

**MAPOVANIE DLHODOBÉHO PRIEMERNÉHO ROČNÉHO
ODTOKU S VYUŽITÍM EMPIRICKÝCH MODELOV**

Juraj Parajka

MAPPING LONG-TERM MEAN ANNUAL RUNOFF USING EMPIRICAL MODELS. Knowledge of the spatial distribution of runoff can be useful for many water resources tasks. This paper focuses on the estimation and spatial interpretation of the long-term mean annual runoff (1951-80) using empirical relationships. The purpose of this study is to evaluate the spatial accuracy of the spatial interpretations of existing empirical models as well as newly calibrated simple spatial models. The quality of the resulting runoff grid maps was tested against measured runoff data in 57 basins. The acceptable results of the verification procedures demonstrated that the newly calibrated spatial models could be used to describe the spatial variability of the long-term mean annual runoff over the territory of Slovakia.

KEY WORDS: long-term mean annual runoff, mapping, empirical models, GIS

Úvod

Proces mapovania a tvorby izočiarových máp prvkov hydrologickej bilancie nie je jednoznačne objektívne zopakovateľný (Parajka, 1994). Preto je dôležité hľadať a nájsť určitý racionálny a opakovateľný spôsob zjednodušenia a znázornenia hydrologických priestorových javov (Hojovec et al., 1987).

V súčasnosti sa do popredia dostáva metóda zobrazovania priestorovej informácie s použitím rastrovej (bunkovej) štruktúry. Rastrové mapy prvkov hydrologickej bilancie sa využívajú pri modelovaní priestorových zmien jednotlivých hydrologických prvkov, na určenie komponentov hydrologickej bilancie vybraných území (Kostka, Holko, 1993 a 1998), môžu sa využiť pri overovaní platnosti údajov pre rôzne atmosférické a hydrologické modely (Arnell, Gottschalk, 1993), ale aj pri štúdiách spojených s posudzovaním dôsledkov novej zmeny klímy na hydrologický cyklus (Hlavčová et al., 1999).

Otázkou a významom určenia rastrovej interpretácie dlhodobého priemerného ročného odtoku územia Slovenska sa vo svojich prácach zaoberali Szolgay et al.

(1997) a Parajka (1994, v tlači). Na vytvorenie rastrových máp odtoku aplikovali metódy:

- hydrologickej bilancie,
- priamej interpolácie meraných hodnôt odtoku priradených k ťažiskám malých povodí,
- interpolácie odtokového koeficientu,
- mapovej algebry na priestorové znázornenie existujúcich, resp. novovytvorených priestorových empirických modelov,

Pri mapovaní odtoku Slovenska sa v práci Parajka (v tlači) ako veľmi dôležitá ukázala otázka určenia priestorového rozloženia zrážok. Donedávna sa na jeho priestorové vyjadrenie využívala expertným spôsobom vytvorená izočiarová mapa. Práca Hofierka et al. (v tlači) ukázala, že na vytvorenie priestorového rozloženia dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok územia Slovenska je presnejšie využiť interpolačnú metódu 3-dimenzionálneho regularizovaného splajnu s tenziou.

Cieľom tejto práce je zhodnotiť možnosti a efektivitu empirických modelov pri mapovaní dlhodobého priemerného ročného odtoku (1951-80). Hlavné ciele práce sú:

- zhodnotiť možnosti použitia existujúcich empirických modelov pri priestorovom znázornení dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska,
- na priestorové vyjadrenie vstupného prvku empirických modelov – dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok - otestovať rastrovú mapu vytvorenú interpolačnou metódou 3-dimenzionálnym regularizovaným splajnom s tenziou,
- využiť prostredie a metódy GIS na vytvorenie nových priestorových empirických modelov a na zhodnotenie ich priestorovej platnosti.

