

# HYDROLOGICKÉ MODELOVANIE POMOCOU ROZŠÍRENIA HYDROTOOLS 1.0 FOR ARCVIEW GIS 3.X

Karol Šinka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia, karol.sinka@unaig.sk

**Abstrakt.** Rozšírenie HydroTools (HTools) je prídavným programom ArcView GIS 3.x od Holgera Schäuble – ho a poskytuje rôzne hydrologické funkcie, ktoré doposiaľ neboli prístupné v mnohých GIS systémoch. HTools umožňuje analyzovať mnohé dôležité hydrologické funkcie (svahová dĺžka, akumulácia odtoku, maximum odtoku) veľkých povodí a vytvárať reprezentatívne /priemerné/ dáta sklonu, odtokových čísiel, hĺbky odtoku...atď. za pomoci obrazového kalkulátora na úrovni každej bunky rastrového dátového modelu.

**Kľúčová slova:** povodie, akumulácia odtoku, maximum odtoku, odtokové číslo

**Abstract.** The extension HydroTools (HTools) is an add-in program for ArcView GIS 3.x by Holger Schäuble and provides various hydrological functions which were unavailable in most GIS-Systems up to now. HTools is capable to analyze many important hydrological properties (flow length, flow accumulation, flow maximum) of big catchments and generate representative /average/ values of slope, curve number, depth of flow ... etc. with the help of raster calculator for every cells of grid. Keywords: English

**Keywords:** catchment, flow accumulation, flow maximum, curve number

## 1 Úvod

Riešenie pozemkových úprav, organizácie využívania pôdy, a celkovo priestorové plánovanie nezaobíde bez vytvárania hydrologických podkladov pre návrh protieróznych a protipovodňových opatrení v krajine. Veľký význam pri vytváraní týchto podkladov (priestorovo) zohráva prostredie geografických informačných systémov (GIS) práve prostredníctvom svojich hydrologických rozšírení

Cieľom príspevku je preto stanovenie výšky a objemu povrchového odtoku z návrhového dažďa na základe CN metódy ([10]), ako aj doby koncentrácie (NRCS Lag method; Bransby-Williams) a kulminačného (maximálneho) prietoku použitím hydrologického rozšírenia.

## 2 Materiál a metódy

Tvorbu hydrologických podkladov uskutočňujeme v ArcView GIS 3.x (vrátane Spatial Analyst 1.1) s použitím prídavného programu, t.j. rozšírenia HydroTools 1.0 (© Holger Schäuble).

### Prípravné hydrologické modelovanie

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

Obr. 1. Hydrologicky korektný DMR

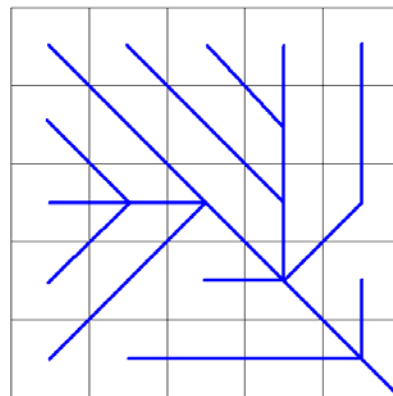
Kód	Smer odtoku
1	Východ
2	Juhovýchod
4	Juh
8	Juhozápad
16	Západ
32	Severozápad
64	Sever
128	Severovýchod

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

Obr. 2. Smer odtoku (Flow Direction D)

Z hydrologicky korektného DMR (vytvoreného interpoláčnou metódou Topo to Raster) sa odvodí mapa smeru odtoku, t.j. mapa smeru najstrmšieho spádu každej bunky k susednej, nižšie položenej bunke. Bližšie túto skutočnosť znázorňuje odvodená riečna sieť.

V ďalšom kroku určíme akumuláciu odtoku. Keďže v rastrovom dátovom modeli každá bunka je zároveň výtokovým profilom, môžeme určiť akumuláciu **k výtokovému profilu** (Hydrologic modeling), alebo **k výtokovému profilu vrátane** (Hydrotools). Pre naše potreby vyhovuje jedine akumulácia odtoku k výtokovému profilu vrátane. Podmieňuje to vytváranie reprezentatívnych (spriemerených) dát.



