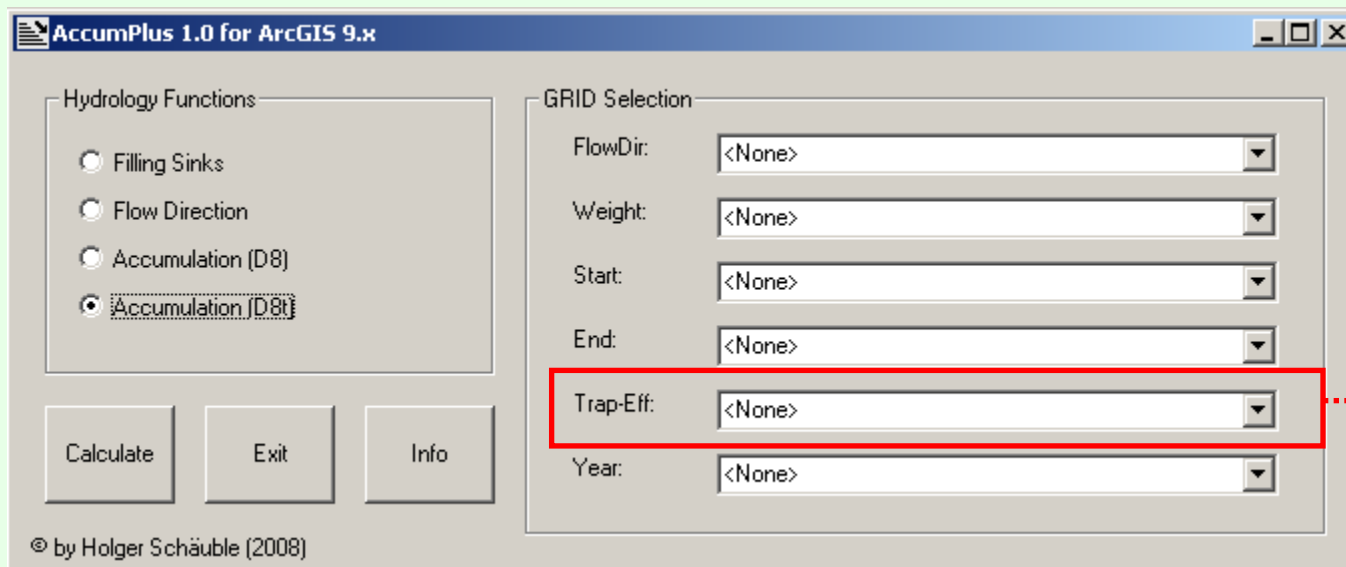
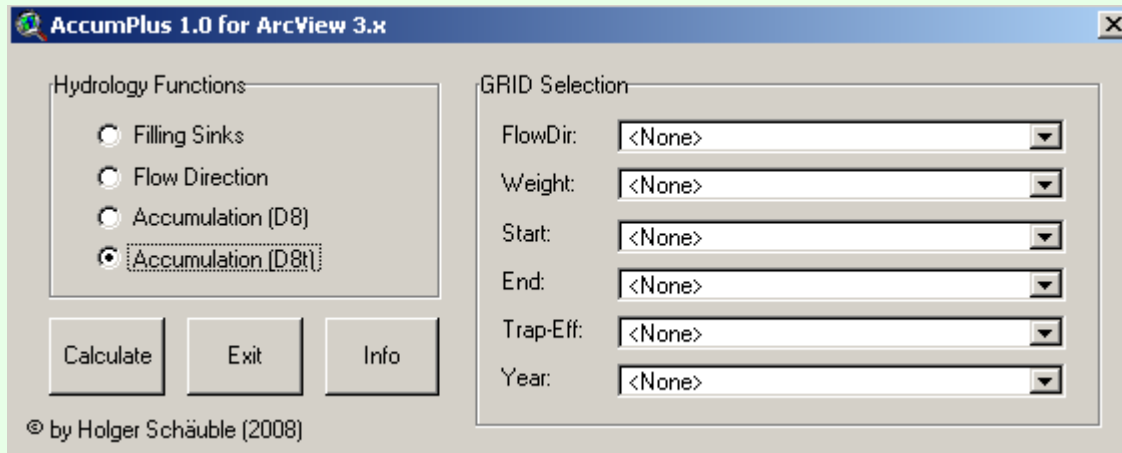
Autor: Dr. Holger Schäuble, geograf

Názov: **AccumPlus 1.0 for ArcView 3.x
and ArcGIS 9.x**



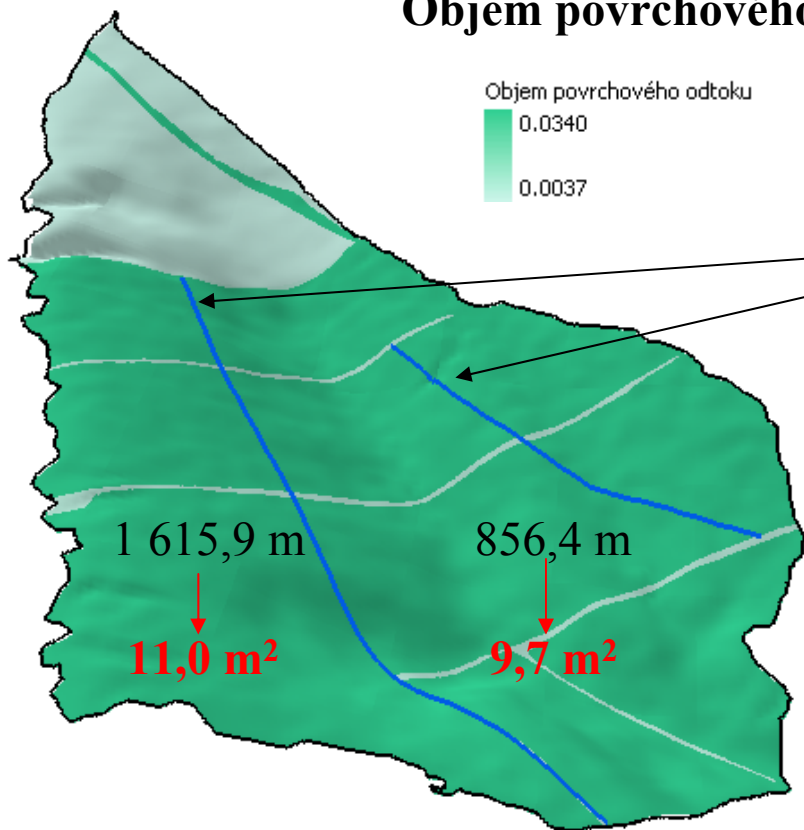
Adresa: TERRACS
Geographical information systems and services
Beim Herbstenhof 48, 72076 Tübingen (Germany)

Websiete: www.terracs.de (pôvodná, už neaktualizovaná)
www.terracs.com (nová)

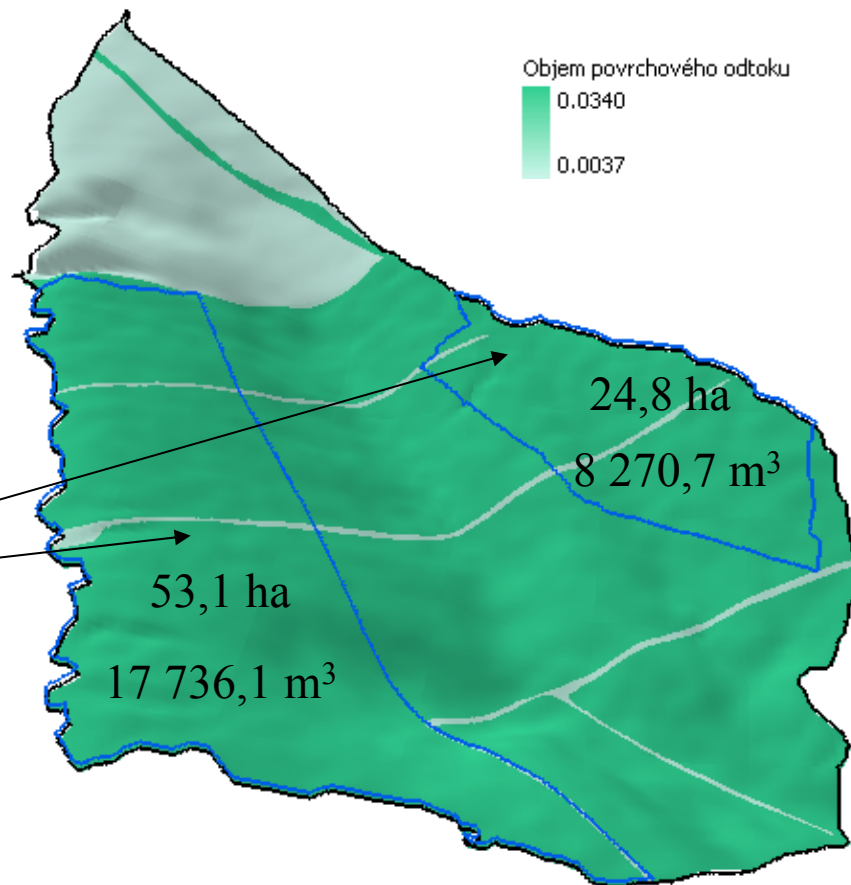


Účinnosť zachytávania 0 – 100 %

Objem povrchového odtoku na ploche 1 m² (1 bunky) [m³]



