ELEKTRICKÁ VODIVOSŤ AKO INDIKÁTOR POVRCHOVÉHO ODTOKU A ERÓZNEHO PROCESU

Peter Bača

Predkladaný príspevok sa zaoberá využitým elektrickej vodivosti (EC), ako indikátora povrchového odtoku v súvislosti s eróznym procesom. Za najdôležitešiu zložku celkového odtoku, ktorý spôsobuje transport pôdnych častíc rozrušených kinetickou energiu zrážky do koryta vodného toku sa považuje povrchový odtok. Použitie EC ako indikátora povrchového odtoku vychádza zo skutočnosti, že hodnoty EC v povrchovom odtoku, ktorý predstavuje zrážkovú vodu, sú výrazne nižšie, ako v podzemnej a podpovrchovej zložke odtoku. Vo všeobecne používanom vzťahu medzi koncentráciou plavenín a prietokom vody sa objavuje rozptyl hodnôt koncentrácií plavenín okolo regresnej čiary, čo je spôsobené zmenou dostupnosti sedimentov a zrieďovaným koncentrácií plavenín v povrchovom toku základnym a podpovrchovým odtokom. V príspevku bolo analyzované, do akej miery je roptyl hodnôt koncentrácií plavenín spôsobovaný spomínaným zrieďovaným. Bol určený vzťah medzi koncentráciou plavenín, prietokom a EC, čím sa podstatne znížil roptyl hodnôt koncentrácií plavenín. Je zrejmé, že zrieďovanie koncentrácií plavenín základným a podpovrchovým odtokom je významným faktorom, ktorý prispieva k celkovej dynamike plavenín v koryte vodného toku.

Kľúčové slová: plaveniny, elektrická vodivosť, hysterézny efekt

Electrical conductivity as the indicator of surface runoff and erosion process. *The paper is focused on electrical conductivity (EC) as the indicator of surface runoff in connection with erosion process. The most important part of total runoff is considered surface runoff that causes transport of soil particles disrupted by kinetic energy of rainfall into the surface channel. Utilization of EC as the indicator of surface runoff is based on the fact, that EC in surface runoff, which represents rainfall water, is much lower than in groundwater and interflow. The discharge-suspended sediment relationship shows the scatter of suspended sediment concentration about regression line. This scatter results from changes in sediment availability and from dilution of suspended sediment concentration in streamwater with baseflow and interflow. The effect of dilution on the scatter of suspended sediment concentration about regression line was analysed. Relationship between discharge, suspended sediment concentration and EC was defined, which resulted in reduction of the scatter. It is obvious, that the dilution of suspended sediment concentration with baseflow and interflow is the important factor controlling suspended sediment dynamics in the stream channel.*

Key words: suspended sediment, electrical conductivity, hysteresis effect

---

ÚVOD

Sledovanie obsahu plavenín vo vodných tokoch je dôležitou pomôckou pri sledovaní erózno-sedimentačných procesov v povodí. O tom, že režim plavenín odráža erózne pomery v povodí, svedčia mnohé fakty, napríklad nárast koncentrácií plavenín počas extrémnych zrážko-odtokových udalostí a závislosť množstva plavenín vo vodných tokoch jenotlivých povodí od sklonu svahov v povodí, lesnatosti a spôsobu využívania krajiny.

