VPLYV VYBRANÝCH MORFOMETRICKÝCH VLASTNOSTÍ POVODÍ NA DYNAMIKU ODTOKU

Ján Hanušin

Cieľom príspevku je vyhodnotiť základné morfometrické vlastnosti povodia vo vzťahu k dynamike odtoku, na súbore 30 malých povodí. Veľkosť dynamiky odtoku je vyjadrená ako počet mesiacov, v ktorých bol Qmes>1,5-násobok $\overline{Q}$mes počas sledovaného 25-ročného (300-mesačného) pozorovacieho radu obdobia 1976-2000. Zaviedli sme hodnotu koeficienta reagencie povodia (Rp) ako pomer počtu prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}$mes na 1000 mm spadnutých zrážok, vypočítaných z priemeru zrážkových úhrnov za 25-ročné obdobie. Týmto spôsobom sme získali pre všetky povodia porovnateľnú hodnotu vyjadrujúcu reagenciu systému povodia na jednotkový objem spadnutých zrážok. Ťažiskovým problémom štúdie je hodnotenie vzťahu koeficienta Rp ku štyrom vybraným morfometrickým charakteristikám povodí: k priemernej nadmorskej výške, rozdielu maximánej a minimálnej výšky v povodí, priemernému sklonu hlavnej doliny a ku hustote riečnej siete. Závislosť medzi koeficientom Rp a morfometrickými charakterisitkami sme vyhodnocovali graficky a analýzou korelačného koeficientu. Výsledné zistenia ukázali, že koeficient Rp, a teda aj pravdepodobnosť dosiahnutia nadpriemerného prietoku, meranom v záverečnom profile, je dobre skorelovaný (zostupne, podľa veľkosti koeficienta korelácie) s priemernou nadmorskou výškou povodia, rozdielom maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky v povodí a s hustotou riečnej siete. Závislosť Rp na priemernom sklone hlavnej doliny sa nepreukázala ako významná.

Kľúčové slová: morfometrické vlastnosti povodia, dynamika odtoku, povodne

The impact of chosen morphometric basin parameters on runoff dynamics. The goal of the paper is to assess basic *morphometric basin parameters in relation to the runoff dynamics on sample of 30 small basins. The runoff dynamics was defined as number of months in which the Qm >1,5 multiple of $\overline{Q}$m from the 25 year period 1976 – 2000 (300 months). The coefficient of basin response (Rp) was set up as ratio between the exceedance of 1,5 multiple of $\overline{Q}$m on 1000 mm of precipitation falled on respective basin as calculated from the 25 year precipitation record. In this way a comparable value of basin system response on unit precipitation volume for all investigated basins has been obtained. The key issue of the paper is to asses the relations among Rp value and the 4 chosen morphometric basin parameters: mean basin altitude, difference between maximum and minimum altitude within basin, mean main valley slope and river network density. The dependance between Rp value and morphometric parameters was set up in graphic form and by use of correlation coefficient as well. The final results revealed that the Rp value, and therefore probability of above average discharge in final profile at the same time, is well correlated to (downlink according to correlation coefficient) mean basin altitude, difference between maximum and minimum altitude within basin and river network density. The relation between Rp and mean main valley slope were revealed as not important.*