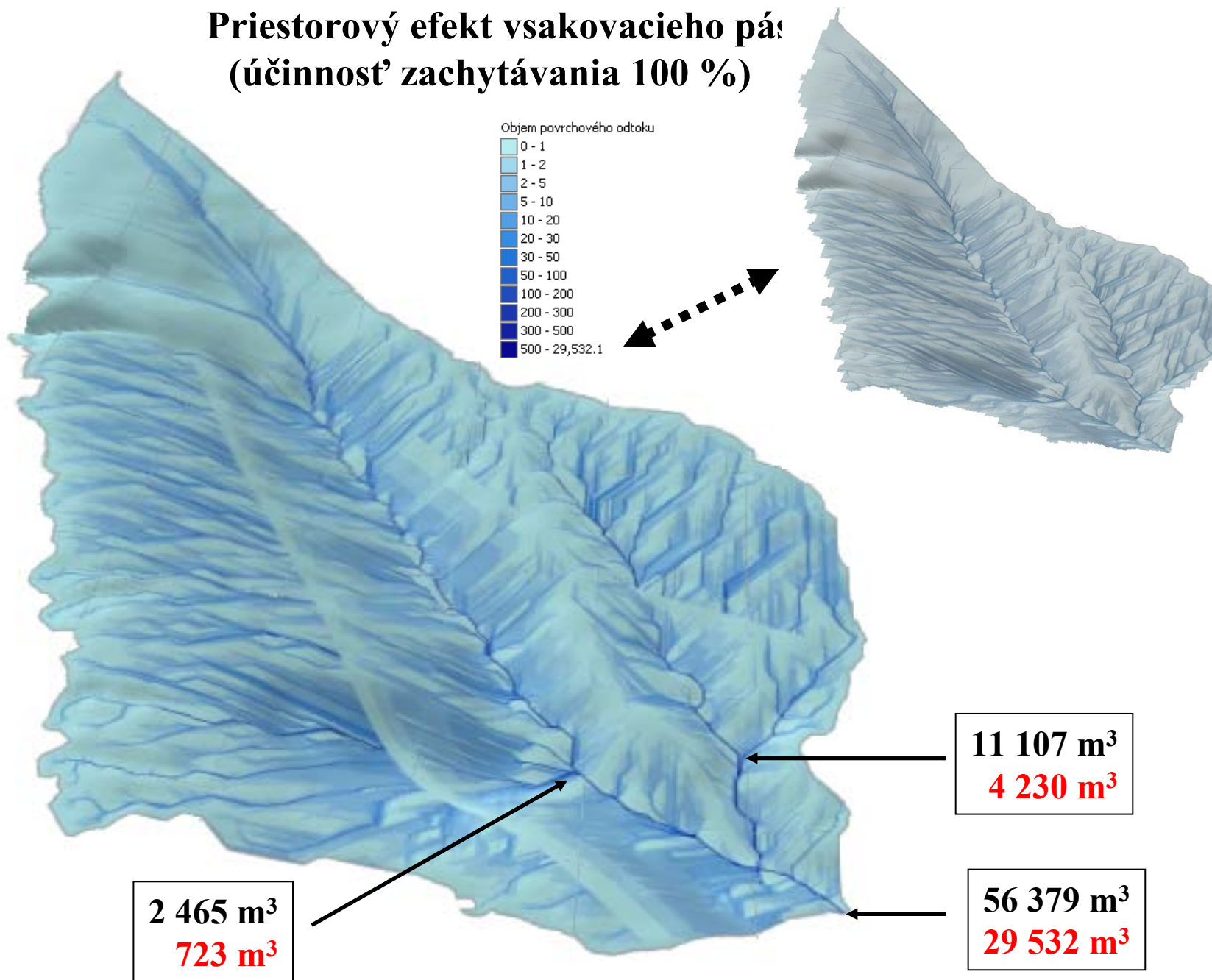
Lokalizácia vsakovacích pásov



Prispievajúca plocha vsakovacích pásov

Objem na 1 bm = Prietoková plocha

Priestorový efekt vsakovacieho pásu (účinnosť zachytávania 100 %)



DOBA KONCENTRÁCIE - τ_{\max}

Určíme ako maximálnu hodnotu súčtu 3 položiek:

- a) plošný povrchový odtok – doba dobehu t_{sv}
- b) sústredený odtok údolnicou – doba dobehu t_u
- c) odtok v koryte toku – doba dobehu t_{ko}

a) **Plošný povrchový odtok (NRCS lag method)** – do 100 m svah. dl. + les

$$t_{sv} = \frac{1.67 * (3.278 * L_{sv})^{0.8} * [(1000/CN_{REP}) - 9]^{0.7}}{1900 * I_{sv}^{0.5}} \quad [h]$$

L_{sv} – dĺžka svahu [m]

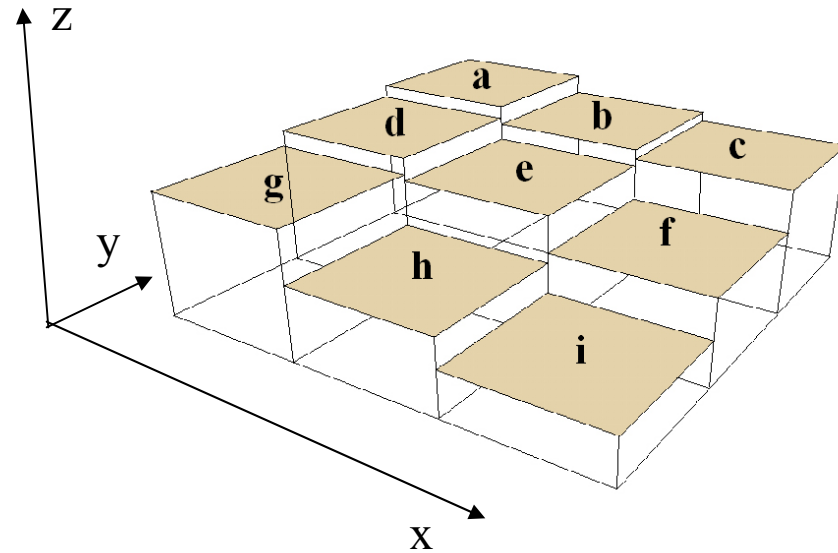
CN_{REP} – reprezentatívna hodnota CN

I_{sv} – priemerný sklon svahu [%]

Mapa dĺžky svahu [m]

0	0	0	0	0
0	70.71	70.71	70.71	50
0	70.71	No Data	No Data	100
0	70.71	0	No Data	0
0	0	50	100	No Data

Maska 3x3 bunky pre výpočet sklonu



Pre centrálnu bunku **e** sa určí:

1. sklon povrchu – masky [m. m⁻¹] v horizontálnom, x-ovom smere (dz/dx)

$$[dz / dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8 * \text{rozlíšenie bunky}$$

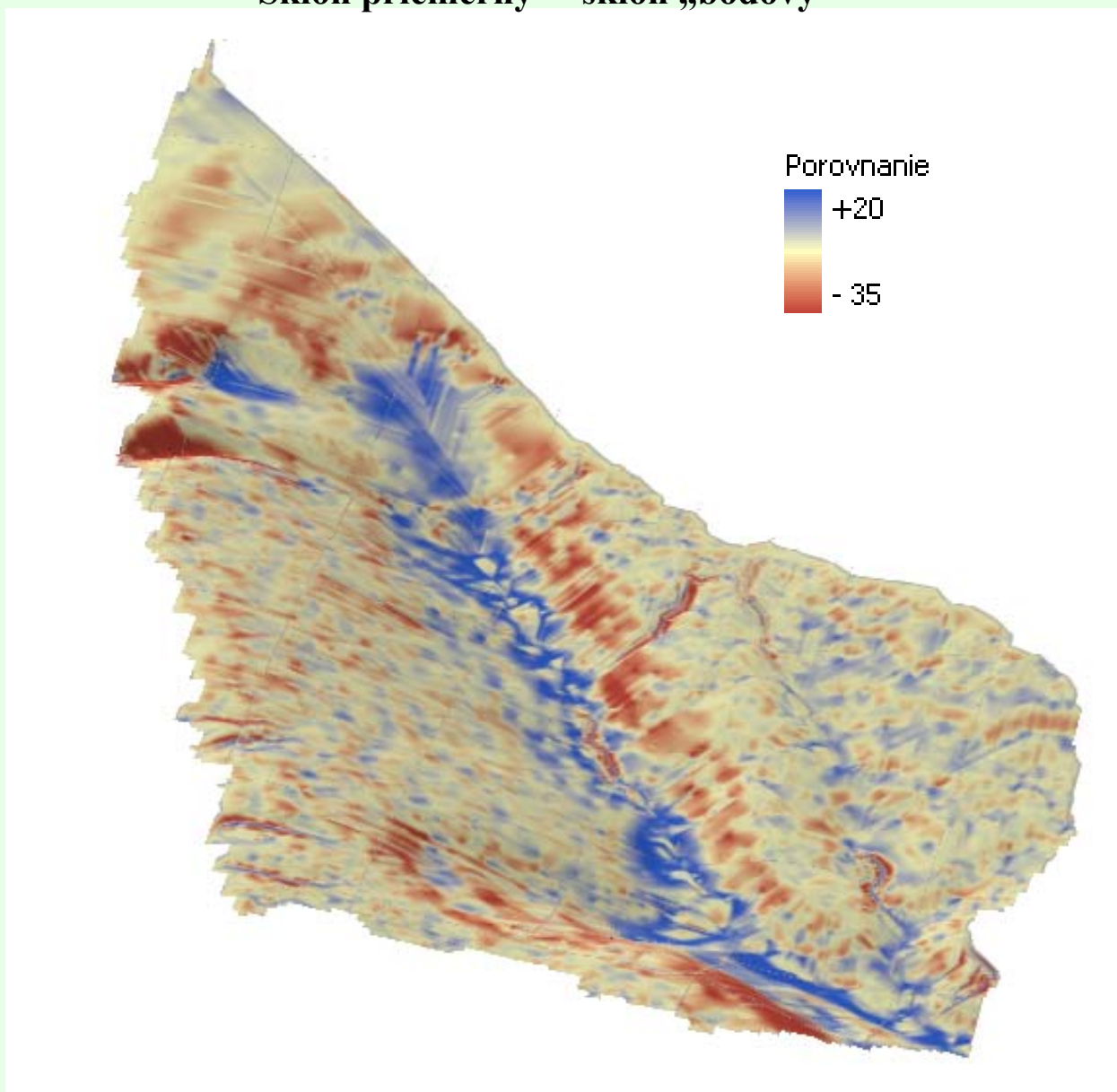
2. sklon povrchu – masky [m. m⁻¹] vo vertikálnom, y-ovom smere (dz/dy)

$$[dz / dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8 * \text{rozlíšenie bunky}$$

$$\text{sklon v percentách} = (\sqrt{[dz / dx]^2 + [dz / dy]^2}) * 100$$

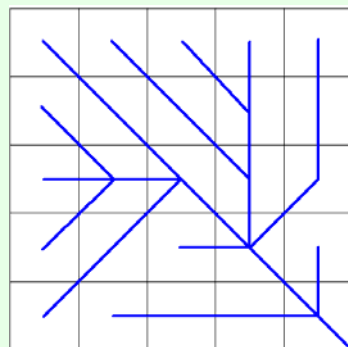
$$\text{sklon v stupňoch} = \arctang(\sqrt{[dz / dx]^2 + [dz / dy]^2}) * (180/\pi)$$

