MODELOVANIE DOPADU ANTROPOGÉNNEJ ČINNOSTI V POVODÍ NA KVALITU VODNÝCH TOKOV

Yvetta Velísková[1], Renáta Dulovičová[1], Marek Sokáč[2]

Abstrakt

Príspevok zahŕňa v sebe poznatky, získané počas riešenia projektu VEGA 2/0101/08 „Určenie závislostí disperzných javov od hlavných hydraulických parametrov tokov“, ktorý bol riešený v spolupráci Ústavu hydrológie SAV Bratislava a Katedry zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty STU Bratislava. Cieľom projektu bolo zvýšiť spoľahlivosť a aplikovateľnosť existujúcich prostriedkov modelovania transportu vody a rozpustených látok v zložitých prírodných podmienkach pri rôznych hydrologických situáciách, so zameraním na vplyv znečistenia, transportovaného z urbanizovaných povodí do recipientov, na kvalitu vody v nich. Príspevok sa venuje spôsobom stanovovania disperzných charakteristík, ktoré sú špecifickými vstupnými údajmi pre numerické modely, simulujúce šírenie znečistenia v tokoch. V prípade prirodzených tokov pre získanie orientačných hodnôt koncentrácií transportovaného znečistenia postačuje jednorozmerný model, pre detailnejšie riešenie je potrebná aplikácia 2D modelov. Časť príspevku je venovaná preto metodike stanovovania pozdĺžneho, ale aj priečneho disperzného koeficienta. Zároveň sú spomenuté problémy, ktoré pri aplikácii tejto metodiky vznikli. Pri riešení spomínaného projektu bola zároveň sledovaná závislosť hodnôt oboch disperzných koeficientov na hodnotách hlavných hydraulických parametrov toku. Získané hodnoty oboch disperzných koeficientov a ich nadobudnuté závislosti na hydraulických parametroch toku boli použité ako jedny zo vstupných dát do simulačných modelov, ktorými sa modeloval transport znečistenia v rieke Hron. Pri simuláciách sa uvažovalo len s bodovými zdrojmi znečistenia. Dosiahnuté výsledky ukázali, že tieto modelovacie metódy sú vhodným nástrojom na modelovanie kvality vôd vo vodných tokoch a je možné modelovať nimi dopad rôznych opatrení, týkajúcich sa zdrojov znečistenia, na kvalitu vody v recipiente.

Kľúčové slová: disperzia, disperzné koeficienty, modelovanie transportu vody a znečistenia, hydraulické parametre toku

1. Úvod

Kvalita vody a jej dostatok je podstatným faktorom, ktorý podmieňuje rozvoj spoločnosti a je výpoveďou o jej úrovni. V poslednom období sa dostáva do popredia nielen otázka zabezpečenia dostatku vody a problémy, spojené so získavaním jej potrebného množstva, ale aj otázka zabezpečenia ochrany jej existujúcich zdrojov pred znehodnotením z rôznych zdrojov znečistenia, či už bodových alebo plošných. Pri simulácii prenosových procesov sa však stretávame s nedostatkom informácii o veľkosti disperzných koeficientov. Preto je dôležité venovať ich určovaniu veľkú pozornosť a stanoviť ich hodnotu s čo možno najspoľahlivejšou mierou. Existuje niekoľko možností stanovenia hodnoty disperzných koeficientov. Prvá je priame použitie hodnôt disperzných koeficientov z dostupnej literatúry. Ďalšie možnosti sú použitie empirických vzťahov, odvodených rôznymi autormi na základe experimentálnych výsledkov, príp. teoretickej analýzy prenosového javu, či stanovenie hodnoty týchto koeficientov na základe priamych terénych meraní v sledovanej lokalite.

Príspevok obsahuje možnosti stanovenia pozdĺžneho disperzného koeficienta podľa vzťahov rôznych autorov, platných pre otvorené korytá, stanovenie tohto koeficienta z terénnych meraní v prizmatickom koryte kruhového prierezu na vybraných úsekoch stokovej siete medzi Liptovským Jánom a Liptovským Mikulášom, stanovenie priečneho disperzného

koeficienta z terénnych meraní na rieke Hron v úseku Banská Bystrica - Šalková, ako aj následné korekcie týchto hodnôt prostredníctvom modelu MODI.

2. Základné teoretické východiská

V hydrodynamickom zmysle slova pojem disperzia znamená rozptyl rozpustenej látky v kvapaline, ku ktorému dochádza pri prúdení kvapaliny. Rozpustená látka nesleduje len prúdnicu, ale dochádza k jej pozvoľnému šíreniu sa aj do strán, a to v dôsledku pulzácie rýchlosti a rozdielu koncentrácie látky. Disperzia látok v toku je spolu s advekciou základným mechanizmom pohybu rozpustených častíc vo vodnom prostredí. Jej pôsobením dochádza ku znižovaniu maximálnych hodnôt koncentrácie rozpustenej látky v toku.