Key words: morphometric basin parameters, runoff dynamics, floods

---

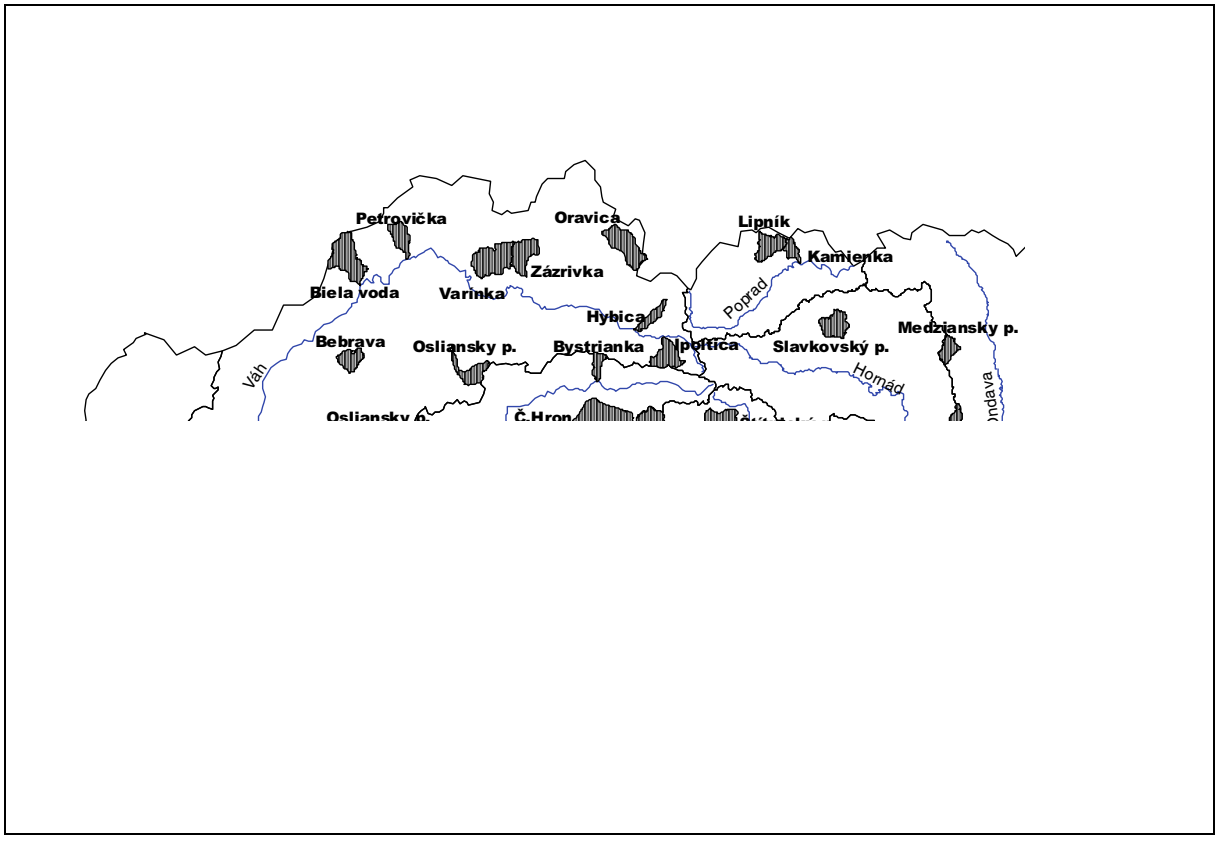
ÚVOD A CIEĽ

Rozsiahle povodne v strednej Európe v poslednom desaťročí podmienili záujem o ďalšie štúdium príčin ich vzniku, šírenia a dopadu na spoločnosť i prírodnú krajinu. Popri klimatických podmienkach vzniku povodní, z ktorých má jednoznačne najväčší význam množstvo, charakter a režim spadnutých zrážok sa na transformácii odtokového (povodňového) procesu podieľa množstvo faktorov, z ktorých významnú úlohu hrajú aj morfometrické vlastnosti povodia.

Toky ako línie odnosu hmoty z krajiny za stálych klimatických, hydrologických a tektonických podmienok sa snažia vytvoriť systém založený na rovnováhe medzi procesmi odnosu a akumulácie. Procesy hľadania rovnováhy sa premietajú do viacerých hydrografických a hydromorfologických charakteristík (parametrov) tokov akými sú pozdĺžny sklon, kľukatosť, tvar a hustota riečnej siete.
Problematika štúdia vzťahu medzi morfometrickými vlastnosťami povodia a charakteristikami odtoku je vo svetovej literatúre pomerne široko rozpracovaná. Prehľad s odkazmi na rozsiahlu literatúru po-

dávajú napr. Mosley a McKerchar (1992, prehľad názorov na závislosť medzi hustotou riečnej siete a vlastnosťami krajinných zložiek podáva napr. Vogt et al. (2003). Detailne je študovaná problematika popísaná v práci Zavoianu (1985), aj keď je viac zameraná na hodnotenie vzťahu jednotlivých morfologických charakteristík voči rádu tokov.

Cieľom príspevku je vyhodnotiť základné morfometrické vlastnosti povodia vo vzťahu k dynamike odtoku definovanej nižšie uvedeným spôsobom. Problematiku sme sledovali na súbore 30 malých povodí (obr.1), z ktorých s výnimkou troch, je zvyšných 27 povodí úplne alebo v rozhodujúcej časti v geomorfologickej provincii Západné Karpaty. Výber povodí bol limitovaný dostupnosťou a úplnosťou pozorovacieho radu prietokov v záverečnom profile. Snahou bolo vybrať čo najmenšie a čo najautochtónnejšie povodia. Priemerná rozloha povodia je približne 86 km^2, priemerná nadmorská výška je 635 m n.m., priemerný rozdiel maximálnej výšky a nuly vodočtu je 780 m. Posledné dve priemerné hodnoty naznačujú, že súbor obsahuje viac horské povodia, preto ho nemožno považovať vzhľadom na celé územie Slovenska za reprezentatívny. Základné morfometrické údaje o povodiach boli odčítané z databázy malých povodí v prostredí GIS spracovanej na GÚ SAV (Solín et al. 2000), dĺžku a hustotu tokov sme spracovali v ArcView GIS, rozsah riečnej siete zodpovedá rozsahu "blue lines" na Vodohospodárskej mape SR 1:50 000, údaje o prietokoch poskytol SHMÚ.