Obr. 3. Riečna sieť

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

Obr. 4a. Akumulácia odtoku (Flow accumulation D8) k výtokovému profilu. Riečna sieť

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

Obr. 4b. Akumulácia odtoku (Flow accumulation D8) k výtokovému profilu vrátane. Riečna sieť

### Stanovenie mapy odtokových čísiel (CN – metóda) a jeho využitie

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

- hydrologickú charakteristiku vlastností pôd
- využívanie pôdy
- 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).*
- hydrologickú charakteristiku jednotlivých spôsobov obrábania pôdy

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

- prekrytie vektorových dátových modelov (X-tools, Intersect)
- prekrytie rastrových dátových modelov (Spatial Analyst, Combine)

Použitím príkazu Combine môžeme prekryť naraz až 20 rastrov (X-tools iba 2 vektory), resp. každá kombinácia je zapísaná iba raz v atribútovej tabuľke (pri vektore je zapísaná toľko krát, koľko krát sa vyskytuje).

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

Obr. 5. Odtokové čísla (CN)

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

Obr. 6. Odtokové čísla reprezentatívne (CN)

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

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

Obr. 7. Akumulácia odtoku D8  
váha: Odtokové čísla (CN)

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

Obr. 8. Akumulácia odtoku D8  
bez váhy

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

- mapy potenciálnej retencie –  $A$  [mm]  
 $A = 25.4 * [(1000 / CN_{REP}) - 10]$
- mapy výšky povrchového odtoku –  $H_{o,p}$  [mm]  
 $H_{o,p} = (H_{D,N} - 0.2 * A)^2 / (H_{D,N} + 0.8 * A)$
- mapy prispievajúcich plôch (povodí) –  $S_p$  [km<sup>2</sup>]  
 $S_p = (\text{akumulácia odtoku bez váhy} * \text{rozlíšenie rastra}^2) / 1\,000\,000$
- mapy objemu povrchového odtoku –  $O_{o,p}$  [m<sup>3</sup>]  
 $O_{o,p} = 1000 * H_{o,p} * S_p$

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.

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

Obr. 9. Potenciálna retencia [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

Obr. 10. Výška povrchového odtoku [mm]

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

Obr. 11. Prispievajúce plochy [km<sup>2</sup>]

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

Obr. 12. Objem povrchového odtoku [m<sup>3</sup>]

**Výpočet doby koncentrácie -  $\tau_{max}$**  (určíme ako maximálnu hodnotu súčtu 3 položiek)

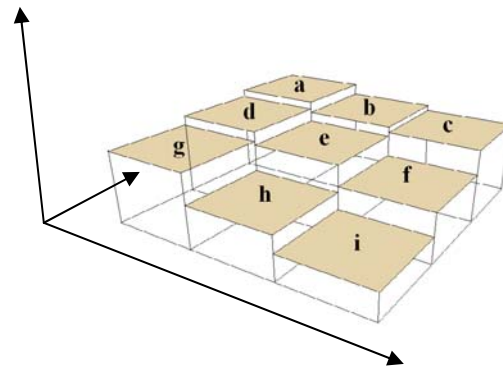
**A) Plošný povrchový odtok** (s dĺžkou do 100 m, nad 100 m - No Data) – NRCS Lag method:

$$t_{sv} = \frac{1,67 * [(3,278 * L_{sv})^{0,8} * ((1000/CN_{REP}) - 9)^{0,7}]}{1900 * I_{sv}^{0,5}} \quad [h]$$

- a)  $L_{sv}$  - Dĺžka svahu (0 až 100 [m]) – odvodením z mapy smeru odtoku.
- b)  $CN_{REP}$  - Reprezentatívna hodnota CN [-]
- c)  $I_{sv}$  - Priemerný sklon svahu [%]

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

Obr. 13. Dĺžka svahu [m]



Obr. 14. Maska 3x3 bunky pre výpočet sklonu

Aby sme mohli stanoviť hodnotu priemerného sklonu svahu, musíme poznať princíp výpočtu sklonu v prostredí GIS.