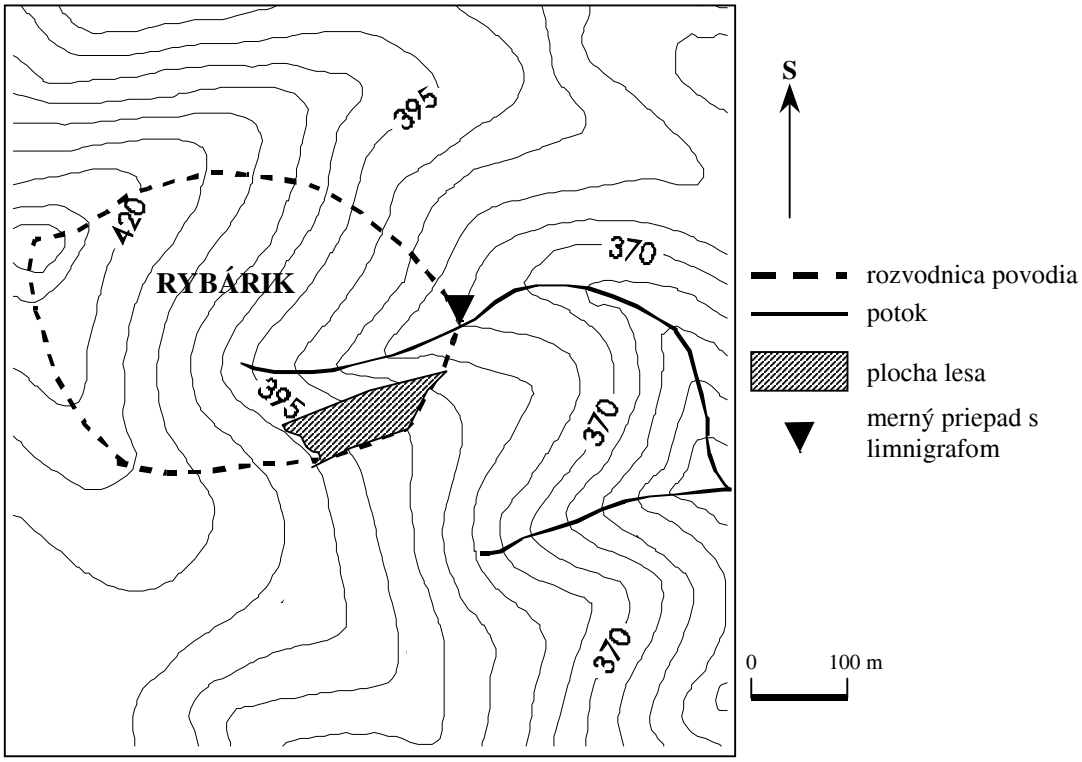
Režim plavenín a zmeny v hodnotách koncentrácií plavenín počas zrážko-odtokových udalostí sú funkciou nielen transportnej kapacity povrchového odtoku, so zvyšovaním prietokov sa zvyšujú aj hodnoty koncentrácií plavenín, ale aj funkciou tzv. dostupnosti sedimentov (z angl. „sediment availability“).Zmeny v dostupnosti sedimentov spôsobujú tzv. hysterézny efekt, čo znamená, že koncentrácie plavenín na stúpajúcej a klesajúcej časti prietokovej vlny nie sú rovnaké pri rovnakých prietokoch vody. Takéto správanie je spôsobené vyčerpávaním dostupného sedimentu na svahu a v koryte vodného toku (Church a Gilbert, 1975; Froehlich, 1975 a 1982; Walling a Webb, 1981; Van Sickle a Beschta, 1983; Zăvoianu, 1996; Bhutiyani, 2000; Bronsdon a Naden, 2000; Bača, 2001; Picouet, 2001). Pri grafickom znázornení vzťahu medzi koncentráciou plavenín a prietokom sa hysterézny efekt prejavuje rozptylom hodnôt koncentrácií okolo regresnej čiary. Ďalším faktorom, ktorý spôsobuje tento roptyl je zrieďovanie koncentrácií plavenín vo vodnom toku základným a podpovrchovým odtokom (Walling, 1974 a 1978; Wood, 1977; Becht, 1989), ktoré sú z hľadiska

eróznych procesov menej významné. Za najdôležitešiu zložku celkového odtoku, ktorý spôsobuje transport pôdnych častíc rozrušených kinetickou energiu zrážky do koryta vodného toku sa považuje povrchový odtok.

Predkladaný príspevok sa zaoberá využitým elektrickej vodivosti (EC), ako indikátora povrchového odtoku v súvislosti s eróznym procesom. Hodnoty EC v povrchovom odtoku, ktorý predstavuje zrážkovú vodu, sú výrazne nižšie, ako v podzemnej a podpovrchovej zložke odtoku. Elektrická vodivosť totiž vyjadruje množstvo minerálnych látok rozpustených vo vode a množstvo týchto látok je logicky väčšie v pôdnej a podzemnej vode ako v zrážkovej vode. S využitým EC a vhodne zvolenou metodikou možno získať istú predstavu o časových a priestorových aspektoch hydrologického cyklu (Hanušin, 1992).