Porovnanie sklonových pomerov Sklon priemerný – sklon „bodový“



Mapa „bodového“ sklonu [%]

7.46	10.82	13.00	22.47	9.28
13.08	25.10	28.96	29.73	19.30
13.38	20.57	No Data	No Data	14.36
6.67	16.62	32.00	No Data	15.98
7.50	12.95	29.00	24.38	No Data



Mapa priemerného sklonu [%]

7.46	10.82	13.00	22.47	9.28
13.08	16.28	19.89	21.73	14.29
13.38	13.43	No Data	No Data	14.31
6.67	12.06	32.00	No Data	15.98
7.5	12.95	20.98	22.11	No Data

Doba dobehu t_{sv} [h]

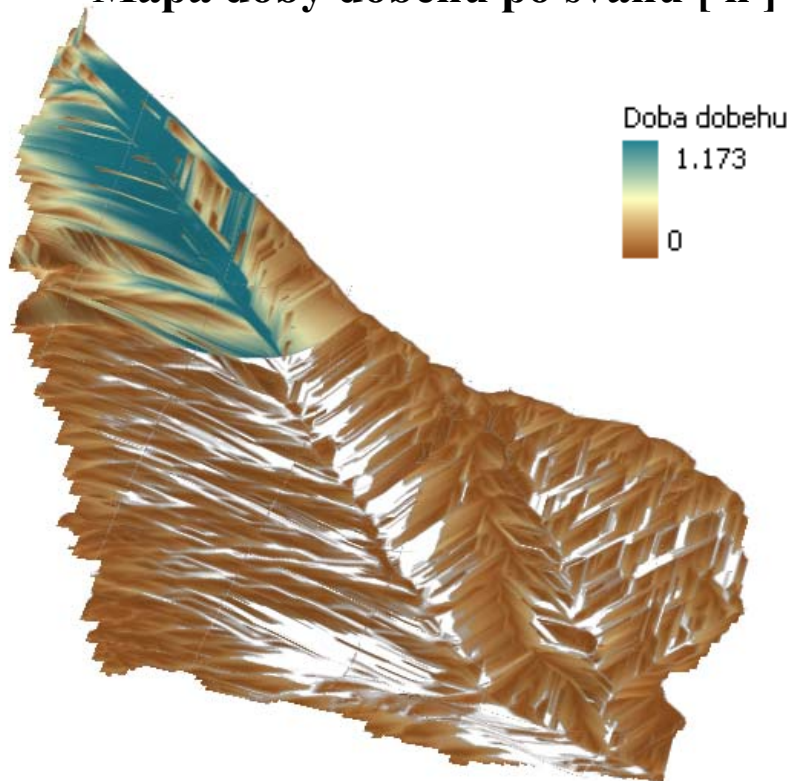
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.068	0.054	0.052	0.037
0.000	0.066	No Data	No Data	0.060
0.000	0.066	0.000	No Data	0.000
0.000	0.000	0.033	0.049	No Data

Flow Maximum

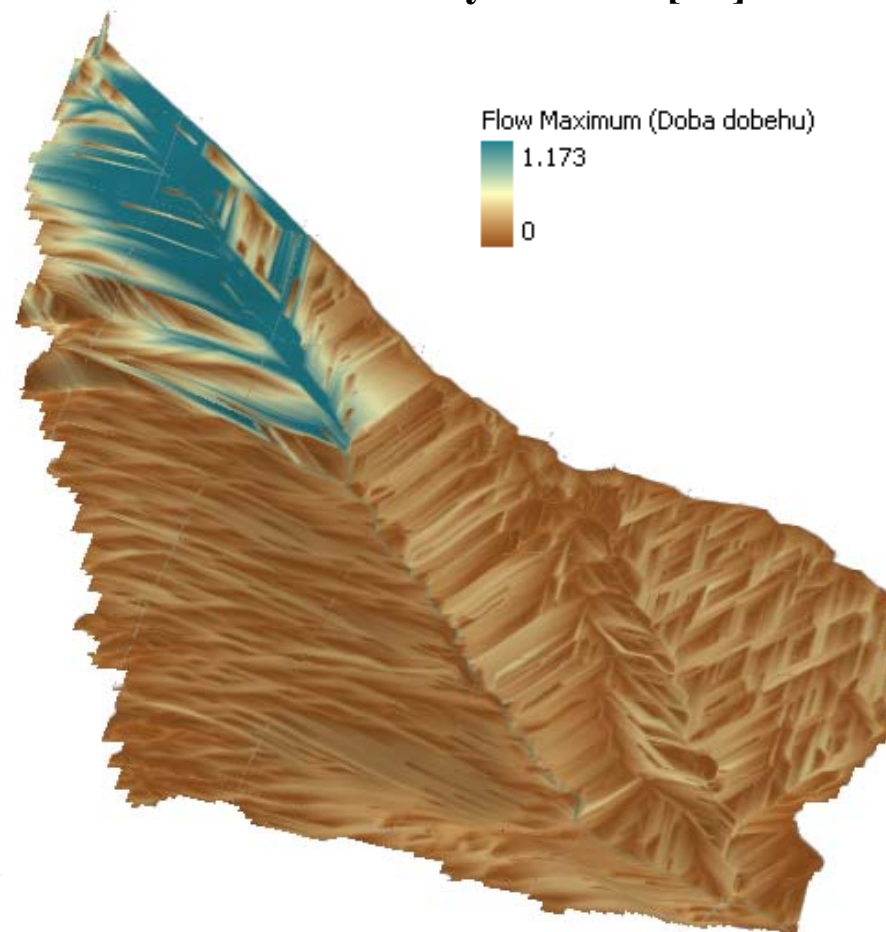
Flow maximum doby dobehu t_{sv} [h]

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.068	0.054	0.052	0.037
0.000	0.066	0.068	0.054	0.060
0.000	0.066	0.000	0.068	0.000
0.000	0.000	0.033	0.049	0.068

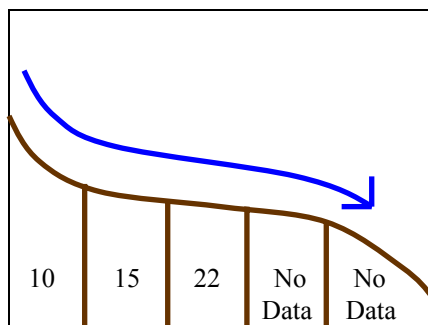
Mapa doby dobehu po svahu [h]



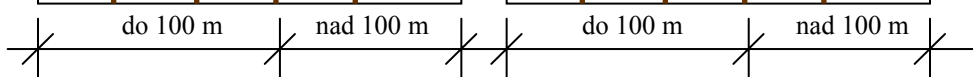
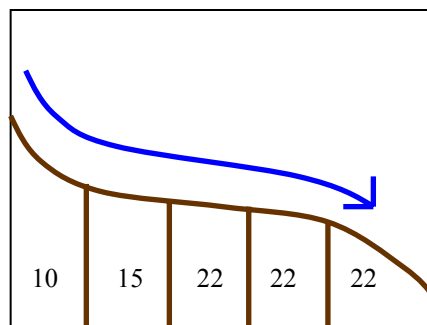
Flow maximum doby dobehu [h]



Doba dobehu [min]



Flow maximum doby dobehu



b) Sústredený odtok údolnicou (s dĺžkou nad 100 m, do 100 m ako No Data)

$$t_{\dot{u}} = \frac{L_{\dot{u}}}{1,5 * d} \sqrt[5]{\frac{S_p^2}{I_{\dot{u}}}}$$

$L_{\dot{u}}$ - dĺžka pretečeného úseku údolnice [km]

Východiskovým – nulovým - bodom pre meranie dĺžky je miesto transformácie plošného odtoku na sústredený.

$I_{\dot{u}}$ - Priemerný sklon údolnice [-]

S_p - Plocha povodia [km²]

d - Priemer kruhu, ktorého plocha sa rovná ploche povodia [km]

$$d = 2 * r \quad (r - \text{polomer kruhu})$$

$$r = \sqrt{(S_p / \pi)}$$

Dĺžka pretečeného úseku údolnice [km]

No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	0.000	0.000	No Data
No Data	No Data	No Data	0.071	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	0.141

Mapa „bodového“ sklonu [%]

No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	23.51	20.94	No Data
No Data	No Data	No Data	24.78	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	9.85

Mapa priemerného sklonu [%]

No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	23.51	20.94	No Data
No Data	No Data	No Data	23.08	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	19.77

Priemer kruhu [km]

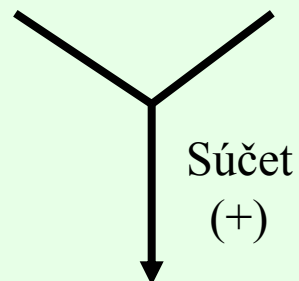
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	0.0577	0.0577	No Data
No Data	No Data	No Data	0.1000	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	0.1155

Plocha povodia [km²]

No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	0.0025	0.0025	No Data
No Data	No Data	No Data	0.0075	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	0.01

Flow maximum doby dobehu t_{sv} [h]

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.068	0.054	0.052	0.037
0.000	0.066	0.068	0.054	0.060
0.000	0.066	0.000	0.068	0.000
0.000	0.000	0.033	0.049	0.068