### Algoritmus výpočtu sklonu v prostredí GIS.

Výpočet sklonu sa uskutočňuje z digitálneho modelu reliéfu v maske 3 x 3 bunky. Hodnota sklonu centrálnej bunky masky je kalkulovaná z 8 susedných buniek použitím metódy priemerného maxima (Burrough, P.A., McDonell, R.A., 1998).

#### Pre centrálnu bunku e sa určí:

1. miera zmeny (sklon) povrchu – masky [m. m<sup>-1</sup>] v horizontálnom, x-ovom smere (dz/dx)  
 $[dz / dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8 * \text{rozlíšenie bunky}$

2. miera zmeny (sklon) povrchu – masky [m. m<sup>-1</sup>] vo vertikálnom, y-ovom smere (dz/dy)  
 $[dz / dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8 * \text{rozlíšenie bunky}$

Hodnota sklonu centrálnej bunky je potom determinovaná mierou zmeny povrchu v horizontálnom aj vertikálnom smere, t.j. maximálnou mierou zmeny povrchu, pričom môže byť vyjadrená v rôznych jednotkách.

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

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

Takto získaná hodnota sklonu má však charakter „bodového“, a teda nie nami hľadaného priemerného sklonu. Priemerný sklon však dokážeme určiť spôsobom, akým boli vypočítané odtokové čísla reprezentatívne.

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

Obr. 15. Bodový sklon [%]

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

Obr. 16. Maska 3x3 bunky pre výpočet sklonu

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

Obr. 17. 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	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

Obr. 18. Maximálna hodnota  $t_{sv}$  [h]

**B) Sústredený odtok údolnicou** (s dĺžkou nad 100 m, do 100 m No Data) – Bransby-Williams:

- a)  $L_{\dot{u}}$  - Dĺžka pretečeného úseku údolnice [km]  
*Východiskovým – nulovým - bodom pre meranie dĺžky je miesto transformácie plošného odtoku na sústredený.*
- b)  $I_{\dot{u}}$  - Priemerný sklon údolnice [-]
- c)  $S_p$  - Plocha povodia [km<sup>2</sup>]
- d)  $d$  - Priemer kruhu, ktorého plocha sa rovná ploche povodia [km]

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

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

**Obr. 19.** Dĺžka 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	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

**Obr. 20.** Bodový sklon [%]

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

**Obr. 21.** Priemerný sklon [%]

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

**Obr. 22.** 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	0.0025	0.0025	No Data
No Data	No Data	No Data	0.0075	No Data
No Data	No Data	No Data	No Data	0.01

**Obr. 23.** Plocha povodia [km<sup>2</sup>]

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

**Obr. 24.** Doba dobehu  $t_{\dot{u}}$  [h]

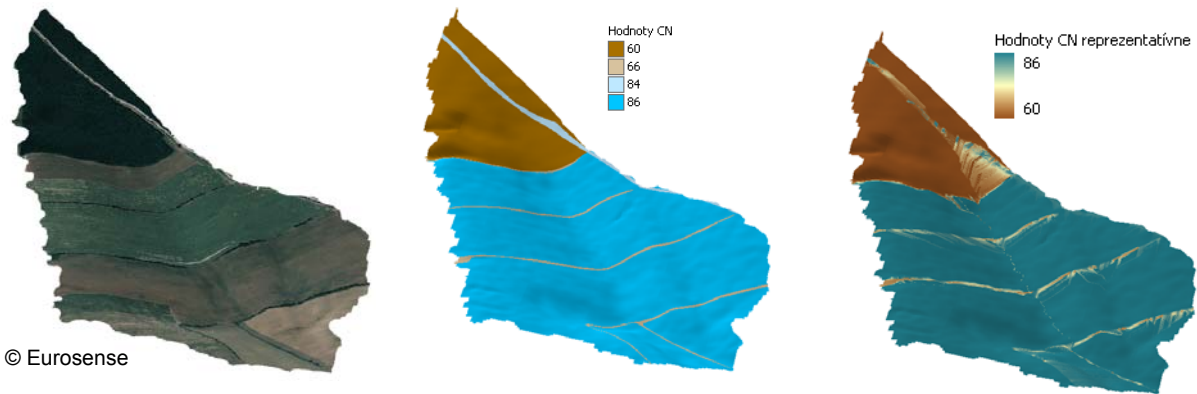
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.068	0.054	0.052	0.037
0.000	0.066	0.068	0.054	0.060
0.000	0.066	0.000	0.104	0.000
0.000	0.000	0.033	0.049	0.139