Obr. 1 Rozloženie hodnotených 30 malých povodí v rámci Slovenska

Fig.1 Distribution of 30 small basin on the Slovak territory

METODIKA

Termín dynamika odtoku je pomerne široký, na pohľad vágny, a preto nie všetkými autormi akceptovaný. Dynamika odtoku v našom ponímaní by mala istým spôsobom syntetizovať dva rozhodujúce parametre odtoku, a to veľkosť a režim. Dynamiku odtoku sme definovali ako početnosť výskytu nadpriemerného prietoku nad konvenčne stanoveným limitom, a to počtom mesiacov, v ktorých bol Q_{mes} väčší ako 1,5- násobok $\overline{Q}_{mes}$ počas sledovaného 25-ročného (300-mesačného) pozorovacieho radu

obdobia 1976-2000. V takto chápanom vyjadrení syntetizuje dynamika odtoku veľkostnú zložku (Q_{mes}>1,5- násobok $\overline{Q}_{mes}$) a režimovú zložku (počet mesiacov, v ktorých bola stanovená hodnota prekročená). Hodnoty n-ročnej vody ako pravdepodobnostný ukazovateľ sme kvôli neúplnosti údajov i kvôli diskutabilite tejto hodnoty vylúčili. Vzhľadom na cieľ, ktorým bolo hodnotiť vplyv morfometrických parametrov na dynamiku odtoku museli sme hľadať spôsob ako odfiltrovať vplyv rozdielnych zrážkových úhrnov, ktoré sú hlavným činiteľom ovplyvňujúcim dynamiku odtoku. Z tohto dôvodu sme zaviedli hodnotu koeficienta reagencie povodia (Rp) ako pomer počtu prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}_{mes}$ na 1000 mm spadnutých zrážok, vypočítaných z priemeru zrážkových úhrnov za 25-ročné obdobie. Týmto spôsobom sme získali pre všetky povodia porovnateľnú hodnotu vyjadrujúcu reagenciu systému povodia na jednotkový objem spadnutých zrážok. Inými slovami takýto prístup umožňuje porovnať reakciu povodí s odlišnými fyzickogeografickými vlastnosťami ak na ne spadne rovnaké množstvo zrážok, čo je jedným z predpokladov pre stanovenie vplyvu jednotlivých fyzickogeografických vlastností povodia na charakter odtoku. Prirodzene, v tomto kontexte nemožno zabudnúť, že 1000 mm spadnutých resp. nameraných zrážok spadne v rôznom časovom režime v rôznej forme (tekuté, pevné zrážky) a bilančne sa transformuje v každom povodí odlišným spôsobom, a teda následne režim a veľkosť efektívnych zrážok zo spadnutých (nameraných) 1000 mm budú v každom povodí iné. Koeficient Rp je nepriamo skorelovaný s počtom prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}_{mes}$, (r_{xy}= -0,62), teda povodia, v ktorých je vysoký koeficient Rp majú nižší počet prekročení. Povodia s najvyšším počtom prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}_{mes}$ ležia temer všetky úplne alebo sčasti v pohoriach budovaných neogénnymi vulkanickými horninami (Tisovník, Sobranský potok, Kľak, Kamenica, Svinický potok a i.).

Ťažiskovým problémom štúdie je hodnotenie vzťahu koeficienta Rp ku štyrom vybraným morfometrickým parametrom povodí:

- priemernej nadmorskej výške
- rozdielu maximánej a minimálnej výšky v povodí
- priemernému sklonu doliny hlavného toku
- hustote riečnej siete
- hustote tokov.

Popri sledovaní závislosti Rp voči morfometrickým parametrom sme sledovali aj vzťah morfometrických parametrov voči vybraným hydrologicko-bilančným parametrom: priemernému ročnému úhrnu zrážok (v mm), priemernému ročnému prietoku (v $m^3.s^{-1}$), a voči priemernému špecifickému odtoku (v $l.s^{-1}.km^{-2}$).

Vzťah koeficienta Rp voči vybraným parametrom ako aj vzťah morfometrických a hydrologicko-bilančných parametrov sme hodnotili na základe vyhodnotenia spoľahlivosti korelačného koeficientu r_{xy} medzi sledovanými parametrami. Hranicu spoľahlivosti r_{xy} sme pre 99%-nú hladinu spoľahlivosti určili na základe vzťahu (Pavlík, Kűhnl 1981):