Hydrodynamický prístup riešenia procesu zmiešavania v povrchových tokoch vychádza z advekčno-difúznej rovnice v takomto tvare:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t}+\frac{\partial(uhC)}{\partial x}+\frac{\partial(vhC)}{\partial y}+\frac{\partial(whC)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_x h\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_y h\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_z h\frac{\partial C}{\partial z}\right)-$$
$$-A.K.C+C_z.q_z, \qquad (1)$$

kde: h - hĺbka [m], C - hmotnostná koncentrácia látky vo vode [kg m^{-3}], u,v,w - zložky vektora rýchlosti prúdenia [m s^{-1}], t - čas [s], x, y, z - priestorové súradnice bodu [m] (x – pozdĺžna horizontálna, y – priečna horizontálna, z –vertikálna), $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ - koeficienty turbulentnej difúzie v smere daných súradnicových osí [m^2.s^{-1}], A - plocha prietokového profilu [m^2], K - súčiniteľ vyjadrujúci vplyv chemických, príp. biologických procesov na rozpustenú látku [s^{-1}], C - koncentrácia látky [mg.l^{-1}], C_z - koncentrácia zdroja, q_z - prietok zdroja [m^3.s^{-1}].

Najjednoduchším je jednorozmerné matematické vyjadrenie disperzie (v pozdĺžnom smere x, s predpokladom rovnomerného rozdelenia koncentrácie látky po hĺbke a šírke toku).

Rovnica (1) zahŕňa dva základné transportné mechanizmy a to advekčný (alebo konvekčný) transport (v dôsledku toku kvapaliny) a disperzný transport (v dôsledku gradientu koncentrácie). Takýto jednorozmerný opis je namieste vtedy, ak prevláda jeden rozmer nad ostatnými (teda napr. rieka, potrubie a pod., kde dĺžka je rozhodujúci rozmer).

2.1 Pozdĺžne zmiešavanie

Získavanie hodnôt pozdĺžneho disperzného koeficienta D_L sa realizuje viacerými spôsobmi: od voľby na základe vlastných skúseností alebo prevzatých skúseností z literatúry, cez kvalifikované odhady, až po aplikáciu špeciálnych výpočtov, ako vyplýva zo zahraničných, ale aj domácich prác napr. [1], [2], [3], [4], [5], atď. Keďže hodnota koeficienta disperzie je určená intenzitou turbulencie v príslušnom úseku vodného toku, jej veľkosť závisí od jeho hlavných hydraulických charakteristík, teda od tvaru a veľkosti priečneho profilu, od rýchlosti prúdenia, prietoku a pozdĺžneho sklonu toku. Preto aj závislosti, ktoré boli odvodené rôznymi autormi pre určenie hodnôt pozdĺžneho disperzného koeficienta, používajú na jeho vyčíslenie tieto charakteristiky. Publikované vzťahy pre stanovenie D_L vo väčšine štúdií vychádzajú z výsledkov experimentálnych meraní na fyzikálnych modeloch v laboratórnych podmienkach alebo priamo z meraní na toku. Vzťahy takto získané majú často tvar:

$$D_L = p.h.u_* \qquad (2)$$

kde: p je empirický bezrozmerný súčiniteľ, resp. bezrozmerný koeficient pozdĺžnej disperzie, h je priemerná hĺbka riečneho úseku [m], u^* je trecia rýchlosť [m.s^{-1}].

Empirický bezrozmerný súčiniteľ p nadobúda podľa výsledkov rôznych autorov hodnoty v relatívne širokom rozmedzí, a to podľa podmienok, za ktorých boli získané. Dokumentujú to výsledky mnohých autorov, napr. [2], [3], [5], ktoré boli spracované z terénnych meraní na prirodzených tokoch. Podmienky terénnych experimentov sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1: Hodnoty bezrozmerného súčiniteľa p a pozdĺžneho disperzného koeficienta D_L z experimentálnych meraní