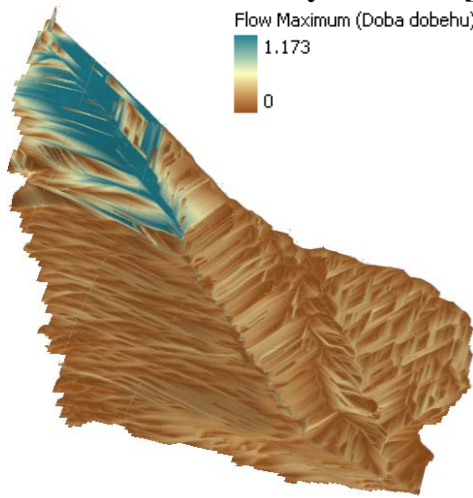
Doba dobehu $t_{\dot{u}}$ [h]

No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	No Data
No Data	No Data	0.000	0.000	No Data
No Data	No Data	No Data	0.036	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	0.071

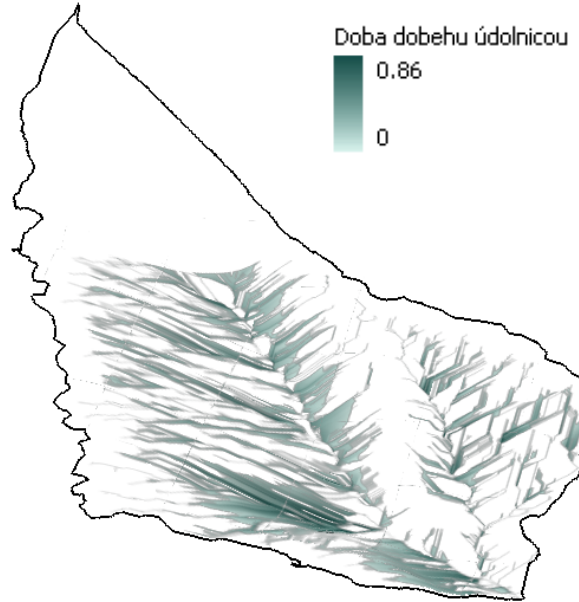
Doba koncentrácie τ_{max} [h]

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.068	0.054	0.052	0.037
0.000	0.066	0.068	0.054	0.060
0.000	0.066	0.000	0.104	0.000
0.000	0.000	0.033	0.049	0.139

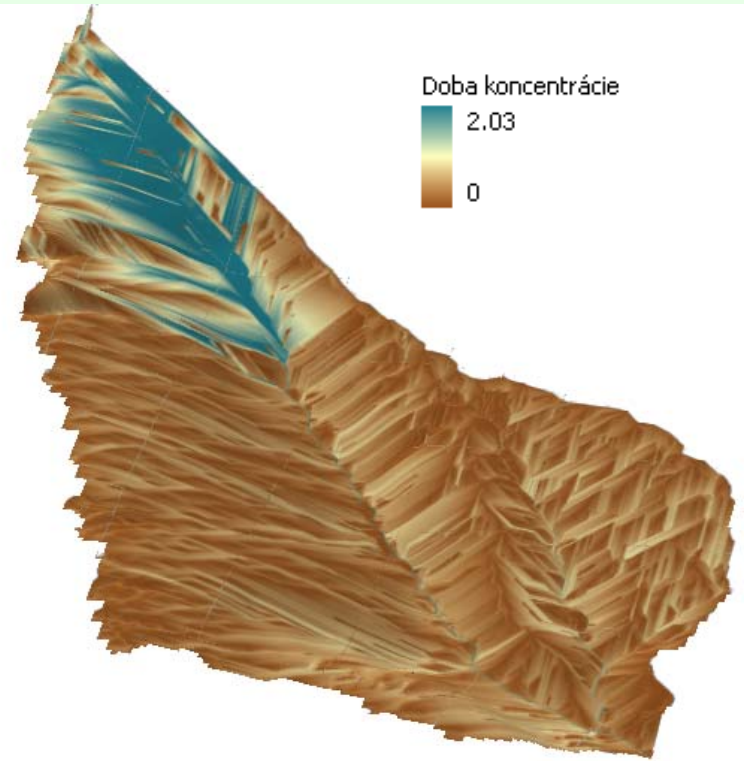
Flow maximum doby dobehu [h]



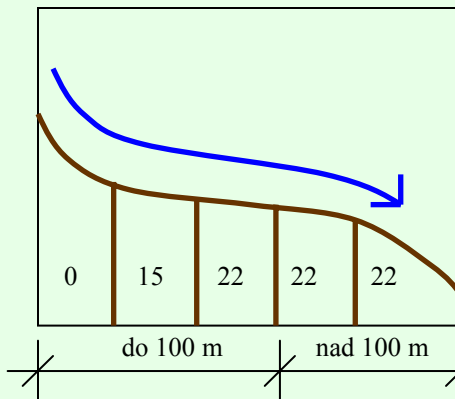
Mapa doby dobehu údolnicou [h]



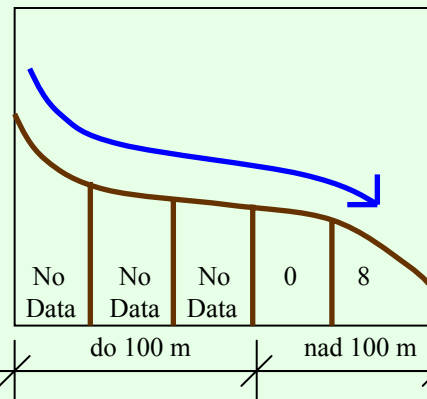
Mapa doby koncentrácie [mm]



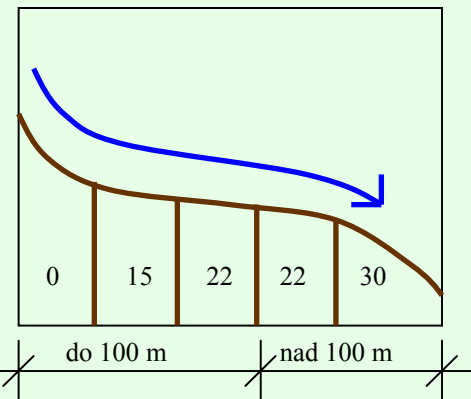
Flow maximum doby dobehu po svahu



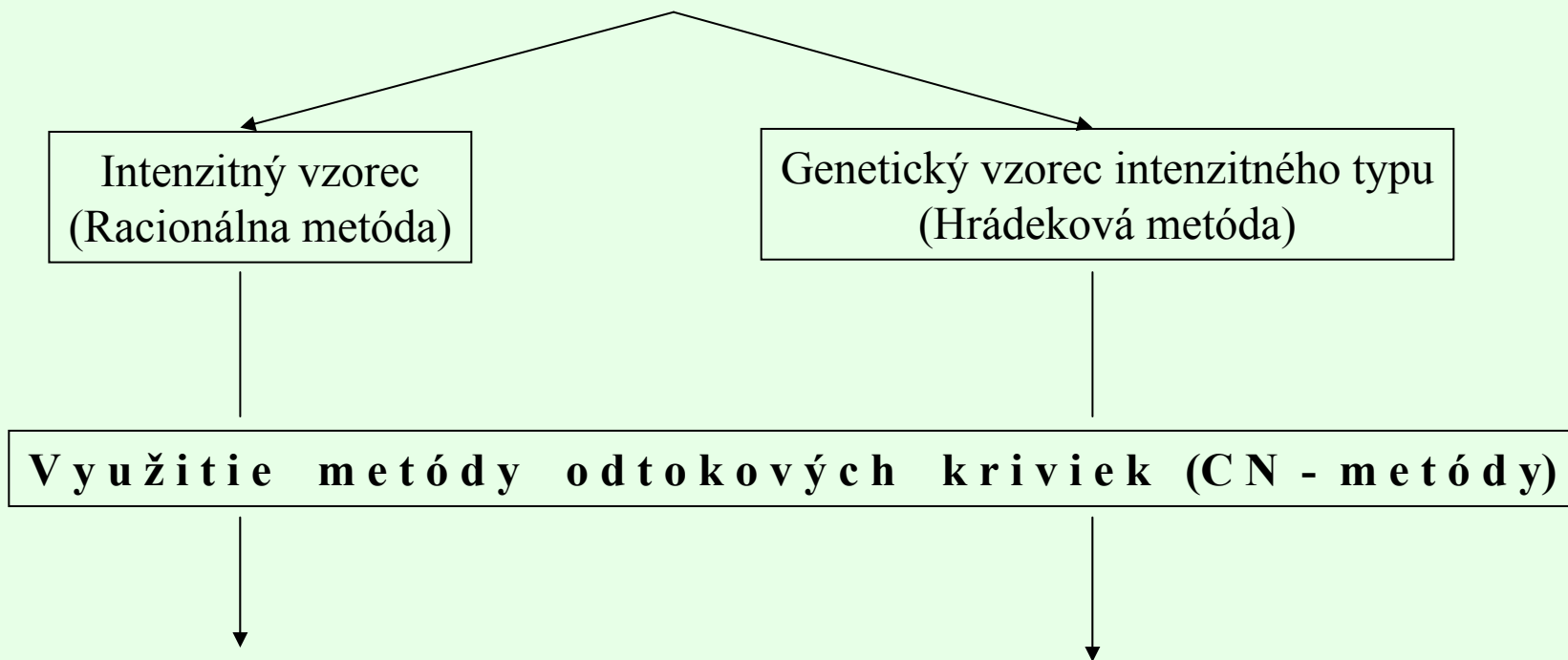
Doba dobehu údolnicou



Doba koncentrácie



STANOVENIE MAXIMÁLNEHO (KULMINAČNÉHO) PRIETOKU – Q_{\max}



$$Q_{\max} = 0.000431 * q_{\max} * H_{o,p} * S_p * f$$

$$Q_{\max} = 0.000431 * q_{\max} * H_{o,p} * S_p * f * S_{\acute{u}}$$

Q_{\max} – maximálny (kulminačný) prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