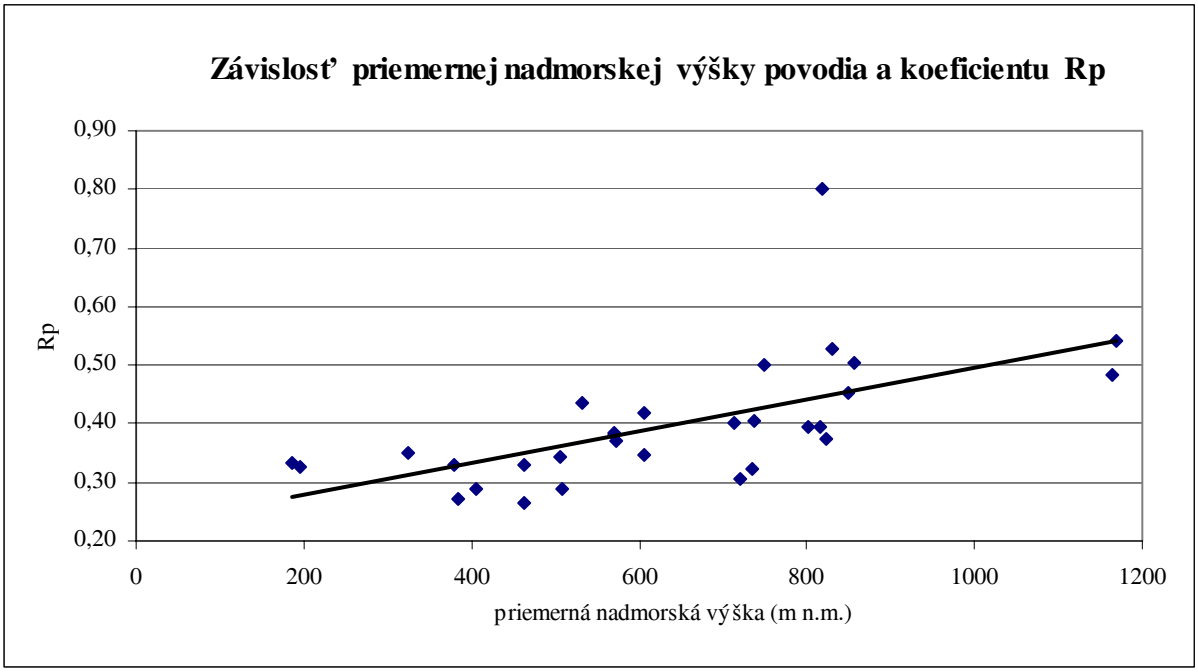
$$r_{xy} = \pm \frac{2,58}{\sqrt{n-1}} \qquad (1)$$

Pre n = 30 je 99%-ná spoľahlivosť vymedzená hodnotou $r_{xy} = \pm 0,48$.

VÝSLEDKY

Priemernú nadmorskú výšku povodia považujeme zo súboru nami vybraných morfometrických parametrov z dôvodu svojej syntetizujúcej povahy za najvýznamnejší parameter vo vzťahu k dynamike odtoku. Bola odvodená na základe výpočtu z DEM územia Slovenska (Solín et al.2000). Priemerná nadmorská výška je významne pozitívne skorelovaná (r_{xy}>0,48) s priemernými zrážkami, špecifickým odtokom, rozdielom maximánej a minimálnej výšky v povodí a s hustotou riečnej siete. Tento parameter je najlepšie skorelovaný s hodnotou Rp. (obr. 2). Rozloženie súboru povodí voči vzťahu k priemerným hodnotám skúmaných parametrov vykazuje určité regionálne väzby na typy reliéfu, litologickú stavbu či polohu v rámci Slovenska. Treba ich však považovať za veľmi rámcové a

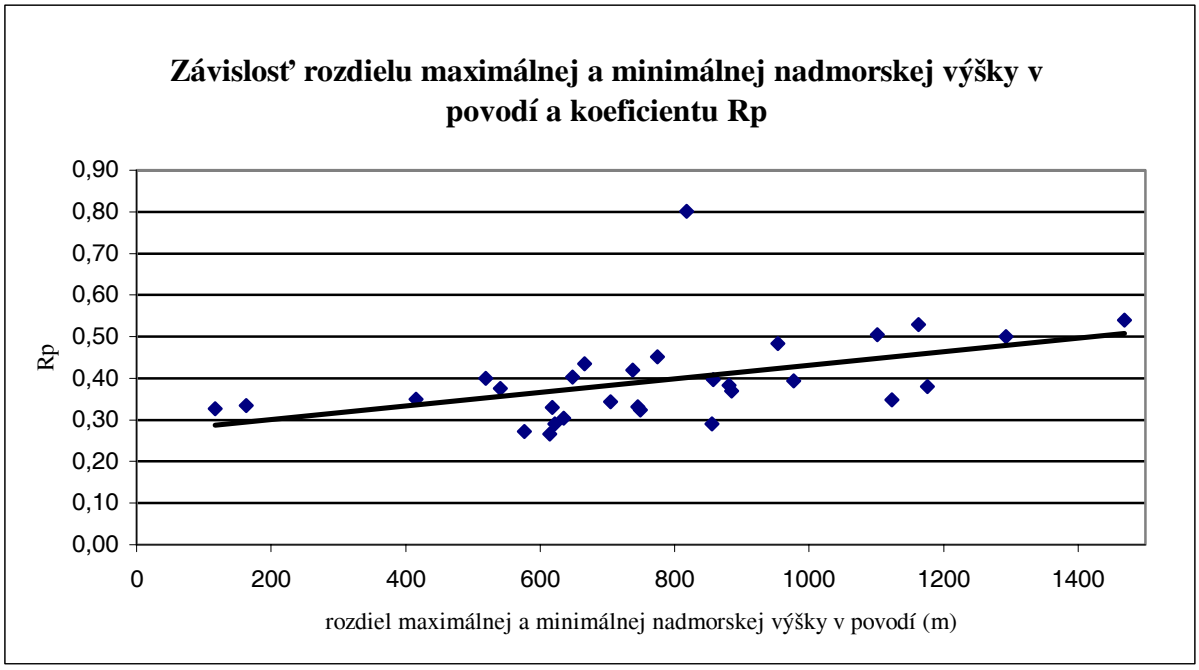
vzhľadom na rozsah skúmaného súboru možno hovoriť o systémovej väzbe medzi hodnotenými parametrami a vlastnosťami či polohou povodí len veľmi opatrne. Ak je hodnota obidvoch skúmaných parametrov väčšia ako ich priemerné hodnoty, potom sú takéto povodia regionálne viazané na vrchoviny a hornatiny jadrových pohorí stredného a severného Slovenska (Bystré, Ipoltica, Zázrivka, Kamienka, Varínka, Čierny Hron) a na podvrchoviny a kotlinách severného a stredného Slovenska (Hybica, Oravica). Ak sú obidve hodnoty parametrov pod priemernou hodnotou povodia sú koncentrované prevažne na nížinách alebo v nižších jadrových pohoriach juhozápadného Slovenska (Andač, Búr, Vydrica, Hostiansky p.), alebo v pohoriach budovaných prevažne vulkanitmi (Kľak, Neresnica, Svinica, Medziansky potok, Sobranecký potok).