Autor	*Podmienky*	D_L $[m^2.s^{-1}]$	*p*
Říha a kol.	rieka Svitava, B=11,5 m; H=0,9 m; Q=(2-3) $m^3.s^{-1}$; u=0,5 $m.s^{-1}$	5,2-8,1	100-250
Brady, Johnson	rieka Wear, B=(20-27,6)m; h=(0,45-1,85) m; Q=(1,62-3,93) $m^3.s^{-1}$; u=(0,07-0,15) $m.s^{-1}$; i=(0,004-0,17)%	4,4-87,22	94,9-2 200
Velísková, Pekárová	rieka Ondava (horný tok), Q=0,9036 $m^3.s^{-1}$, B=12 m, i=0,0033, u=0,35$m.s^{-1}$	0,84-1,36	49,3-80
Glover	rieka South Plate, meandrujúci tok, R=0,46 m; Q=15 $m^3.s^{-1}$; u=1,33 $m.s^{-1}$; n=0,028	15,7	500
Glover	rieka Mohawk, zložité podmienky prúdenia, vodná elektráreň, nádrž, prítoky h=6 m; Q=30 $m^3.s^{-1}$	6	800
Fischer	laboratórny obdĺžnikový žľab	0,0072-0,063	8,7-30
Fischer	laboratórny trojuholníkový žľab	0,123-0,415	190-640

2.2 Priečne zmiešavanie

Pri riešení disperzných procesov v tokoch ako dvojrozmernej úlohy sa stáva dominantnou priečna disperzia [5] a preto je treba venovať pozornosť priečnemu disperznému koeficientu.

Rovnica (1) sa eliminuje na dvojrozmernú. Pri určení hodnôt tohto koeficienta napriek tomu vznikajú ešte väčšie problémy ako pri stanovení pozdĺžneho disperzného koeficienta. Teoretické vzťahy na určenie hodnoty tohto koeficienta zatiaľ nie sú k dispozícii v takej miere ako pri pozdĺžnom disperznom koeficiente a tak možno využívať len experimentálne zistené hodnoty. Tie sa v niektorých prípadoch vyhodnocujú vo forme bezrozmerného koeficienta priečnej disperzie, a to v podobnej forme ako pri pozdĺžnom disperznom koeficiente:

$$a = \frac{\varepsilon_y}{u_* h} \tag{3}$$

kde: u_* - trecia rýchlosť [$m.s^{-1}$].

Hodnota bezrozmerného koeficienta priečnej disperzie umožňuje jeho istú variabilitu vzhľadom na podmienky prúdenia v toku. Niekedy však nie je ľahké a ani možné stanoviť pre konkrétne úseky toku pri platných podmienkach prúdenia v ňom správnu a platnú hodnotu priečneho disperzného koeficienta ani pomocou vzťahu (3) bez predchádzajúcich skúseností.

3. Stanovenie koeficientov priečnej a pozdĺžnej disperzie z terénnych meraní

3.1 Koeficient pozdĺžnej disperzie

Na stanovenie veľkosti pozdĺžneho disperzného koeficienta pre prúdenie s voľnou hladinou sa robil terénny výskum na vybranej časti stokovej siete, na spojovacom zberači medzi

Liptovským Hrádkom a Liptovským Mikulášom. Zberač má profil DN 500, je uložený v sklonoch od 2 $^{o}/_{oo}$ do 9,5 $^{o}/_{oo}$. Pre terénne merania boli vybraté dva úseky zberača – prvý nad obcou Podtureň a druhý za autocampingom Borová Sihoť, pri Liptovskom Hrádku. V prvom úseku boli merané časové priebehy koncentrácie stopovača na rôznych dĺžkach v priamej trati. V druhom úseku sa nachádza niekoľko zalomení trasy (30°, 45° a 90° odklon trasy) a v týchto úsekoch boli merané časové priebehy koncentrácie stopovača s cieľom určiť práve vplyv smerových zmien na veľkosť disperzného koeficienta. Vyhodnotenie výsledkov pokusov spočívalo v tom, že pre každý pokus sa vykonala simulácia stopovacieho pokusu (priebehu koncentrácií) pre rôzne koeficienty pozdĺžnej disperzie. Podkladom pre numerickú simuláciu bolo analytické riešenie jednorozmernej formy advekčno-difúznej rovnice (1) pre prípad okamžitého vnosu stopovača do toku:

$$C(x,t) = \frac{G}{2A\sqrt{\pi D_L t}} . exp\left[- \frac{\left(x - \bar{u} t\right)^2}{4 D_L t} \right] \qquad (4)$$

Vyhodnocoval sa pritom rozdiel nameraných a modelovaných hodnôt. Minimálny rozdiel určoval hodnotu nameraného pozdĺžneho disperzného koeficientu pre každý jednotlivý pokus. Pri praktickej realizácii sa vyskytol jeden problém: pri vyhodnocovaní výsledkov sa zistilo, že závislosť vodivosti a meranej koncentrácie stopovača nemá v celom rozsahu meraní lineárny charakter, čo bolo overené a potvrdené kalibráciou konduktometra.