OPIS POVODIA, MONITORING KONCENTRÁCIÍ PLAVENÍN A ELEKTRICKEJ VODIVOSTI

Na monitorovanie hodnôt koncentrácií plavenín, elektrickej vodivosti a štúdium režimu plavenín v podmienkach základného odtoku a počas prívalových vĺn bolo vybrané poľnohospodárske mikro-povodie Rybárik pri Považskej Bystrici (obrázok 1). Povodie Rybárik je súčasťou experimentálneho povodia potoka Mošteník, ktoré bolo založené ako Prírodné hydrologické laboratórium v roku 1958 a je časťou povodia rieky Váh, hlavného prítoku rieky Dunaj na území Slovenska. Územie potoka Mošteník patrí do Strážovskej vrchoviny, ktorú možno zaradiť do vrchovinnej a čiastočne stredohorskej oblasti Slovenska. Plocha povodia Rybárik je 0,12 km^2 s priemernou nadmorskou výškou 400 m n. m. (min – 375 m n. m., max – 434 m n. m.). Z geologického pohľadu je povodie súčasťou flyšového pásma so striedajúcimi sa ílovými a pieskovcovými vrstvami. Pôdny druh je zastúpený ílovito-hlinitými pôdami. Spôsob využívania krajiny je prevažne poľnohospodársky, len 5 % z celkovej rozlohy povodia je pokryté lesom. Priemerná ročná teplota je 7,7 C°, priemerné ročné zrážky sú 745 mm a priemerný odtok je 239 mm/rok.



Obr. 1 Schématické znázornenie povodia Rybárik
Fig. 1 Schematic image of the Rybárik basin

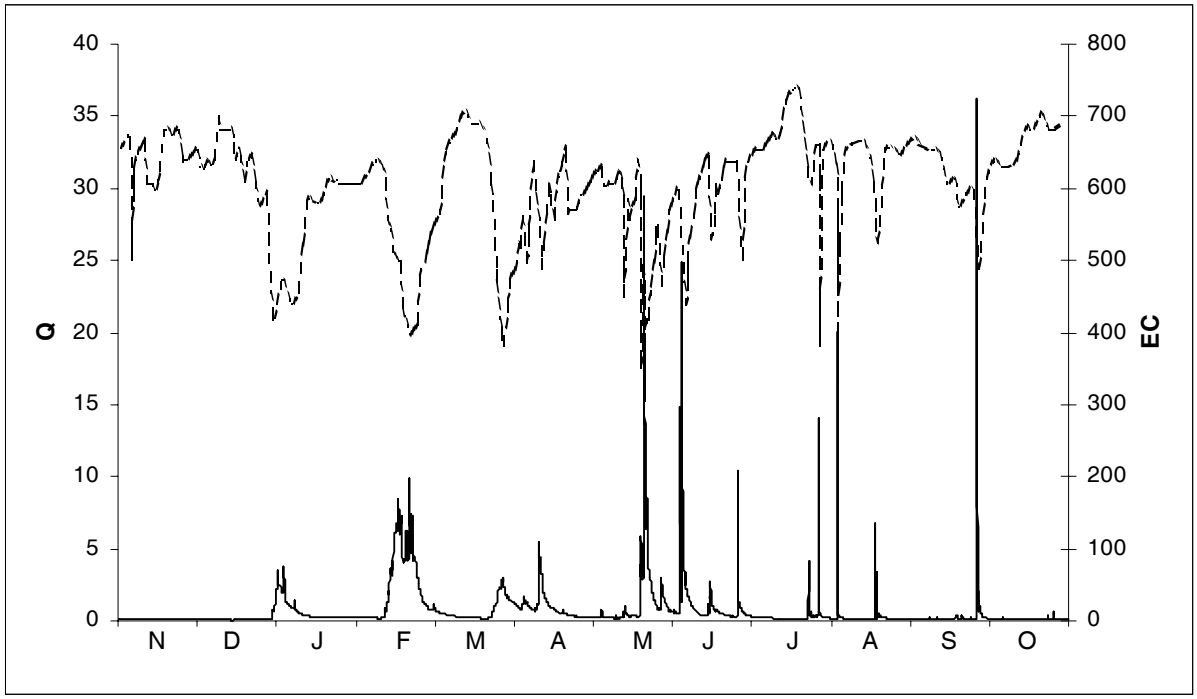
V záujmovom povodí Rybárik bol v prvých rokoch výskumu v záverečnom profile vybudovaný merný priepad s limnigrafom, určený na kontinuálny záznam vodného stavu. Pomocou merných kriviek prietokov získaných tarovaním bol vyhotovený kontinuálny záznam prietokov. Údaje o hodnotách koncentrácií plavenín v povrchovom toku a elektrickej vodivosti boli stanovené zo vzoriek vody odoberaných manuálne tesne za objektom priepadu do plastikových fliaš s objemom 1000 ml.