Obr.2 Závislosť priemernej nadmorskej výšky povodia a koeficientu Rp

Fig. 2 Relation between mean basin altitude and Rp

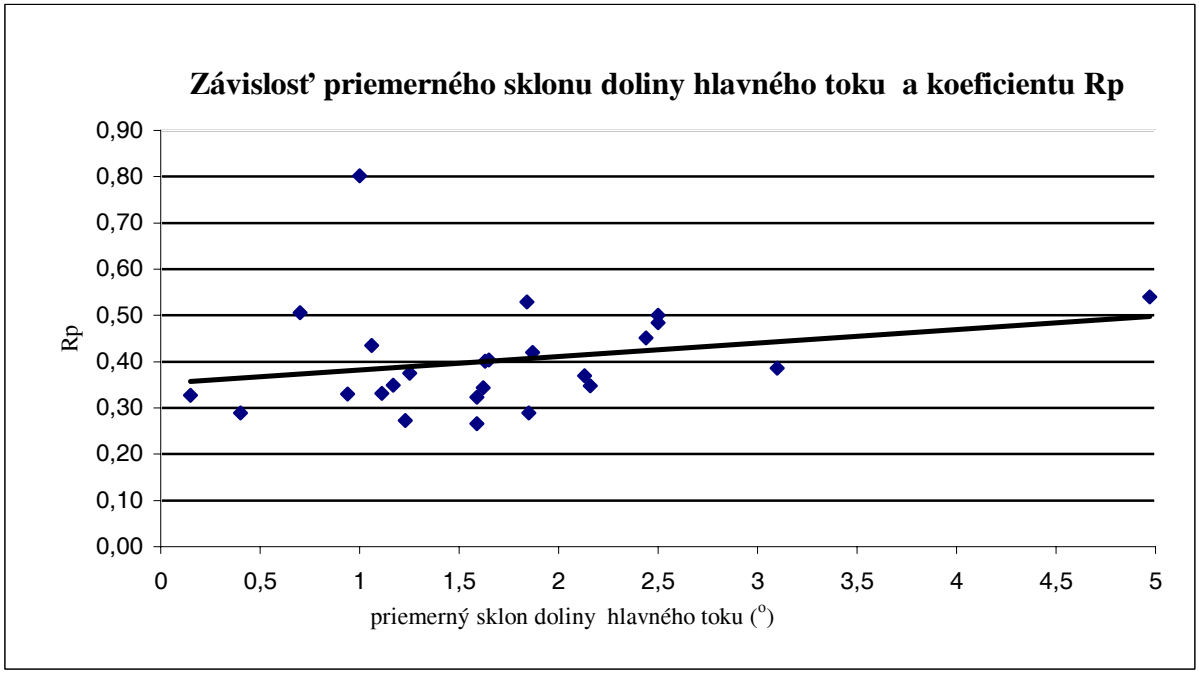
Rozdiel maximánej a minimálnej výšky v povodí v obecnej rovine vyjadruje hodnotu energie reliéfu v povodí. Od tohto parametra sa odvíja charakter procesov geomorfologického vývoja povodia a dynamika procesov odtoku. Je najlepšie skorelovaný s priemernými zrážkami, špecifickým odtokom, priemerným sklonom a s priemernou nadmorskou výškou povodia menej s hustotou riečnej siete. Závislosť s hodnotou Rp je tesne pod hladinou významnosti (r_{xy} = 0,46) (obr. 3). Rozloženie jednotlivých povodí vzhľadom na nadpriemerné a podpriemerné hodnoty sledovaných parametrov sa v porovnaní s rozložením pri priemernej výške povodia v zásade nezmenilo. Výnimkou sú autochtónne povodia vo vysokopoložených kotlinách, v ktorých je rozdiel nadmorských výšok relatívne malý (Hybica), resp. na opačnej strane povodia s nižšou priemernou nadmorskou výškou, ale s veľkým rozdielom nadmorských výšok medzi vysočinovým reliéfom v pramennej časti a podvrchovinným reliéfom pri ústí (povodie Kľakovského potoka na prechode z Vtáčniku do Žiarskej kotliny alebo povodie Štítnického potoka na prechode zo Stolických vrchov do Štítnického podolia).