Existujúce empirické modely

Na Slovensku má dlhú tradíciu využitie empirických vzťahov pre nepriame určovanie prvkov hydrologickej bilancie v územiach, kde nie sú k dispozícii priame merania. Empirické vzorce pre výpočet dlhodobého priemerného odtoku vychádzajú zo závislostí odtoku (O) od iných klimatických činiteľov – najčastejšie dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok (Z), teploty vzduchu (T), prípadne indexu potenciálnej evapotranspirácie (EPI). Autorov, ktorí skúmali tento vzťah je mnoho, v súvislosti s cieľom riešenia sa v minulosti pre územie Slovenska skúmala vhodnosť modelov Duba, Liebschera, Frigu, Kaczmarka, Kellera, Penka, Nováka, Gustarda, Wundta, Szolgaya-Parajku a Turca. Podrobnejší popis použiteľnosti jednotlivých modelov je v práci Parajka (1994 a v tlači), Novák (1995) a Szolgay et al. (1997). Ako vhodný model pre mapovanie odtoku sa v týchto prácach ukázali empirické modeli: Dub-Tresová (pre oblasť bývalej ČSFR), Parajka-Szolgay a Novák. Rovnice jednotlivých modelov sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Rovnice vybraných empirických modelov na výpočet dlhodobého priemerného ročného odtoku

Model	Rovnica (O, Z, EPISR v [mm], T v [°C])
Parajka, Szolgay	$O = Z * \left[1 - \frac{EPISR}{(1.367 * EPISR^4 + Z^4)^{1/4}} \right]$ $EPISR = 260.822 + 37.92 * T + 0.077 * T^3$
Dub, Tresová	$O = -295.55 + 1.01 * Z - 31.91 * T$
Novák	$O = Z - \left[(49 * T + 222)^{-2.5} + Z^{-2.5} \right]^{-0.4}$

Kalibrácia nových empirických modelov

Metódy a prostredie GIS umožňujú nielen analýzu a zobrazovanie priestorových údajov, ale aj kalibráciu, resp. konštrukciu nových priestorových modelov. Na ich vytvorenie sa využívajú informácie z rastrových máp vybraných prvkov hydrologickej bilancie – dlhobovej priemernej ročnej aktuálnej (ET) a potenciálnej (EPI) evapotranspirácie, úhrnu zrážok (Z) a teploty vzduchu (T). Metódou viacnásobnej lineárnej regresnej analýzy sa podľa vzoru modelov Duba-Tresovej

$$ET = a + b * Z + c * T$$

a Turca

$$\frac{ET}{EPI} = \left(k + \left(\frac{Z}{EPI} \right)^{-n} \right)^{-1/n}$$

kde EPI je vyjadrená zo vzťahu

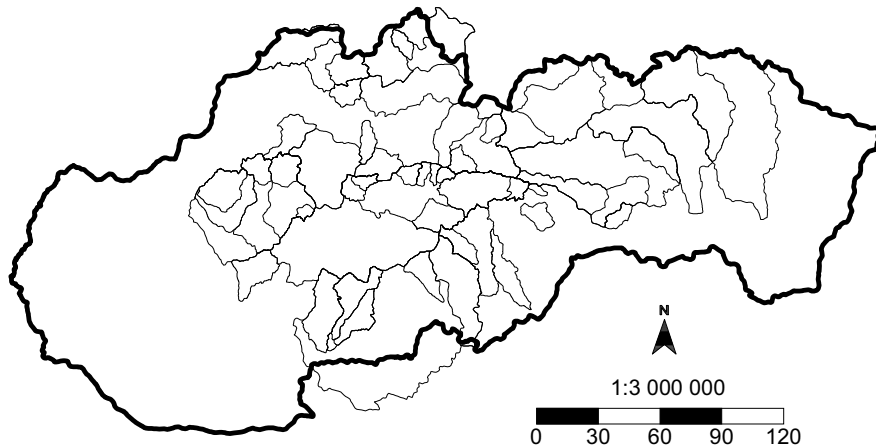
$$EPI = a + b * T + c * T^3$$

určia príslušné koeficienty a , b , c , n a k . Rastrová mapa odtoku sa následne vypočíta z rovnice hydrologickej bilancie $O=Z-ET$.