q_{\max} – jednotkový kulminačný prietok

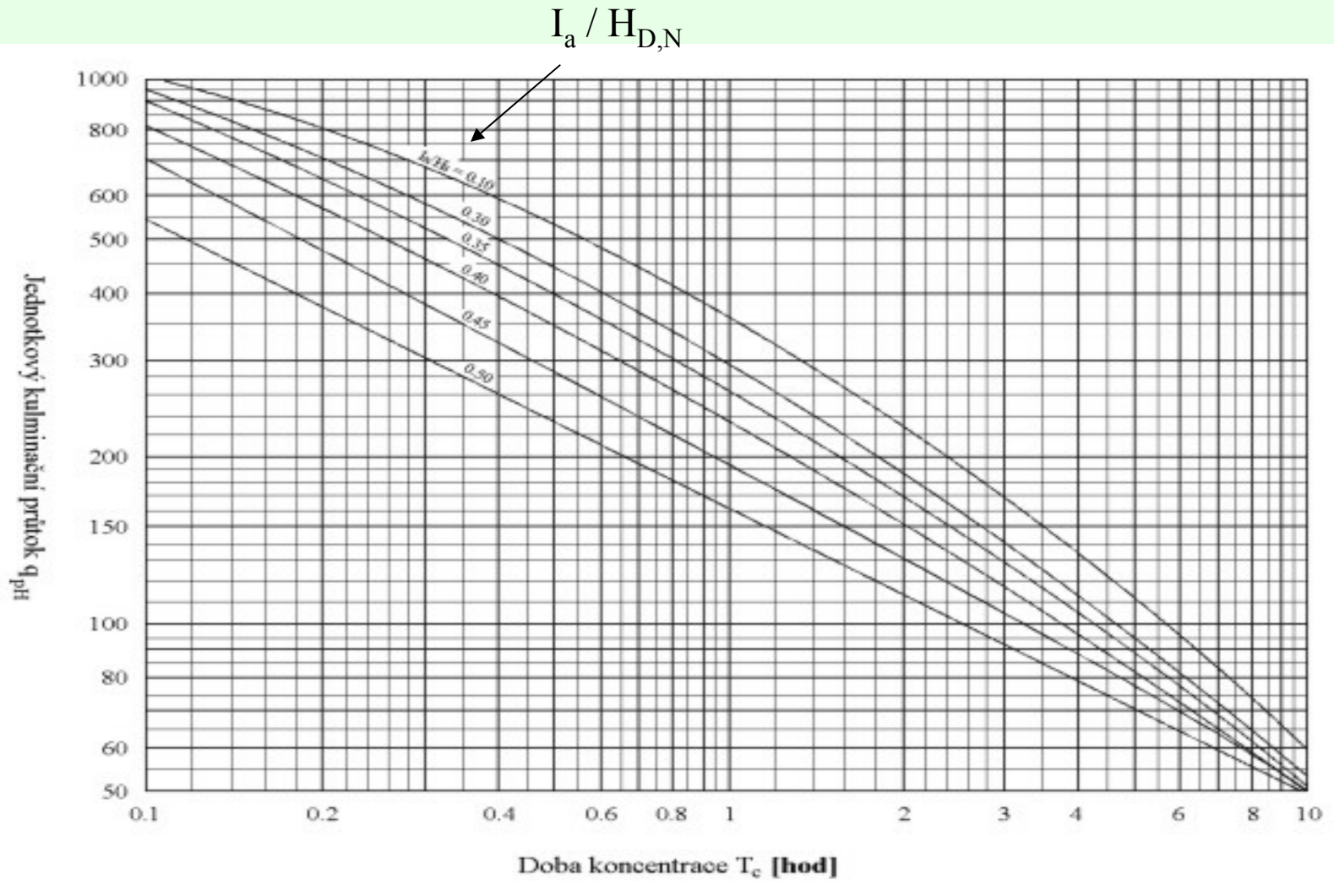
$H_{o,p}$ – výška povrchového odtoku podľa CN metódy [mm]

S_p – plocha povodia [km^2]

f – opravný súčiniteľ pre nádrže, rybníky a bažiny [-]

$S_{\acute{u}}$ – účinná plocha [$\text{km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$]

Stanovenie jednotkového kulminačného prietoku $q_{\max} = f(I_a / H_{D,N}, \tau_{\max})$



Poznámka: I_a (odtoková strata) = 0.2 * A (potenciálne retencia)

Stanovenie jednotkového kulminačného prietoku $q_{\max} = f(I_a / H_{D,N}, \tau_{\max})$

a) určenie výšky odtokovej straty $I_a = 0.2 * A$ [mm]

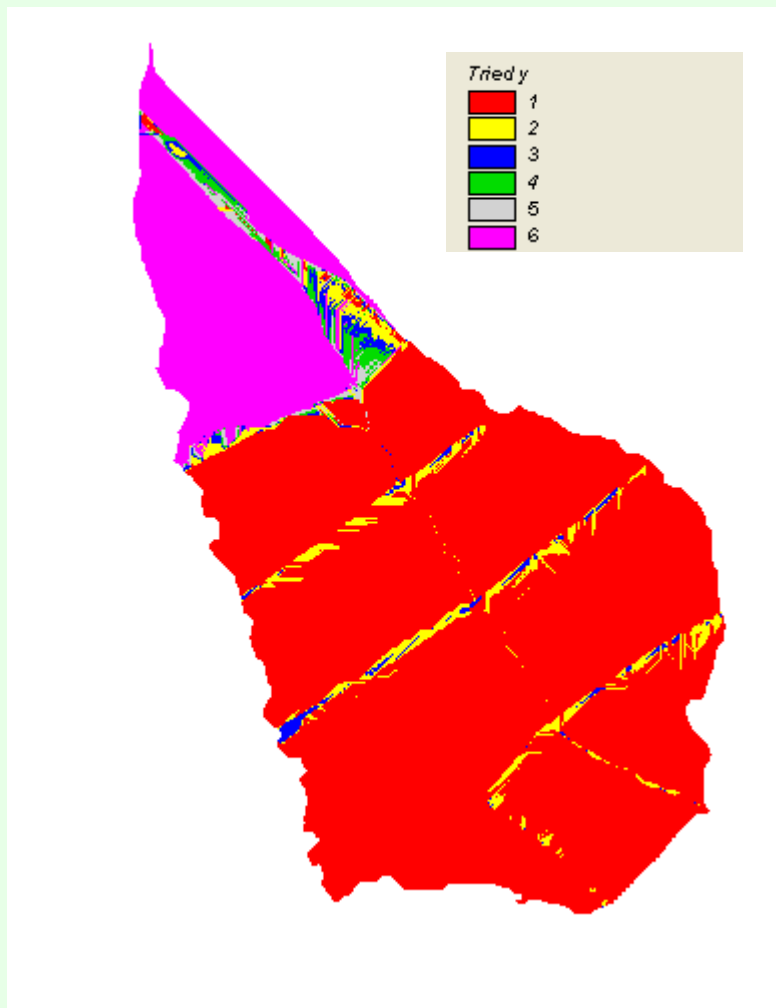
b) určenie hodnoty $I_a / H_{D,N}$ [-], ktoré reklasifikujeme do 6 tried:

Trieda	$I_a / H_{D,N}$	Rovnica regresie	Rovnica spoľahlivosti
1	0.000 – 0.150	$q_{\max} = 165.95 * \tau_{\max}^{-0.5208}$	$R^2 = 0.9996$
2	0.150 – 0.325	$q_{\max} = 198.74 * \tau_{\max}^{-0.5757}$	$R^2 = 0.9980$
3	0.325 – 0.375	$q_{\max} = 226.20 * \tau_{\max}^{-0.5926}$	$R^2 = 0.9951$
4	0.375 – 0.425	$q_{\max} = 248.34 * \tau_{\max}^{-0.6027}$	$R^2 = 0.9918$
5	0.425 – 0.475	$q_{\max} = 267.84 * \tau_{\max}^{-0.6084}$	$R^2 = 0.9896$
6	nad 0.475	$q_{\max} = 312.18 * \tau_{\max}^{-0.5936}$	$R^2 = 0.9768$

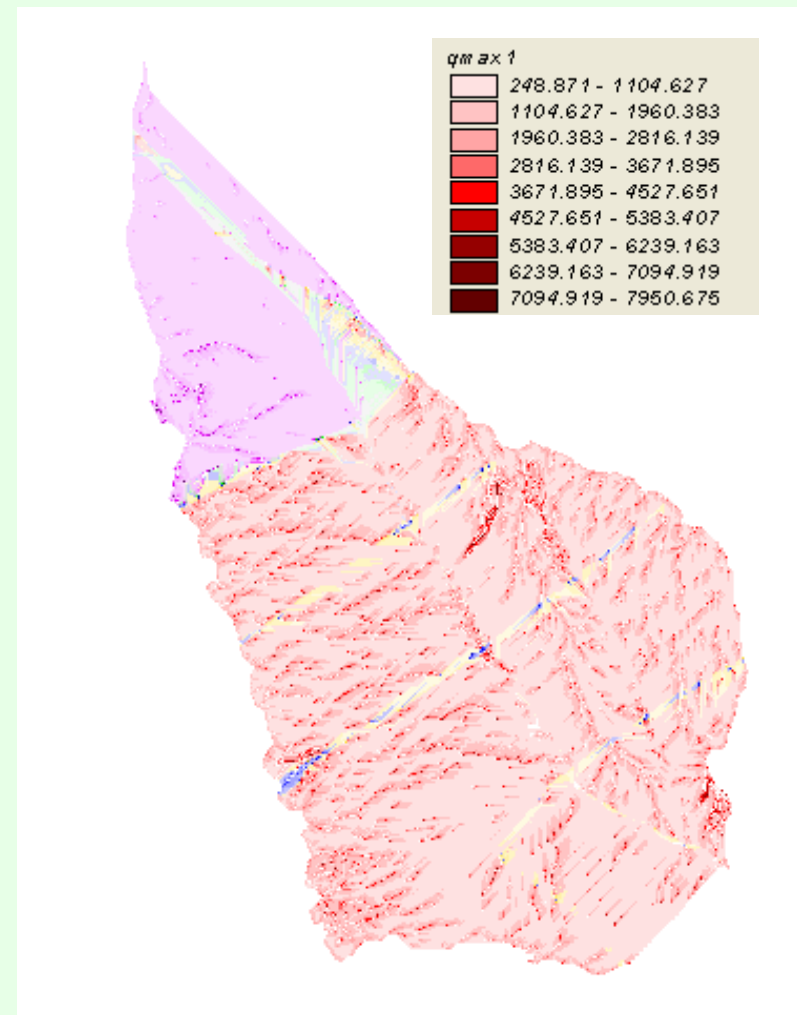
c) výpočet jednotkového kulminačného prietoku $q_{\max} = f(I_a / H_{D,N}, \tau_{\max})$

Vyočíta sa pre každú zastúpenú triedu samostatne a napokon sa q_{\max} 1-6 zlučia do jedného rastra (merge grid).