Obr.3 Závislosť rozdielu maximálnej a minimálnej výšky v povodí a koeficientu Rp

Fig. 3 Relation between the difference maximal – minimal basin altitude and Rp

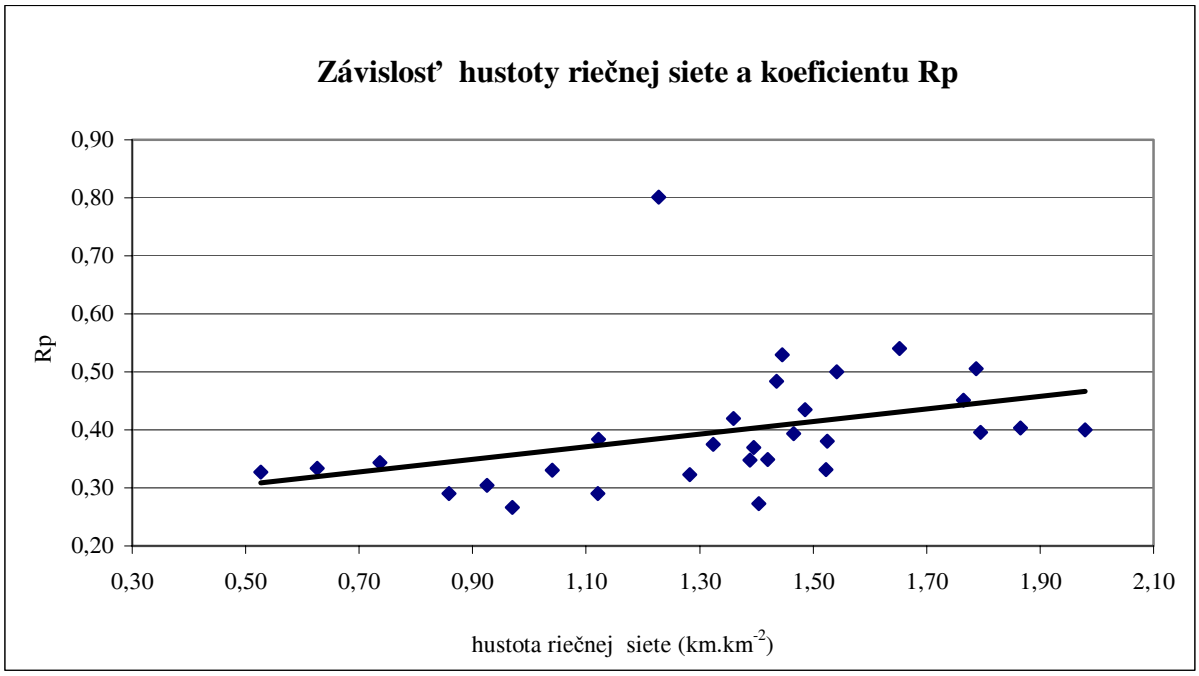
Priemerný sklon doliny hlavného toku (v stupňoch) bol stanovený trigonometricky z trojuholníka s dvoma vrcholmi v prameni a v profile ústia (vodočtu) hlavného toku a so základňou rovnou dĺžke osi doliny hlavného toku v úseku od ústia (vodočtu) po prameň. Priemerný sklon je významne skorelovaný s rozdielom nadmorských výšok, priemernými zrážkami a s priemernou nadmorskou výškou povodia (obr. 4). Korelácia s koeficientom Rp je zo všetkých morfometrických parametrov povodí najmenšia, je výrazne pod hranicou významnosti (r_{xy} = 0,20) .



Obr.4 Závislosť priemerného sklonu doliny hlavného toku a koeficientu Rp

Fig. 4 Relation between mean main valley slope and Rp

Hustota riečnej siete je výsledkom vzájomného pôsobenia prakticky všetkých krajinných zložiek a času t, z ktorých za najvýznamnejšie môžeme všeobecne považovať klimatické a litologické faktory. Hustota riečnej siete je najlepšie skorelovaná so špecifickým odtokom, priemernými zrážkami a s priemernou nadmorskou výškou. Korelácia s hodnotou Rp je menej významná (obr.5). Potvrdzuje sa závislosť konštatovaná viacerými autormi, že hustota riečnej siete je nepriamo úmerná priepustnosti pôdno-horninového komplexu. Na súbore študovaných povodí to dokumentuje posun povodí budovaných prevažne slabo priepustnými flyšovými horninami do úrovne nadpriemerných hodnôt parametra hustoty riečnej siete (Kamienka, Lipník, Pčolinka).