Kontrola presnosti výsledných máp odtoku

Presnosť výsledných rastrových máp dlhodobého priemerného ročného odtoku bola porovnávaná voči meraným hodnotám odtoku v 57 povodiach s priamymi meraniami prietoku. Mapa znázorňujúca priestorové rozloženie povodí je zobrazená na obr. 1. Metódami mapovej algebry boli pre výsledné rastrové mapy

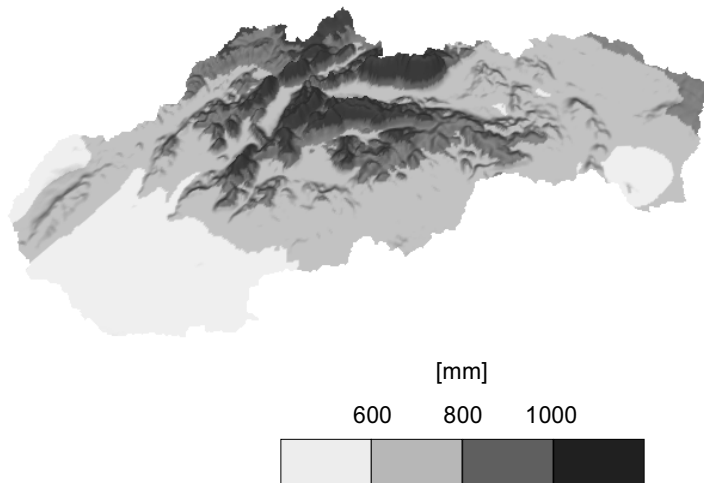
vypočítané priemerné hodnoty odtoku pre každé povodie. Rozdiely medzi meranými a vypočítanými hodnotami boli štatisticky spracované. Miera presnosti, resp. chyby rastrových máp bola kvantifikovaná pomocou štatistického parametra variácie.



Obr. 1 Mapa povodí s priamymi meraniami prietoku.

Dáta

Na vykresľovanie existujúcich a kalibráciu nových empirických modelov pre nepriame určenie dlhodobého priemerného ročného odtoku boli využité dostupné informácie o priestorovom rozložení dlhodobých priemerných ročných hodnôt úhrnu zrážok, teploty vzduchu, aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie z referenčného obdobia 1951 - 80.



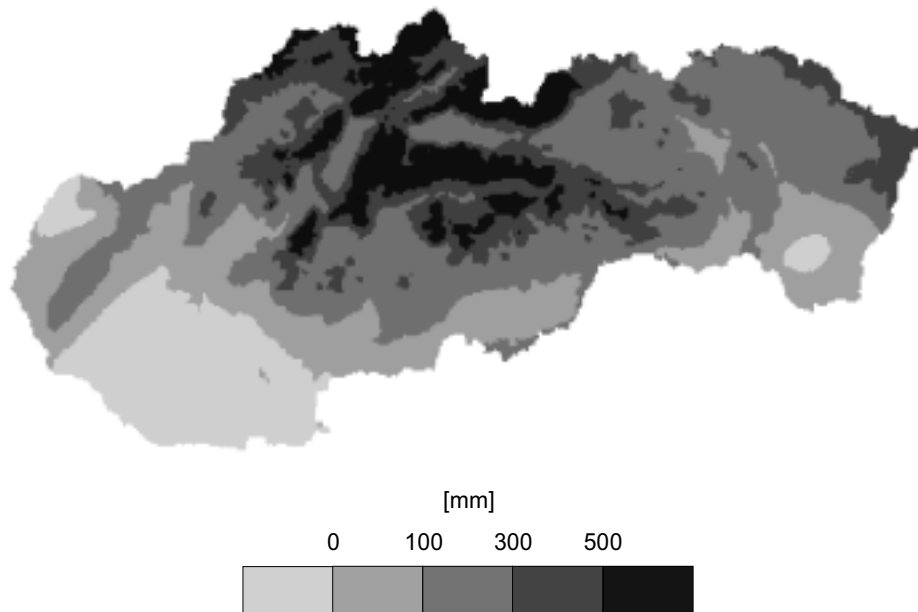
Obr. 2 Rastrová mapa dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok vytvorená interpolačnou metódou 3-dimenzionálnym regularizovaným splajnom s tenziou.