**Obr. 25.** Doba koncentrácie  $T_{max}$  [h]

Pred súčtom maximálnej hodnoty  $t_{sv}$  a  $t_{\dot{u}}$  je potrebné upraviť No Data mapy  $t_{\dot{u}}$  na hodnotu 0 (merge grid mapy  $t_{\dot{u}}$  s nulovým rastrom).

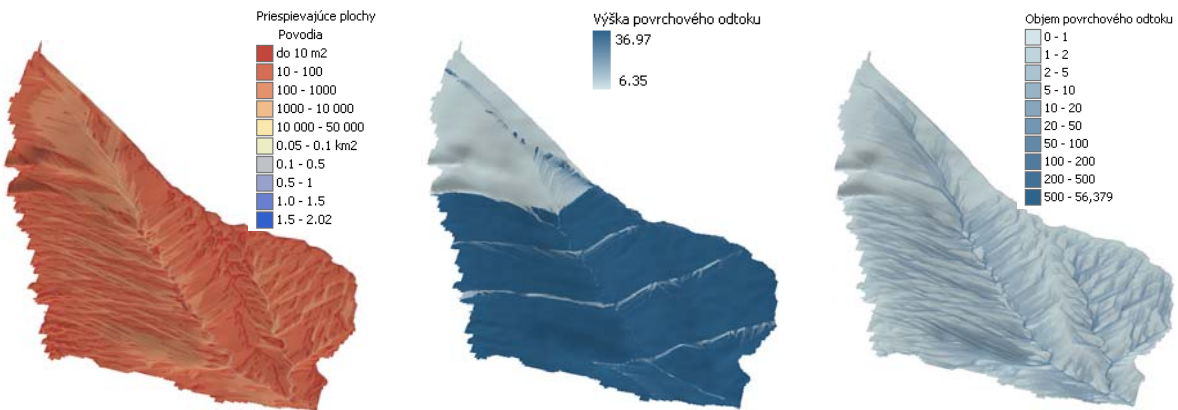
Pokiaľ by sa vyskytoval aj odtok v koryte, postupovali by sme obdobným spôsobom.

### 3 Výsledky a záver

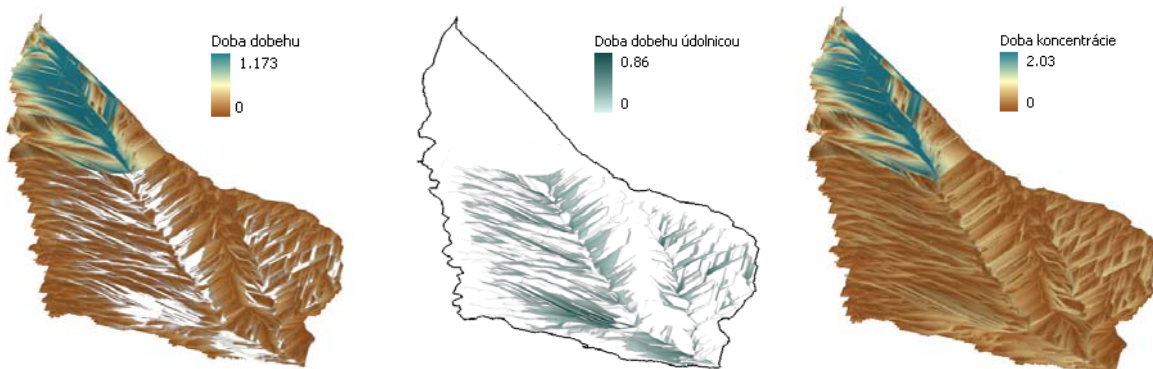


© Eurosense

Obr. 26. Modelové územie a jeho odtokové čísla (CN, CN reprezentatívne)