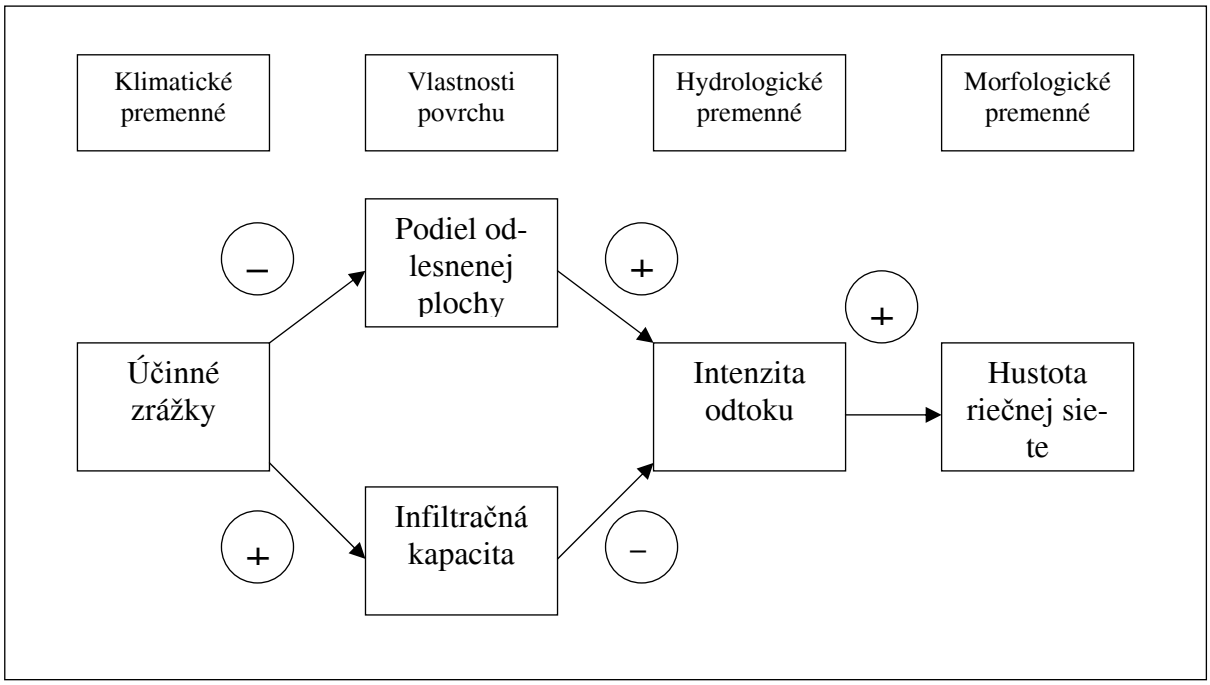


Obr. 5 Závislosť hustoty riečnej siete a koeficientu Rp

Fig. 5 Relation between river network density and Rp

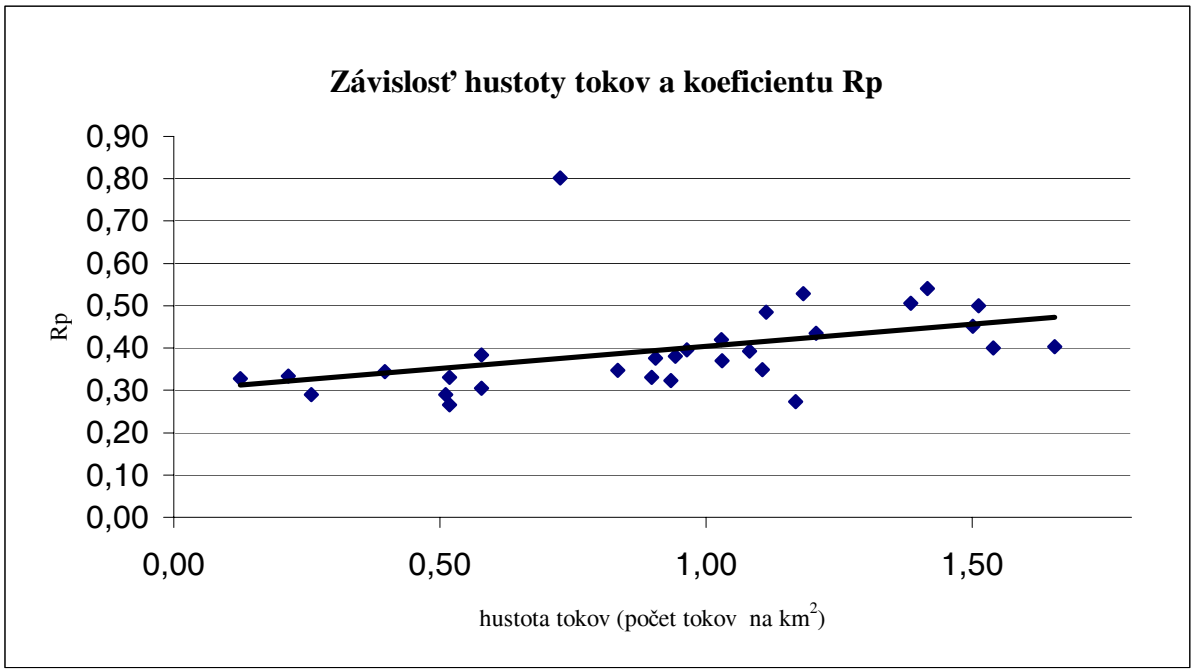
Korelačnú štruktúru medzi efektívnymi zrážkami, vlastnosťami povrchu povodia, odtokom a hustotou riečnej siete vyjadruje schéma znázornená na obr. 6. (Upravené podľa Meltona, in Richards 1982). Z nej sa dá vyčítať, že korelácia medzi efektívnymi zrážkami (zrážky spadnuté – výpar) a podielom odlesnenej plochy je negatívna, medzi podielom odlesnenej plochy a intenzitou odtoku pozitívna, atď.