Na základe výsledkov prác Parajka (2000) a Hofierka (v tlači) bola na priestorové vyjadrenie poľa zrážok zvolená rastrová mapa vytvorená interpolačnou metódou 3-dimenzionálnym splajnom s tenziou – obr. 2. Na priestorové vyjadrenie poľa teploty vzduchu, potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie boli použité rastrové interpretácie analógových izočiarových máp vytvorené v rámci práce Hlavčová et al. (1999).

Výsledky

Na mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku s využitím empirických modelov boli v tejto práci testované empirické vzťahy Duba-Tresovej, Parajku-Szolgaya a Nováka. Výsledné rastrové mapy odtoku podľa jednotlivých modelov sa vytvorili metódami mapovej algebry v prostredí GIS, kde boli podľa jednotlivých empirických vzťahov modifikované rastrové mapy dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok a teploty vzduchu. Ako príklad výslednej rastrovej mapy odtoku je na obr. 3 znázornená priestorová interpretácia empirického modelu Duba-Tresovej.

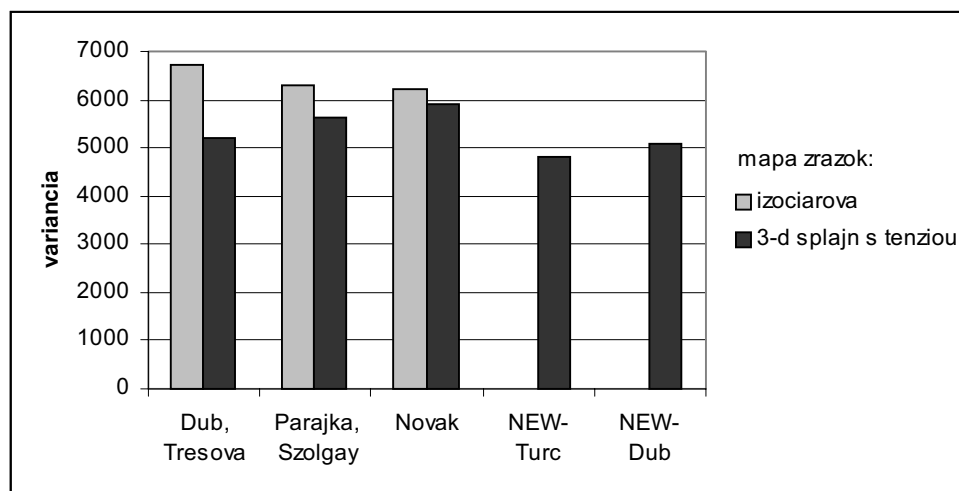
Z porovnania výsledných rastrových máp dlhodobého priemerného ročného odtoku vyplýva, že nie všetky empirické modely sú dostatočne reprezentatívne na priestorové znázornenie odtoku pre celé územie Slovenska. Ako dokumentuje výsledná rastrová mapa modelu Duba-Tresovej (obr. 3) pre oblasti nížin Slovenska je tento vzťah nepoužiteľný, pretože v týchto oblastiach vychádza podľa neho záporný odtok.



Obr. 3 Priestorové znázornenie empirického modelu Duba-Tresovej

Rastrové mapy empirických vzťahov Parajku-Szolgaya a Nováka majú veľmi podobné priestorové rozloženie odtoku a sú vhodnejšie na mapovanie odtoku pre celé územie Slovenska.