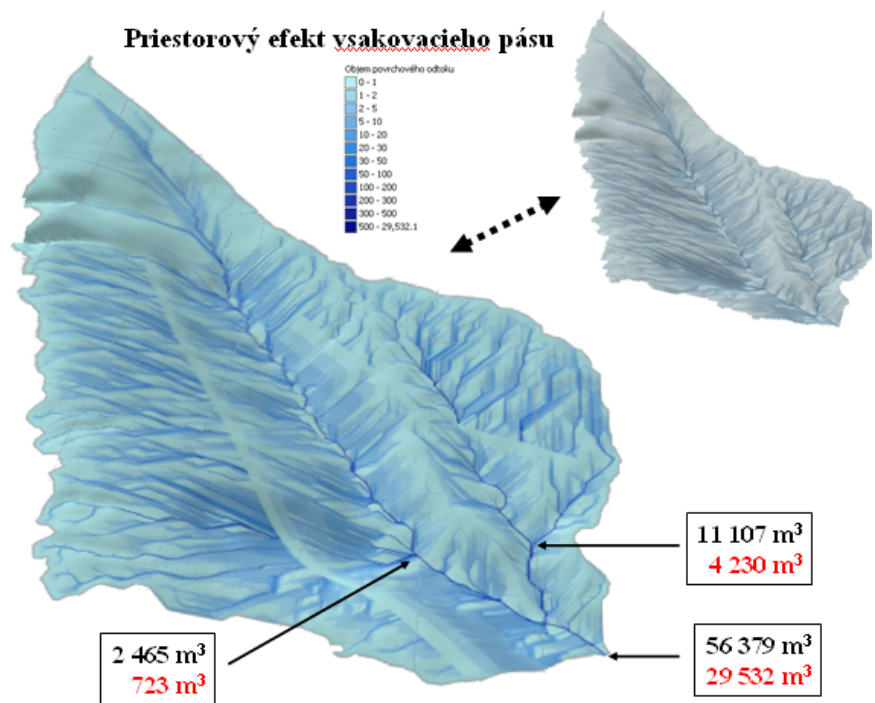
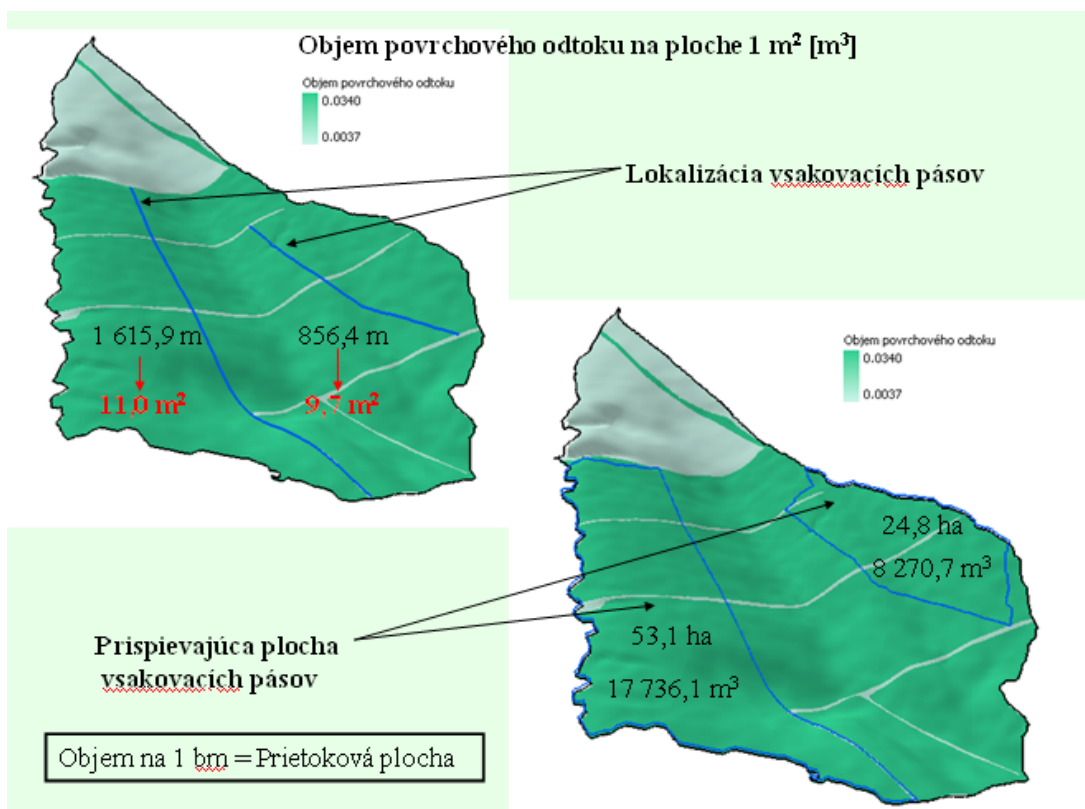