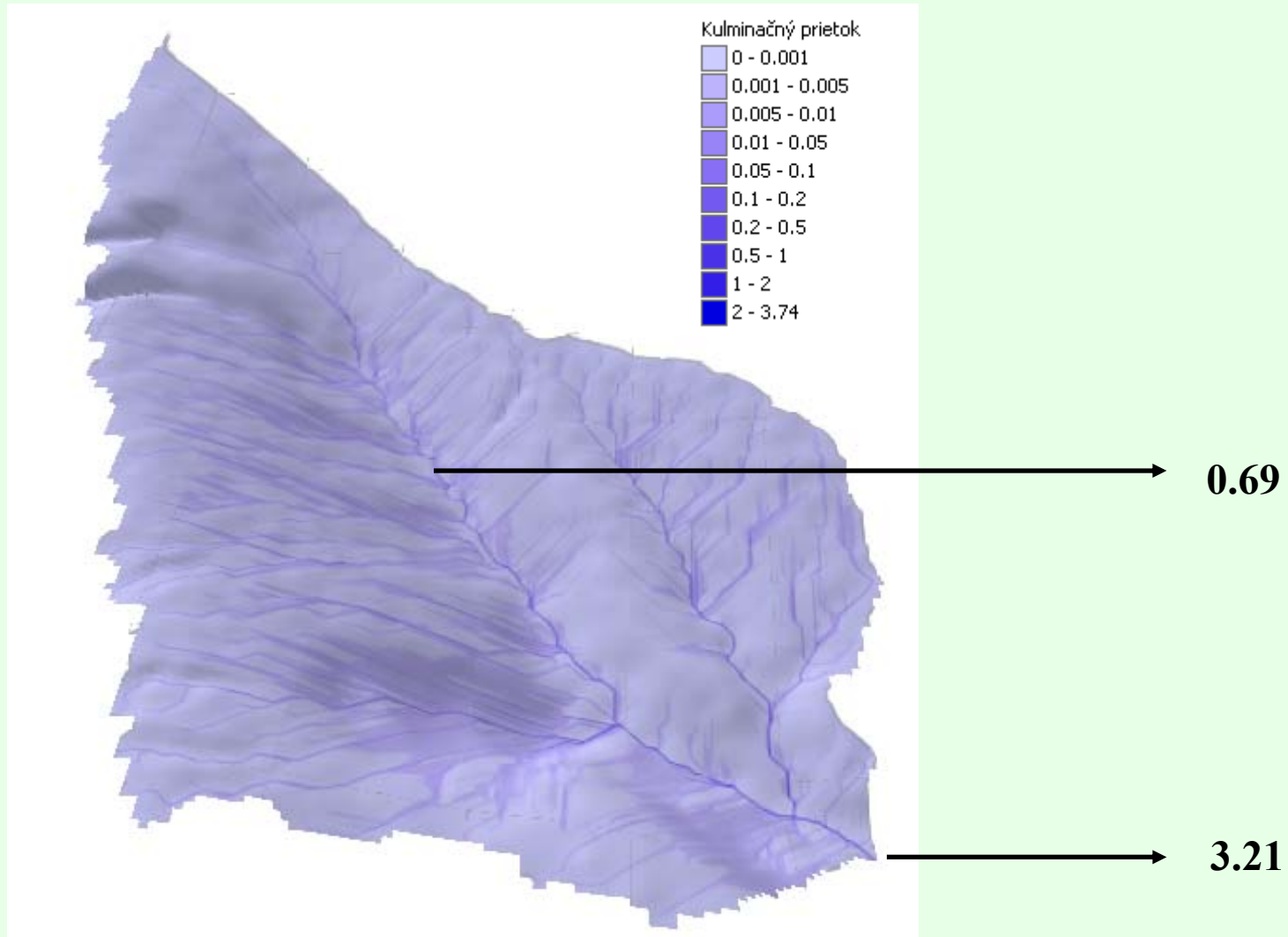
Triedy podľa $I_a / H_{D,N}$



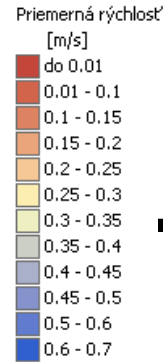
Jednotkový kulminačný prietok pre jednotlivé triedy ($q_{max 1}$ až n)



Kulminačný prietok Q_{\max} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

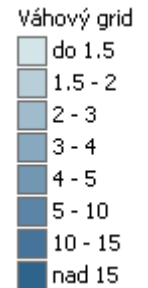


Priemerná rýchlosť povrchového odtoku [m.s⁻¹]



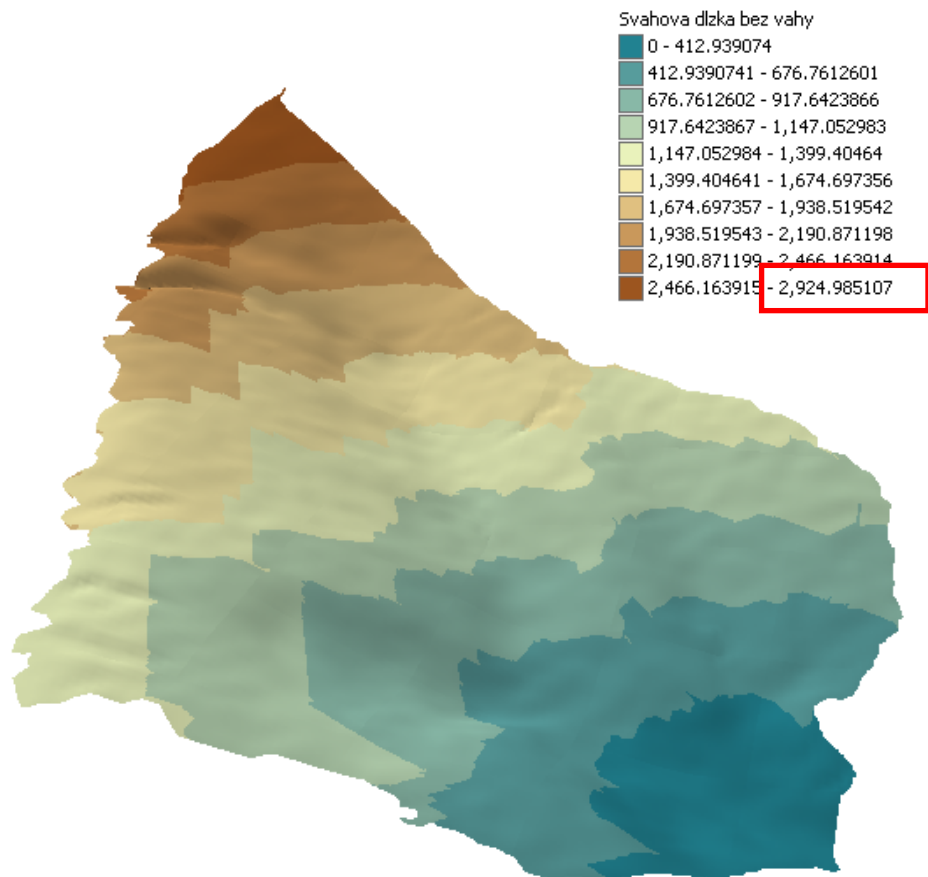
$$\frac{\text{Svahová dĺžka [m]}}{\text{Doba koncentrácie [h]}} * 3600$$

Váhový grid pre svahovú dĺžku

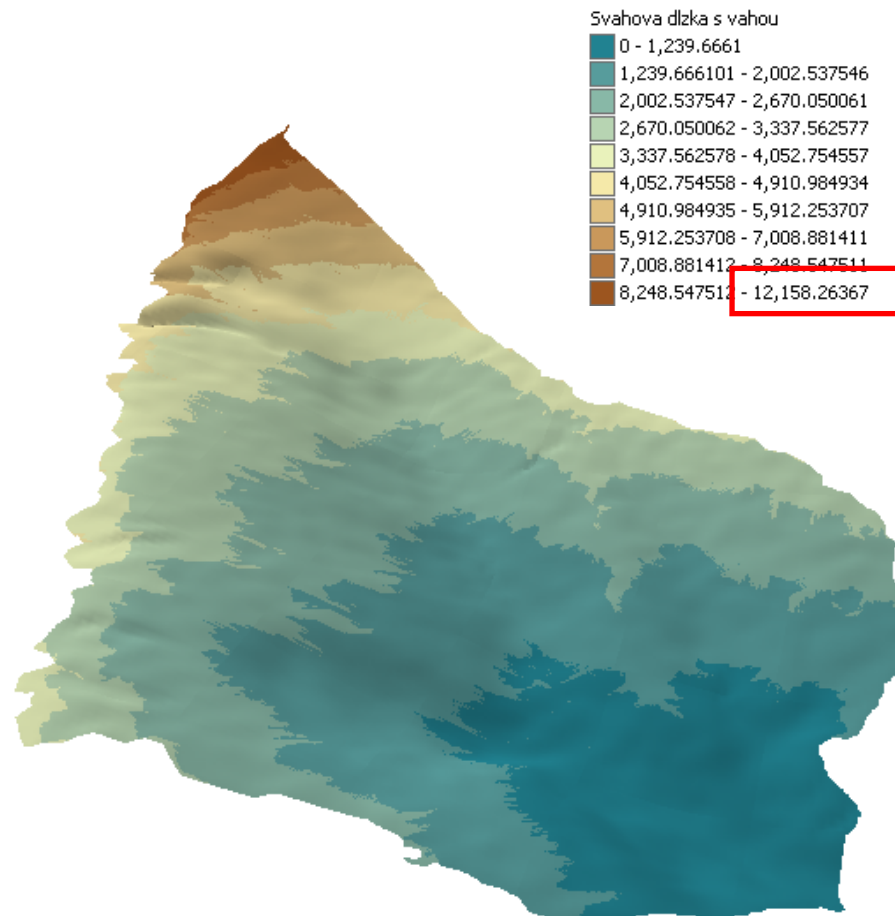


$$\frac{1}{\text{priemerná rýchlosť}}$$

Svahová dĺžka downstream bez váhy [m]