Porovnanie presnosti existujúcich empirických modelov voči meraným hodnotám odtoku v 57 povodiach územia Slovenska (obr. 4) ukázalo, že najmenšie rozdiely medzi meranými a vypočítanými územnými priemerami sú pozorované pre empirický model Duba-Tresovej – s varianciou rozdielu územných priemerov rovnajúcej sa hodnote 5214. Výsledky štatistického zhodnotenia na obr. 4 zároveň ukázali, že na kvalitu priestorového znázornenia empirických modelov má vplyv reprezentatívnosť priestorového rozloženia poľa zrážok. Porovnanie variancie územných rozdielov ukázalo, že empirické modely vypočítané s využitím rastrovej mapy zrážok vytvorenej interpolačnou metódou 3-dimenzionálnym regularizovaným splajnom s tenziou sú presnejšie ako modely, do ktorých bola ako vstup použitá rastrová interpretácia izočiariovej mapy zrážok. Rozdiely variancie boli pozorované pre všetky skúmané empirické modely.



Obr. 4 Variancia [mm^2] meraných a podľa rôznych empirických modelov vypočítaných územných priemerov odtoku pri výpočte ktorých boli ako vstup použité rôzne mapy zrážok.

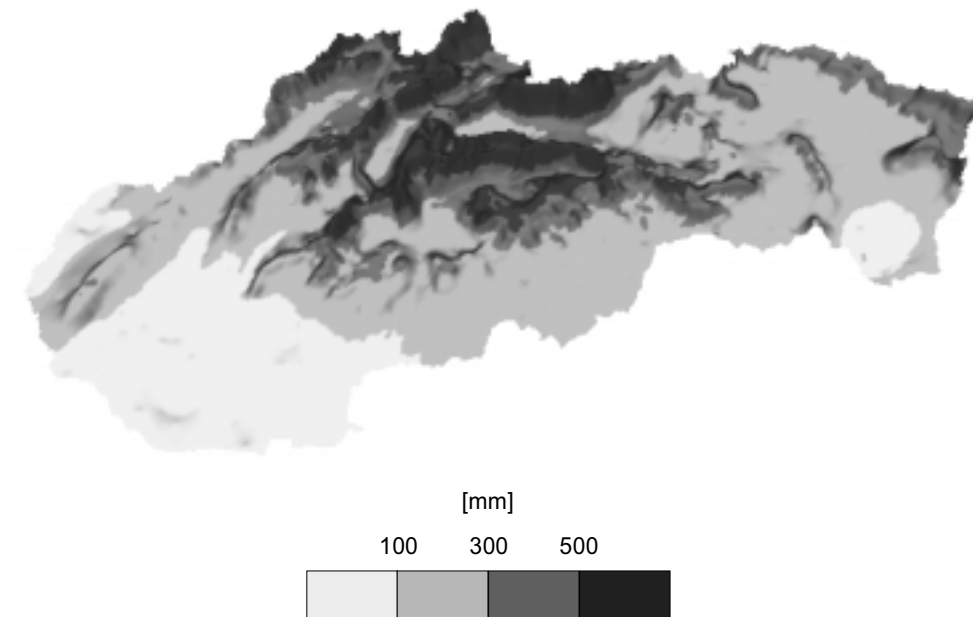
Metódy GIS a rastrové mapy prvkov hydrologickej bilanice celého územia Slovenska boli využité nielen na vykreslenie a zhodnotenie existujúcich empirických modelov, ale aj na kalibráciu nových priestorových modelov. Ako vzor pre kalibráciu priestorových modelov boli využité rovnice Duba-Tresovej a Turca. Výsledný tvar nakalibrovaných empirických modelov je uvedený v tabuľke 2, príklad rastrovej interpretácie novovytvoreného empirického vzťahu podľa vzoru modelu Turca je znázornený na obr. 5.

Štatistické zhodnotenie územných rozdielov (obr. 4) ukázalo, že novovytvorené empirické modely majú menšie rozdiely medzi meraným a vypočítaným odtokom

ako existujúce empirické vzťahy, a teda lepšie reprezentujú priestorové rozloženie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska.

Tabuľka 2 Novovytvorené empirické modely na nepriame určenie dlhodobého priemerného ročného odtoku.