Obr. 27. Plocha povodia [km<sup>2</sup>], výška [mm] a objem [m<sup>3</sup>] povrchového odtoku



Obr. 28. Doba dobehu po svahu, údolnicou a doba koncentrácie [ h ]

Hydrologické podklady – výšku a objem povrchového odtoku podľa CN metódy - vytvárame za účelom optimálneho návrhu protieróznych, protipovodňových opatrení v krajine, ako sú vsakovacie priekopy, vodné nádrže, poldre,... . **Priestorový efekt** týchto opatrení dokážeme veľmi presne vyjadriť pomocou ďalšieho hydrologického rozšírenia od Holgera Schäuble AccumPlus 1.0, v ktorom sa zadáva účinnosť zadržavania odtoku (ale aj sedimentov) príslušnými opatreniami v percentách.



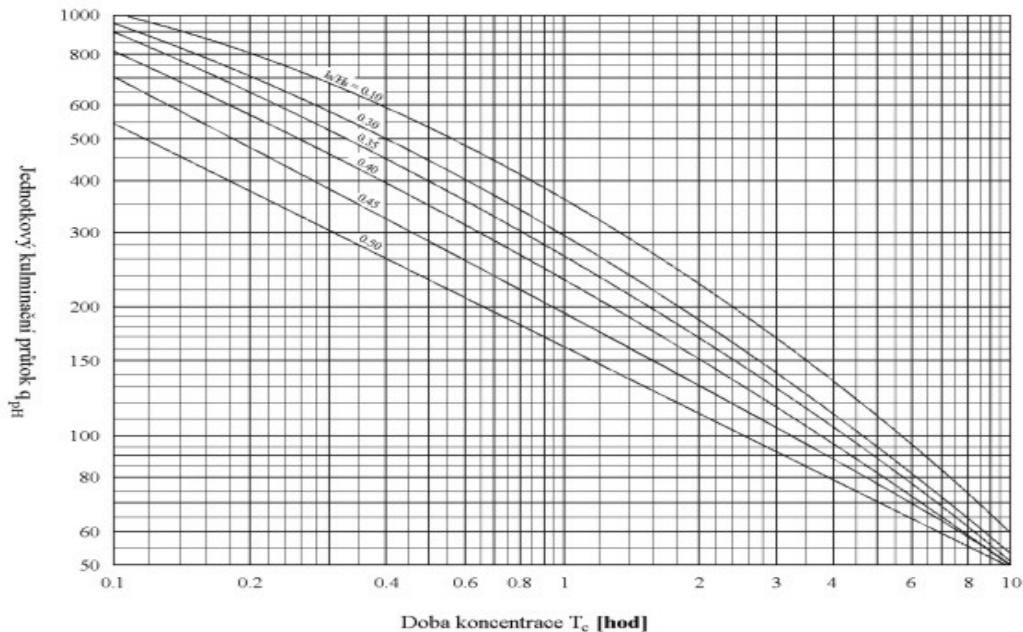
Obr. 29. Vsakovacie pásy a ich priestorový efekt s využitím rozšírenia AccumPlus 1.0



Dobu koncentrácie sme stanovili ako súčet *plošnej doby dobehu* (podľa NRCS Lag method), ktorá je funkciou charakteristík reliéfu a CN hodnoty, a *doby dobehu údolnicou* (podľa Bransby – Wiliamsa), ktorá je už len funkciou charakteristík reliéfu.