S monitorovaním koncentrácií plavenín sa začalo koncom roku 1986. Pre nedostatok financií bol monitoring prerušený začiatkom roka 1988 a znovu obnovený na jar 2001. V období rokov 1986–1988 boli vzorky vody z povrchového toku odoberané v intervaloch 1–3 dni, výnimočne vo väčších intervaloch. V roku 2001 sa vzorky odoberali v priemere 4 krát za mesiac. Všetky vzorky získané v rokoch 1986 – 1988 a 2001 boli odoberané v podmienkach základného odtoku. Okrem uvedeného monitoringu boli vzorky odoberané aj počas zrážko-odtokových udalostí, spôsobených prívalovými dažďami v rokoch 1987–1990, 1992, 2000 a 2001. Vzorkovanie prebiehalo v intervaloch 5 minút až niekoľko hodín v závislosti od rýchlosti stúpania resp. klesania vodného stavu. Pri rýchlejších zmenách vodného stavu bola frekvencia odberov vzoriek hustejšia a naopak. Monitorovanie elektrickej vodivosti prebiehalo v rokoch 1986-1990 a obnovené bolo v roku 2000 (počas zrážko-odtokovej udalost), resp. v roku 2001. Predkladaný príspevok predstavuje prvú časť výskumu, spracované boli zatiaľ archívne údaje z rokov 1986-1988.

REŽIM ELEKTRICKEJ VODIVOSTI

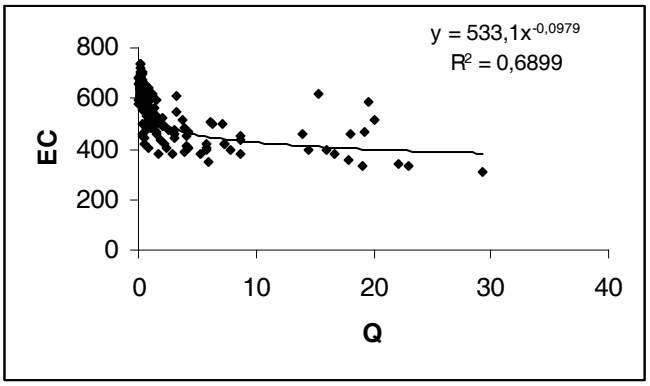
Počas monitorovaného obdobia v rokoch 1986-1988 bolo odobratých 266 vzoriek vody z povrchového toku v povodí Rybárik. Namerané hodnoty elektrickej vodivosti dosahujú značný rozptyl. Maximálna hodnota EC nameraná v záverečnom profile bola 737 $\mu S.cm^{-1}$, minimálna hodnota EC bola 305 $\mu S.cm^{-1}$. Z obrázku 2 je zrejmé, že najvyššie hodnoty EC sa vyskytujú v obdobiach s minimálnym vodným stavom. Je to predovšetkým koncom kalendárneho roka, kedy je vodný stav ustálený, s minimálnymi zrážkovými úhrnmi, resp. s výskytom snehovej pokrývky. V tomto období sa hydrochemicky výraznejšie uplatňujú viac mineralizované vody hlbšieho obehu s vyššou EC (základný, podzemný odtok). Vysoké hodnoty EC sa objavujú aj počas zvyšnej časti roka v bezzrážkových obdobiach. Počas prietokových vĺn, vyvolaných topením snehovej pokrývky a zrážkami sa hodnoty EC výrazne znižujú. Hodnoty EC v snehovej pokrývke a v zrážkovej vode sú podstatne menej mineralizované, čo spôsobuje zrieďovanie hodnôt EC v koryte vodného toku. Znižovanie hodnôt EC so zvyšovaním prietoku je dokumentované aj v zahraničnej literatúre (Duysings a kol.; 1982; Laudon a Slaymaker, 1997; Nakamura, 1971).