Model	Rovnica
nový – vzor Turc	$O = Z * \left[1 - \frac{EPISR}{(1.168 * EPISR^{3.273} + Z^{3.273})^{1/3.273}} \right]$ $EPISR = 255.894 + 36.2587 * T + 0.1211 * T^3$
nový – vzor Dub	$O = 503.04 + 1.095 * Z - 5.674 * T$



Obr. 5 Rastrová mapa dlhodobého priemerného ročného odtoku vytvorená na základe novovytvoreného empirického modelu podľa vzoru Turca.

Záver

Výsledky mapovania dlhodobého priemerného ročného odtoku s využitím empirických vzťahov ukázali, že presnosť jednotlivých empirických modelov závisí

od konkrétneho empirického vzťahu. Všeobecne sa dá konštatovať, že novovytvorené empirické modely sú reprezentatívnejšie ako už existujúce empirické vzťahy. Prostredie a metódy GIS umožnili nielen vytvoriť priestorové vyjadrenie jednotlivých empirických modelov, ale aj overiť ich priestorovú platnosť. Z výsledkov priestorových vyjadrení jednotlivých empirických modelov vyplýva, že rastrová mapa empirického vzťahu Duba-Tresovej neumožňuje reprezentatívne vyjadriť priestorové rozloženie odtoku pre celé územie Slovenska – v oblasti nížin Slovenska vychádza podľa tohto modelu záporný odtok a je teda pre tieto oblasti nepoužiteľný. Výsledky štatistického zhodnotenia rozdielov medzi meranými a vypočítanými územnými priemerami odtoku naznačujú, že výsledná presnosť empirických modelov je ovplyvnená presnosťou vstupných rastrových máp – najmä rastrovej mapy zrážok. Porovnanie ukázalo, že rastrová mapa zrážok vytvorená interpolačnou metódou 3-dimenzionálnym regularizovaným splajnom s tenziou poskytuje reprezentatívnejšie priestorové vyjadrenie poľa zrážok ako izočiarová mapa vytvorená expertným subjektívnym prístupom. Výsledná presnosť novovytvorených empirických modelov, najmä modelu vytvoreného podľa vzoru Turca, umožňuje využívať tento vzťah pri nepriamom určovaní odtoku v oblastiach bez priamych pozorovaní a takisto pri úlohách spojených s modelovaním vplyvu dopadov klimatickej zmeny na zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku.

PodĎakovanie

Chcel by som týmto poďakovať grantovej agentúre VEGA za podporu projektu č. 2/6008/99, v rámci ktorého práca vznikla.

Literatúra

- Arnell, N. W., Gotschalk, L. (1993): Mapping average annual runoff. In: Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND). Vol.I, Hydrological studies, Institute of Hydrology, Wallingford.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Čunderlík, J., Parajka, J., Lapin, M. (1999): Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia. Publication of the Slovak Committee for Hydrology Nr. 3, Bratislava.
- Hofierka, J., Parajka, J., Mitášová, H., Mitáš L. (v tlači): Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension. TGIS Journal.
- Hojovec, V. et al. (1987): Kartografie. 1. vyd., Praha.
- Holko, L., Kostka, Z. (1998) Precipitation and runoff measurements errors and their influence on hydrological balance of a mountain catchment. In: Proc. XIX Conference of the Danube countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Hrvatske vode - Zagreb, 1998, 261-266.
- Kostka, Z., Holko, L. (1993) Problems of the water balance determination in mountainous catchments. IAHS Publ. no. 221, 433-438.
- Novák, V. (1995) Vplyv klimatických zmien na ročné bilancie vody na území Slovenska. Vodohosp. Čas. 43, 1-2, 116-124.
- Parajka, J. (1994): Mapovanie prvkov hydrologickej bilancie. [Diplomová práca.] PrF UK, Bratislava.

Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku.....

- Parajka, J. (v tlači): Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska. [Kandidátska dizertačná práca.] Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU Bratislava.
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V., Parajka, J. (1997): Časové a priestorové zmeny hydrologickej bilancie na území východného Slovenska. [Monografia.] STU, Bratislava.

Mgr. Juraj Parajka
Experimentálna hydrologická základňa
Ústav hydrológie SAV
Ondrašovecká 16
031 05 Liptovský Mikuláš
email: parajka@svslm.sk