Svahová dĺžka downstream s váhou

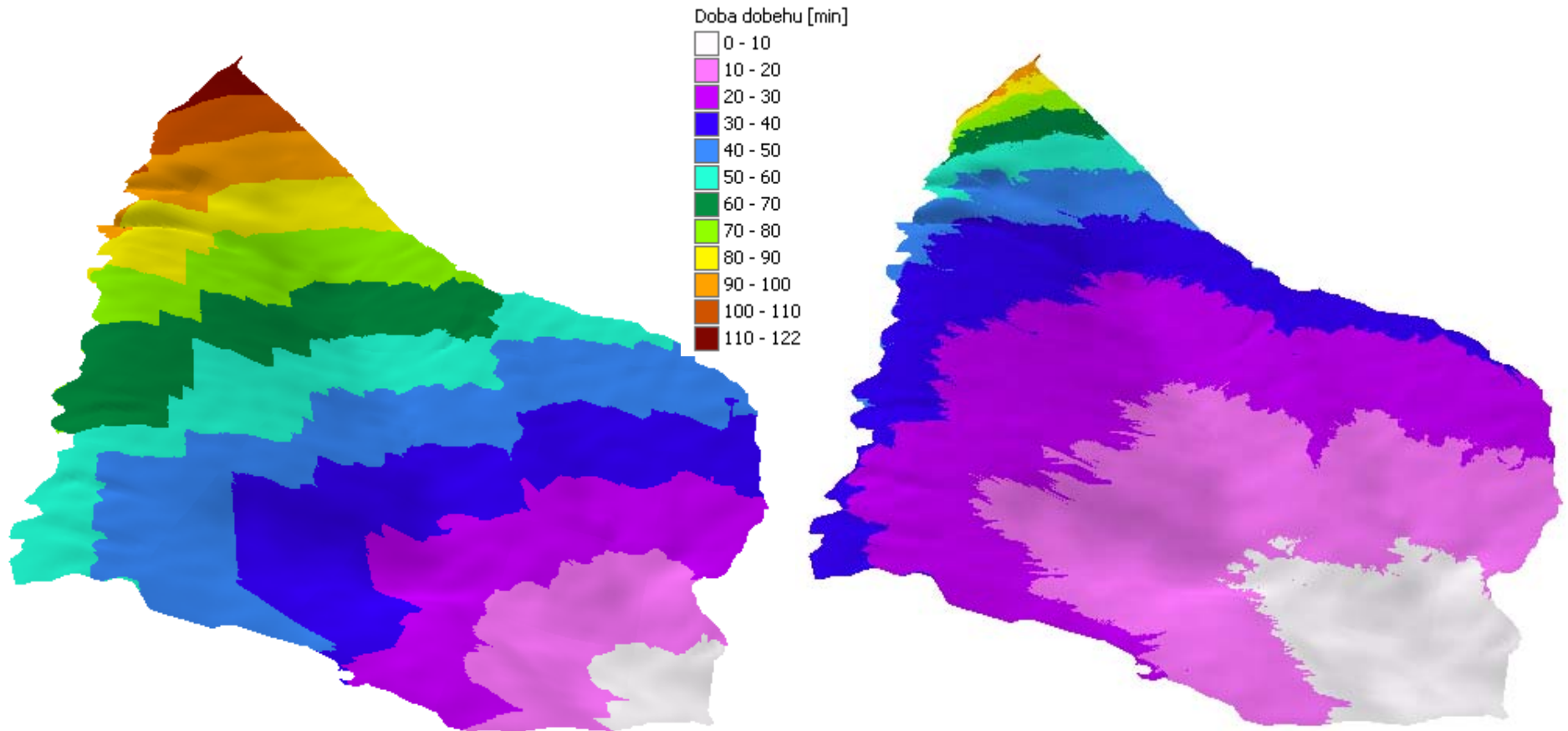


Výpočet doby dobehu do výtokového profilu:

$$\frac{\text{Doba koncentrácie}}{\text{Max. hodnota svahovej dĺžky}} * \text{Svah. dĺžka; (grid)}$$

$$\frac{\text{Doba koncentrácie}}{\text{Max. hodnota svahovej dĺžky}} * \text{Svah. dĺžka (grid)}$$

Doba dobehu do výtokového profilu – izochrony



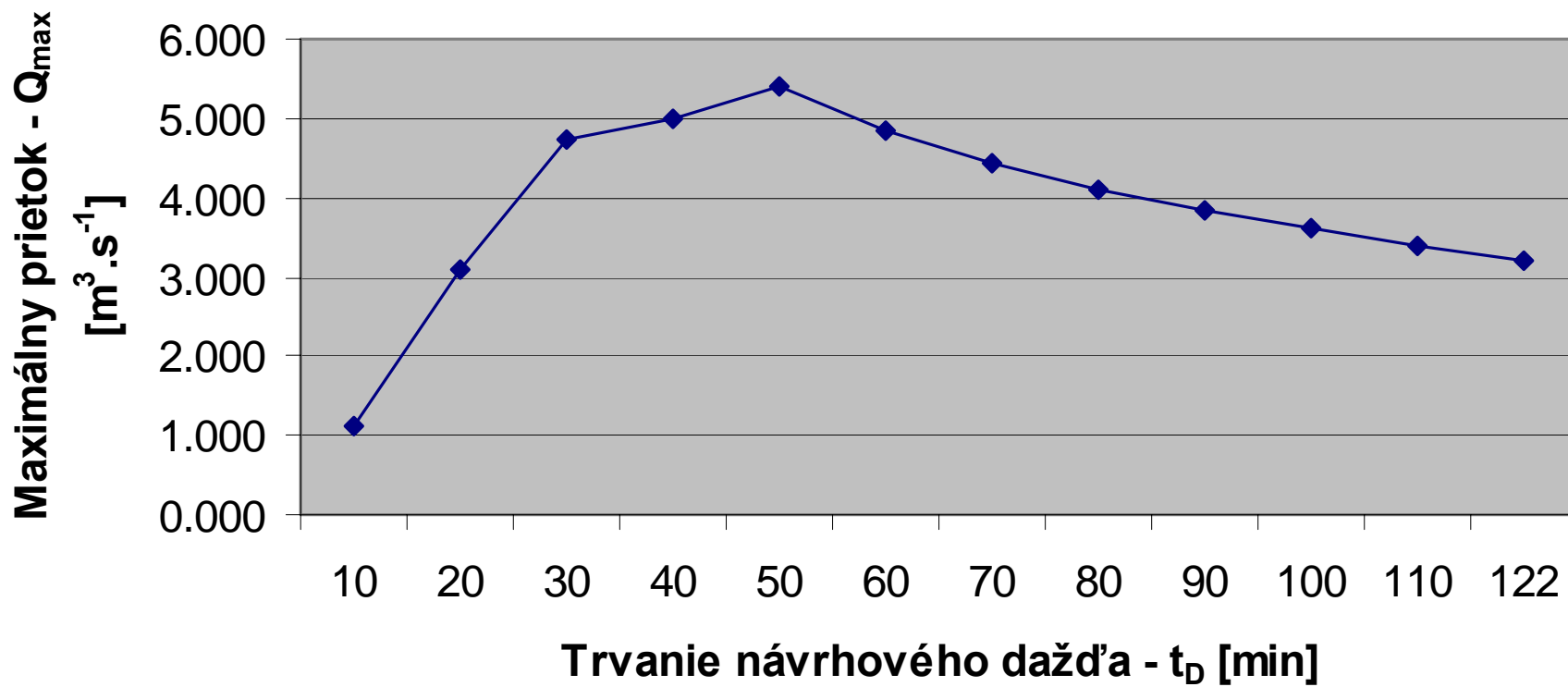
Ako funkcia:

- Doby koncentrácie
- Svahovej dĺžky

Ako funkcia:

- Doby koncentrácie
- Svahovej dĺžky
- Rýchlosti povrchového odtoku

Závislost' $Q_{\max} = f(t_D)$



Využitie poznatkov

1. Vytváranie reprezentatívnych dát – pomocou flow accumulation



USLE, RUSLE

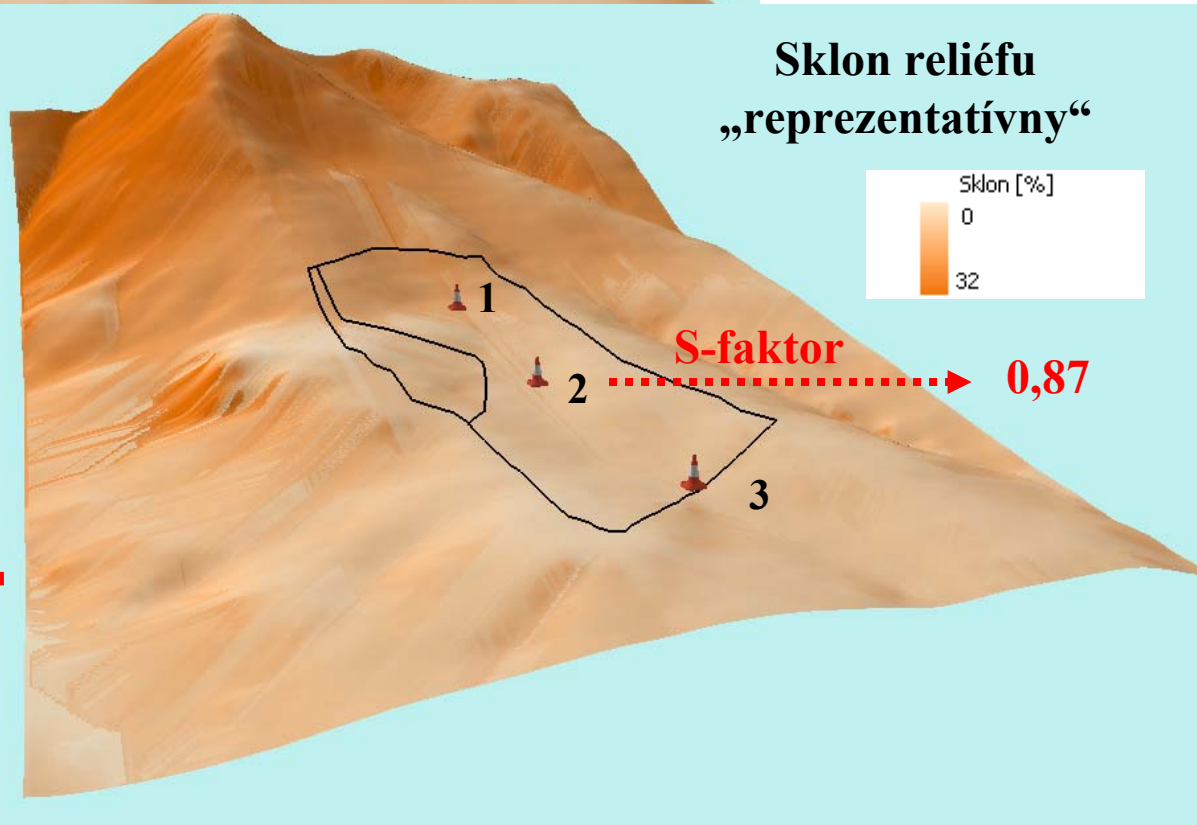
Sklon reliéfu „lokálny“



- Bod 1: 3,07 %
- Bod 2: 2,99 %
- Bod 3: 3,37 %



Sklon reliéfu „reprezentatívny“



- Bod 1: 8,86 %, t.j. + 5,79%
- Bod 2: 8,15 %, t.j. + 5,16%
- Bod 3: 4,77 %, t.j. + 1,39%



Využitie poznatkov

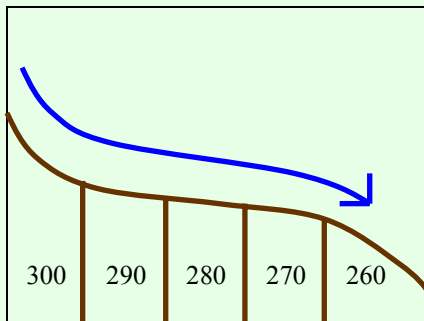
1. Vytváranie reprezentatívnych dát – pomocou flow accumulation



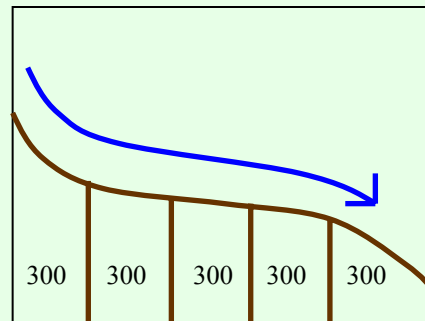
USLE, RUSLE

2. Reliéfový pomer [$m.km^{-1}$]

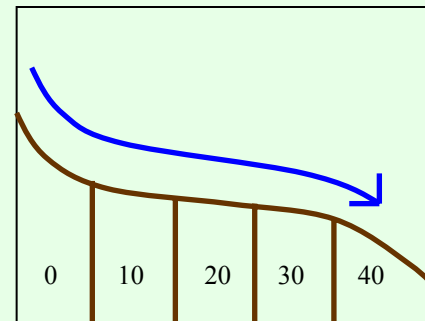
**Digitálny model
reliéfu (DMR)**



**Flow maximum
DMR**



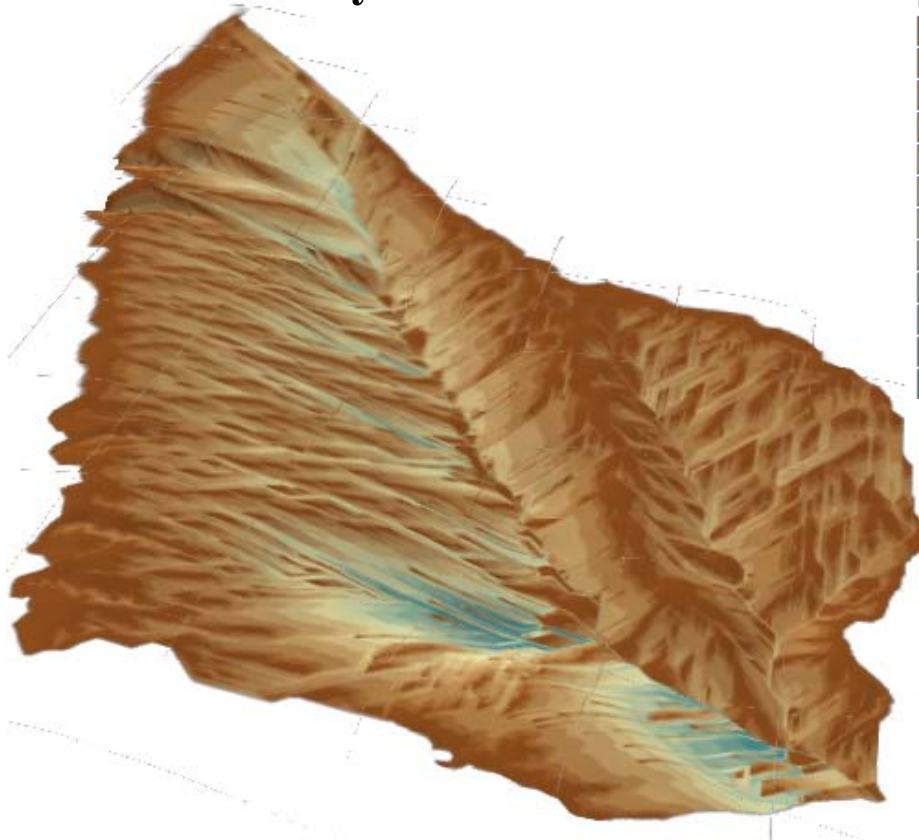
**Flow maximum DMR
- DMR**



Prevýšenie - ΔH

Prevýšenie [m]

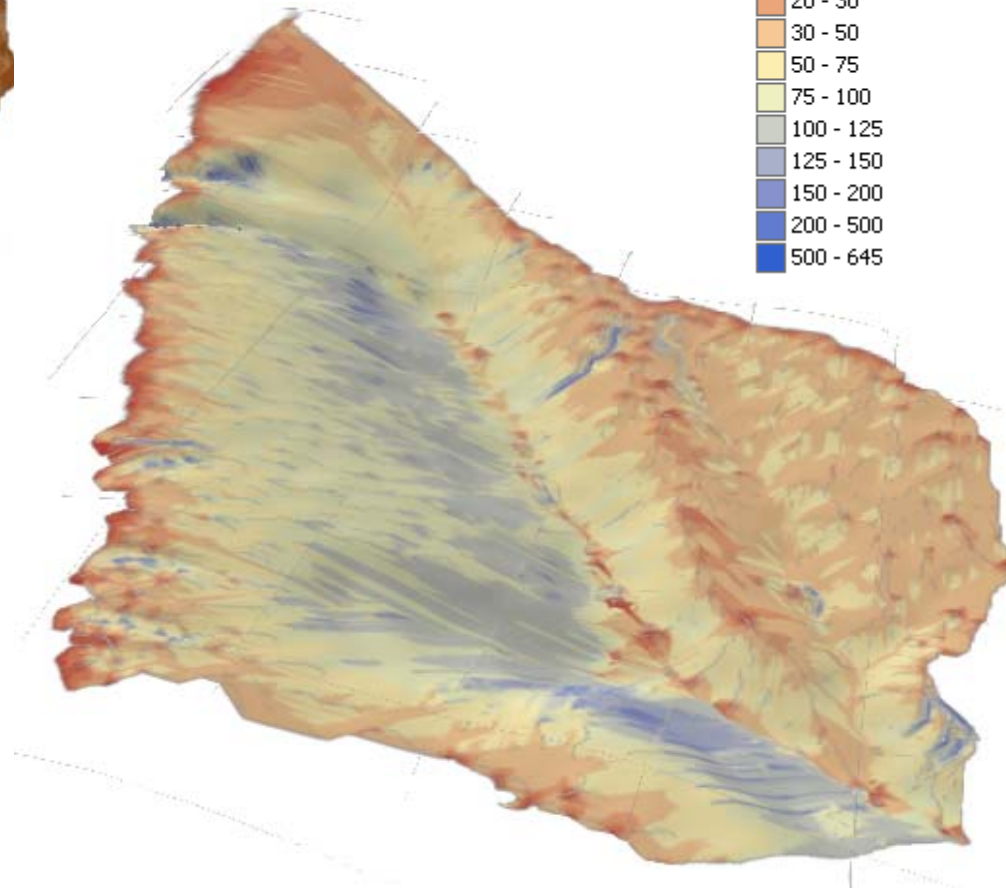
- 0 - 1
- 1 - 2
- 2 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 35
- 35 - 40
- 40 - 50
- 50 - 70



Reliéfový pomer

Reliéfový pomer [m/km]

- do 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100
- 100 - 125
- 125 - 150
- 150 - 200
- 200 - 500
- 500 - 645



Ďakujem Vám za pozornosť!