**Stanovenie maximálneho (kulminačného) prietoku –  $Q_{max}$**

Jeho stanovenie je v porovnaní s objemom povrchového odtoku omnoho problematickejšie. Vysvetlíme si to nižšie.



**Obr. 30.** Nomogram II. typu k určeniu jednotkového kulminačného prietoku

- a) určenie výšky odtokovej straty  $I_a$  [mm] ( $I_a = 0.2 * A$ )
- b) určenie hodnoty  $I_a / H_{o,p}$  [ - ], ktoré reklasifikujeme do 6 tried:

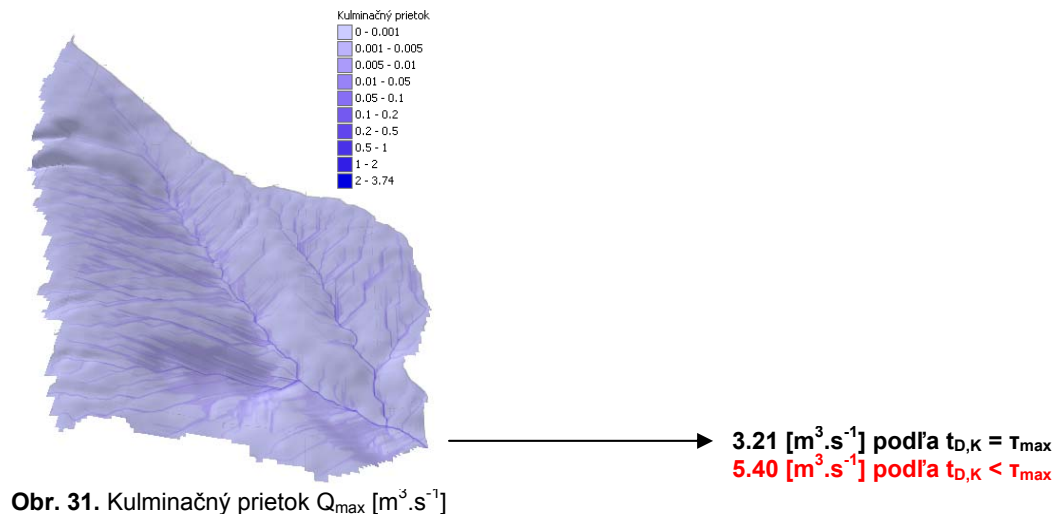
**Tabuľka 1.** Regresné rovnice k nomogramu II. typu

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

- c) výpočet jednotkového kulminačného prietoku  $q_{max} = f(I_a / H_{o,p}, T_{max})$   
*Vypočíta sa pre každú zastúpenú triedu samostatne a napokon sa  $q_{max}^{1-6}$  zlúčia do jedného rastra (merge grid).*
- d) výpočet maximálneho kulminačného prietoku  $Q_{max} = 0.000431 * q_{max} * H_{o,p} * S_p * f$