Odvodeným morfometricko-hydrografickým parametrom, ktorý sme hodnotili je hustota tokov (stream density). Je to počet tokov na jednotku plochy v danom povodí. Túto veličinu zaviedol už Horton v 30. rokoch 20. storočia (Zavoianu 1985). Ak hodnotíme tento parameter je dôležité, ktorý zo systémov vyjadrujúcich rád toku použijeme. Ak použijeme Strahlerov systém, počet tokov je vyšší v porovnaní s Hortonovým systémom. Na rozdiel od hustoty riečnej siete (drainage density), ktorá indikuje celkovú dĺžku dolinovej (riečnej) siete, hustota tokov indikuje počet nodov (uzlov), v ktorých sa dolinová (riečna) sieť spája. V našom hodnotení sme použili Hortonov systém. Hustota tokov je najlepšie skorelovaná s hustotou riečnej siete, so špecifickým odtokom, priemerným úhrnom zrážok, priemernou nadmorskou výškou, priemerným prietokom a rozdielom maximálnej a minimálnej výšky. Korelačná závislosť s priemerným sklonom hlavnej doliny a s koeficientom R_p je pod stanovenou hodnotou spoľahlivosti r_{xy} (obr. 7).



Obr.6 Schéma korelačnej štruktúry medzi efektívnymi zrážkami, vlastnosťami povrchu povodia, odtokom a hustotou riečnej siete

Fig.6 The scheme of correlation structure among efficient precipitation, basin surface properties, runoff and river network density



Obr. 7 Závislosť hustoty tokov a koeficientu Rp

Fig. 7 Relation between stream density and Rp

Najvyššiu priemernú mieru závislosti (priemerná hodnota r_{xy}) z morfometrických parametrov vykazuje priemerná nadmorská výška a rozdiel nadmorských výšok, najnižšiu priemerný sklon. Ak hodnotíme takýmto spôsobom celý súbor parametrov, vrátane hydrologicko-bilančných, potom najvyššiu priemernú mieru závislosti vykazujú zrážky a špecifický odtok.

Z hodnôt r_{xy} sa potvrdilo, že priemerné úhrny zrážok sú najdôležitejším parametrom podmieňujúcim vznik nadpriemerných prietokov. Ak pripustíme, že zrážky sú do veľkej miery funkciou priemernej nadmorskej výšky a rozdielu maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky, a ak význam týchto dvoch parametrov potlačíme, potom z ostatných morfologických parametrov majú významný vplyv na nadpriemerné prietoky hustota riečnej siete a hustota tokov.

ZÁVER

Závislosť medzi koeficientom Rp a jednotlivými morfometrickými parametrami sme vyhodnocovali analýzou korelačného koeficienta a graficky. Výsledné zistenia ukázali, že koeficient Rp, a teda aj pravdepodobnosť dosiahnutia nadpriemerného prietoku, meranom v záverečnom profile, je skorelovaný (zostupne, podľa veľkosti r_{xy}) s priemernou nadmorskou výškou povodia a rozdielom maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky v povodí, s hustotou riečnej siete a s priemerným sklonom hlavnej doliny, pričom však len korelácia s priemernou nadmorskou výškou je nad úrovňou 99%-nej spoľahlivosti r_{xy}.

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu č. 2/3084, finančne podporeného grantovou agentúrou VEGA.

Literatúra

Mosley, P.M, McKerchar A.I. (1992): Streamflow. In: Maidment, D.R (ed.): Handbook of hydrology McGraw-Hill, NewYork, pp 8.1- 8.39.

Pavlík, Z., Kűhnl, K. (1981): Úvod do kvantitativních metod pro geografy. Fakulta přírodovědecká UK, SPN Praha.

Richards, K. (1982): Rivers. Forms and process in alluvial channels. Methuen, London and New York.

Solín, Ľ., Cebecauer, T., Grešková, A., Šúri, M. (2000): Small basins of Slovakia and their physical characteristics. National report 2000 of the IHP UNESCO project 1.1.FRIEND. Bratislava, Geografický ústav SAV a Slovenský výbor pre hydrológiu.

Vogt, J.V., Colombo, R., Bertolo, F. (2003): Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics. Geomorphology, 53, pp 281-289.

Zavoianu, I. (1985): Morphometry of drainage basins. Developments in water science, 20. Elsevier, Amsterdam.

Autor

RNDr.Ján Hanušin, CSc., Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, SR, hanusin@savba.sk