Hoci sa v podí Rybárik znižujú hodnoty EC so zvyšovaním prietoku, separácia prietokovej vlny a určenie podielu povrchového odtoku z celkového odtoku pomocou EC je problematická. Laudon a Slaymaker (1997) prinášajú výsledky dvojzložkovej separácie (tzv. nová voda a stará voda, z angl. event water a pre-event water alebo old water) prietokovej vlny pomocou izotopov kyslíka, vodíka a elektrickej vodivosti. Za tzv. novú vodu sa považuje zrážková voda, za tzv. starú vodu sa považuje voda, ktorá sa nachádzala v povodí pred výskytom zrážok. Z uvedeného vyplýva, že nová voda nepredstavuje povrchový odtok, ale že povrchový odtok je časťou novej vody, pretože určitá časť zrážkovej vody infiltruje do pôdy a odteká ako podpovrchový, prípadne podzemý odtok. V porovnaní s izotopovou separáciou, ktorá je všeobecne považovaná za najpresnejšiu metódu separácie hydrogramu, boli výsledky separácie pomocou EC, ktoré udávajú autori, čiastočne uspokojivé. Napriek tomu, že priebeh koncentrácií izotopv a EC môžu mať porovnateľný trend pri konkrétnej prietokovej vlne, pri použtí EC dochádza k nadhodnocovaniu podzemnej a podpovrchovej zložky odtoku. Jedným z ôvodou je, že zrážková voda, ktorá steká po svahu je určitý čas v styku s povrchom pôdy, čím sa môže zvýšiť hodnota elektrickej vodivosti. V niektorých prípadoch dokonca hodnoty EC oscilujú nezávisle od prietoku. V takomto prípade sú do celkového odtoku zapájané zdrojové oblasti povodia s rôznymi hodnotami EC. Identifikácia týchto zdrojových oblastí a hodnôt EC je však obtiažna.



Obr. 2 Prietok a elektrická vodivosť v hydrologickom roku 1987
Fig. 2 Discharge and electrical conductivity in the hydrological year 1987

Vzhľadom na presnejšie určenie povrchového odtoku, ktorý je významným eróznym činiteľom a vzhľadom k uvedeným ťažkostiam s dvojzložkovou separáciou sa uvažovalo o použití troj zložkovej separácie. Kvatifikácia povrchového odtoku je prepodkladom lepšieho pochopenia eróznych procesov na svahu, tvorby plavenín a ich celkovej dynamiky v koryte vodného toku. Pri tejto metóde sa celkový odtok separuje na podzemnú, podpovrchovú a povrchovú zložku. Je preto nevyhnutné poznať hodnoty EC vo všetkých troch zložkách odtoku. Tu však opäť narážame na problém určenia týchto hodnôt. Z obrázku 3 je zrejmé, že hodnoty EC prislúchajúce podzemnému a podpovrchovému odtoku sa menia nezávisle od prietoku. Dynamika elektrickej vodivosti je teda výraznejšia ako dynamika odtoku. Vzhľadom na túto skutočnosť je prakticky nemožné určiť hodnoty EC v podzemnom a podpovrchovom odtoku počas priebehu prietokovej vlny. Opäť možu byť totiž do celkového odtoku zapájané rozdielne oblasti s odlišnými hodnotami EC. Uvedené problémy umocňuje aj fakt, že sa jedná o mikro-povodie, ktorého veľkosť je len 0,12 km^2 a hydrogeologická a orografická rozvodnica nemusia byť totožné a može dochádzať k určitým zmenám v hydrologickom režime takéhoto malého povodia. Takisto neboli údaje o hodnotách EC v zrážkach pri všetkých zrážko-odtokových situáciách.



Obr. 3 Vzťah medzi prietokom a elektrickou vodivosťou
Fig. 3 Relationship between discharge and elctrical conductivity

VZŤAH MEDZI PRIETOKOM KONCENTRÁCIOU PLAVENÍN A EC

Napriek ťažkostiam so separáciu prietokovej vlny pomocou elektrickej vodivosti, boli hodnoty EC použité ako indikátor povrchového odtoku pri zrážko-odtokových situáciách. Ako už bolo naznačené hodnoty EC sa znižujú s narastaním prietoku, čo odráža stúpanie povrchového odtoku, ktorý spôsobuje transport pôdnych častíc do koryta vodného toku. So zvyšovaním celkového prietoku sa zvyšujú aj koncentrácie plavenín. Grafické znázornenie vzťahu medzi koncentráciou a prietokom ukazuje však značný rozptyl koncentrácií okolo regresnej čiary, čo j do určitej miery spôsobované zrieďovaním koncentrácií plavenín v povrchovom odtoku podzemným a podpovrchovým odtokom.