Uvedený spôsob stanovenia kulminačného prietoku  $Q_{max}$  vychádza z predpokladu, že doba koncentrácie  $T_{max}$  sa rovná kritickej dobe trvania návrhového dažďa  $t_{D,K}$  (na tomto princípe sa zakladá aj tzv. racionálna metóda). V praxi to však mnoho krát neplatí (obzvlášť v mikropovodiach s menším či väčším zastúpením lesa) a je potrebné pristúpiť k určovaniu kritickej doby trvania návrhového dažďa  $t_{D,K}$  najčastejšie graficko-analytickou metódou, t.j. vyhodnotením závislosti  $q_{100} = f(t_d)$ , ktorú zistíme postupným výpočtom hodnôt  $q_{100}$  pre rôzne náhradné dažde s dobou trvania  $t_d$  rovnvej a menšej než  $T_{max}$ . Výpočet  $q_{100}$  vykonáme pomocou nomogramu II. typu k určeniu kulminačného prietoku. Inými slovami

povedané, aplikujeme princíp Hrádekovej metódy do nomogramu II. typu, s tým rozdielom, že účinnú plochu určíme ako funkciu doby koncentrácie, svahovej dĺžky a rýchlosti povrchového odtoku. Z tohto pochopiteľne vyplýva, že strácame celopriestorovosť čo sa týka určenia kulminačného prietoku. Tá sa určí pre výtokový profil nami riešeného povodia



Z hľadiska budúceho úspešného napredovania v nami zvolenej problematike bude určite potrebné venovať väčšiu pozornosť predovšetkým drsnosti povrchu pôdy – random roughness, ktorá je definovaná ako smerodajná odchýlka mikrodigitálneho modelu reliéfu. Veľmi výrazne ovplyvňuje rýchlosť povrchového odtoku a tým aj dobu koncentrácie. Svoje opodstatnenie má aj v štúdií vodnej erózie, nakoľko je drsnosť implementovaná do revidovanej USLE v rámci faktora C.

Na druhej strane s novým, pre účely eróznno-hydrologického modelovania veľmi zaujímavým princípom výpočtu sklonu i svahovej dĺžky prichádza R. HICKEY (2000). Bodový sklon bunky neurčuje v matici 3x3, ale počíta v smere najväčšieho spádu (medzi dvomi bunkami). Nehovorí však o potrebe prepočítavania bodového sklonu na reprezentatívny sklon. Svahovú dĺžku počíta ako funkciu smeru odtoku a sklonu v smere najväčšieho spádu (t.j. v smere odtoku). Pokiaľ dôjde k „prudkému“ zmenšeniu bodového sklonu (kritéria definuje užívateľ), svahová dĺžka sa preruší a začne sa znova od nuly akumulovať. Tieto výpočty je možné uskutočniť v prostredí ArcInfo (AML format) a Idrisi for Windows (executable code “erode2.exe”). Do prostredia novších verzí ESRI či ClarkLabs zatiaľ však neboli spracované.

#### 4 Referencie

1. Antal, J.: *Agrohydroológia*. 2. vyd. Nitra: SPU. 168 s. 1999. ISBN 80-7137-610-8
2. Burrough, P. A. and McDonell, R.A.: *Principles of Geographical Information Systems* (Oxford University Press, New York), p. 190. 1998.
3. Greenlee, D. D.: *Raster and Vector Processing for Scanned Linework*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 53 (10): 1383–1387. 1987.
4. Jenson S. K. and J. O. Domingue.: *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11): 1593-1600. 1988.
5. Hickey, R.: *Slope angle and slope length solutions for GIS*. Cartography, v. 29, no. 1, pp. 1 – 8.
6. Hudson, N.: *Soil Conservation*. Batsford Ltd. London. 1973
7. Schäuble, H.: *HydroTools 1.0 for ArcView 3.x. Hydrological analysis of catchments and particle movements*. P. 12. 2004.
8. Schäuble, H.: *AccumPlus for ArcView 3.x and ArcGIS 9.x*. Flow accumulation by considering dams and their specific operation time. P. 12. 2008.
9. Šimonides, I.: *Základy geografických informačných systémov*. 2. vyd. Nitra: SPU. 114 s. 2004. ISBN 80-8069-426-5
10. Tarboton, D. G., R. L. Bras, and I. Rodriguez-Iturbe.: *On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data*. Hydrological Processes. 5: 81–100. 1991
11. Wen Te Chow: *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, Inc, New York. 1964.

#### PodĎakovanie:

Tento príspevok vznikol za podpory grantového projektu VEGA V – 07 – 007 – 001.