Pr získanie lepšieho obrazu o dynamike plavenín počas zrážko-odtokových udalostí bol odvodený multi regresný lineárny vzťah medzi logaritmickými hodnotami prietoku, EC a koncentrácie plavenín. Tento vzťah však nemožno považovať za definitívny, pretože sa jedná len o prietokové vlny, ktoré sa vyskytli vo vegetačnom období rokov 1987 a 1988, kedy sa v povodí pestovala kukurica. Ide skôr o získanie prvých informácií o vplyve spomínaného zrieďovania na celkovú dynamiku plavenín. Výsldky ukazujú, že koeficient determinácie vo vzťahu medzi prietokom, EC a koncentráciou plavenín je výrazne vyšší (r^2=0,62) ako v prípade vzťahu len medzi prietokom a koncentráciou (r^2=0,34). Hoci v ani v prvom prípade nie je vzájomný vzťah medzi prietokom, EC a koncentráciou plavenín až tak veľmi štatisticky významný, je zrejmé, že zrieďovanie koncentrácií je významným faktorom, ktorý ovplyvňuje dynamiku plavenín.

Na záver treba pripomenúť, že sa jedná o prvé výsledky, spracované na základe 2 rokov. V súčasnosti výskum pokračuje, so zameraným na separáciu pomocou rozpustných kremičitanov, ktoré podľa zahraničných zdrojov vykazujú lepšiu stabilitu ako elektrická vodivosť a je teda možné ich použitie pri separácii povrchového odtoku. Takisto sú priebežne spracovávané údaje z neskorších rokov. Celý výskum smeruje k lepšiemu pochopeniu dynamiky plavenín a hlavných faktorov, ktoré ju ovplyvňujú. Nové poznatky budú použité pri modelovaní erózneho procesu, predovšetkým v prípade 2, prípadne viacerých po sebe nasledujúcich prietokových vlnách. V takýchto prípadoch sú koncentrácie plavenín výrazne vyššie počas prvej vlny ako počas 2, prípadne ďalšej vlny, pri tých istých prietokoch. Je preto otázne do akej miery je tento jav spôsobený zrieďovaním koncentrácií alebo vyčerpávaním dostupných sedimentov. Odpoveď na túto otázku by mal priniesť ďalší výskum.

Poďakovanie: *Spracovanie štúdie bolo podporené projektmi APVT 7804 a VEGA 5055.*

Literatúra

Bača, P., 2001: Analýza a modelovanie povrchového odtoku a erózneho procesu na malom povodí. Acta Hydrologica Slovaca, Roč.2, 1, 93-97.

Becht, M., 1989: Suspended load yield of a small alpine drainage basin in upper Bavaria. Landforms and Landform Evolution in West Germany, Catena (supplement), 15, 329-342.

Bhutiyani, M. R., 2000: Sediment load characteristics of a proglacial stream Siachen Glacier and the erosion rate in Nubra valley in Karakoram Himalayas, India. Journal of Hydrology 227, 84-92.

Bronsdon, R., K., Naden, P., S., 2000: Suspended sediment in the Rivers Tweed and Tevoit. The Science of the Total Environment, 251/252, 95-113.

Froehlich, W., 1975: Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy nawojowskiej. PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Prace Geograficizne NR, 114.

Froehlich, W., 1982: Machanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w Górskiej Zlewni Fliszowej. PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Prace Geograficizne NR, 143.

Church, M., Gilbert, R., 1975: Proglacial fluvial and lacustrine environments, glaciofluvial and glaciolacustrine sedimentation, Jopling A. V. and McDonald B. C. (Eds), Soc. Econ. Paleontol. Minerol. (Spec. Publ.), 23, 40-100.

Picouet, C., Hingray, B., Olivry, J. C., 2001: Empirical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the Upper Niger river basin. Journal of Hydrology 250, 19-39.

Van Sickle, J., Beschta, R. L., 1983: Supply-based models of suspended sediment transport in streams. Water Resources Research, 19, 768-778.

Walling, D.E., 1974: Suspended sediment and solute yields from a small catchmetn prior to urbanisation. In Gregory K. J. and Walling D. E. (Eds), Fluvial processes in instrumented watersheds, Inst. Br. Geog. (Spec. Publ.), 6, 169-192.

Walling, D., E., 1978: Suspended sediment and solute response characteristics of the river Exe, Devon, England. In Davidson-Arnott, R. and Nickling, W. (Eds), Research in fluvial systems. Geoabstratcs, Norwich, 169-197.

Walling, D. E., Webb, B. W., 1981: The reliability of suspended load data. In: Erosion and Sediment transport measurement. IAHS Publ., 133, 177-194.

Wood, P., A., 1977: Controls of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England. Sedimentology, 24, 437-445.

Zăvoianu, I., 1996: Relationship between rainfall, slope runoff and erosion in the Valea Muscel Basin. Geografický časopis, 48, 2, 113-120.

Peter Bača
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75
831 02 Bratislava
baca@uh.savba.sk