Hodnoty pozdĺžneho disperzného koeficienta D_L , určené z dvoch sérií týchto stopovacích pokusov v priamom úseku sa pohybovali v rozmedzí 0,085 – 0,12 $m^2.s^{-1}$ (bezrozmerný súčiniteľ p = 11,8 – 25,2). Pri porovnaní hodnôt D_L , získaného v stokovom zberači, a D_L , získaného v prirodzených korytách (Tab. 1), je evidentné, že sa rádovo líšia. Hodnoty pozdĺžneho disperzného koeficienta D_L , získaného v stokovom zberači sa približujú skôr k hodnotám, určeným v laboratórnych podmienkach, čo je však logické, pretože vybraný úsek stokovej siete sa podmienkami prúdenia podobá skôr laboratórnemu žľabu vo väčšom merítku ako prirodzenému toku. Pre porovnanie boli použité v literatúre nájdené empirické vzťahy na určenie D_L pre zrovnateľné podmienky. Taylor napr. uvádza vzťah pre D_L v priamom úseku kruhového potrubia pre turbulentné prúdenie ako funkciu polomeru potrubia a trecej rýchlosti. Použitím tohto vzťahu v našich podmienkach sme dostali hodnoty D_L v rozmedzí 0,14 - 0,23 $m^2.s^{-1}$. Hodnota D_L na dolnom okraji relatívne dobre korešponduje s nameranými hodnotami, horná hodnota rozmedzia je dvojnásobná. Napriek tomu je možné konštatovať, že tento jednoduchý vzťah je použiteľný pre stanovenie pozdĺžneho disperzného koeficienta v priamych úsekoch kruhových potrubí. Podstatne väčšie rozdiely hodnôt vyšli z porovnania nameraných hodnôt a hodnôt, získaných použitím vzťahu odvodeného Parkerom, ktorý upravil Taylorov vzťah do tvaru, platného pre otvorené korytá:

$$D_L = 14.28\, R^{2/3} \sqrt{2 g i} \qquad (5)$$

kde R je hydraulický polomer [m], g je gravitačné zrýchlenie a i je pozdĺžny sklon dna.

Použitím tohto vzťahu boli hodnoty D_L v rozmedzí 0,69 - 0,92 $m^2.s^{-1}$. Vzhľadom na to, že vzťah bol odvodený pre otvorené korytá, možno konštatovať, že jeho použitie pre prípad prúdenia v stokovom zberači nie je vhodné. Pri sérii pokusov s nižším prietokom sa pri vyhodnocovaní výsledkov merania ukázalo, že v meranom úseku sa nachádzala prekážka v prúde, ktorá mala za následok vytvorenie „mŕtvej zóny“ v meranom úseku. Preto bola použitá aj aplikácia Thackstonovho vzťahu [1], ktorý pri odvodzovaní svojho vzťahu počítal aj s prípadným efektom „mŕtvych zón“. Podľa tohto vzťahu hodnoty D_L boli v rozmedzí 0,054-0,12 $m^2.s^{-1}$, čo je pomerne dobrá zhoda s nameranými hodnotami, hlavne na hornom okraji hodnôt.

Metodický postup terénnych meraní v zakrivenom úseku trasy, ako aj spôsob vyhodnocovania hodnôt pozdĺžnych disperzných koeficientov z nich, bol totožný s postupom v priamej trase. Merania boli robené v každom úseku v troch opakovaniach. Zároveň na

každom úseku boli vykonané stopovacie pokusy pri dvoch rôznych hodnotách prietoku. V rámci meraného úseku boli na trase tri uhly zalomenia - 90^o, 135^o a 105^o . Vplyv uhla zakrivenia na hodnotu pozdĺžneho disperzného koeficienta v rámci doteraz vykonaných meraní nebol jasne doteraz vysledovaný. Hodnoty nameraných pozdĺžnych koeficientov v zakrivenom úseku trasy boli v rozmedzí 0,03 - 0,07 $m^2.s^{-1}$, bezrozmerný koeficient pozdĺžnej disperzie dosahoval hodnoty 5,15 – 39,27. Čo sa týka porovnania týchto hodnôt s hodnotami z priamej trasy, jednoznačne hodnoty D_L v zakrivenom úseku sú nižšie ako v priamej trase. Naproti tomu hodnoty bezrozmerného koeficienta *p* vykazujú väčší rozptyl a aj samotné hodnoty v zakrivenom úseku sú vyššie. To naznačuje, že pri disperzii v priamej trase je tento jav dominantne ovplyvnený difúziou v pozdĺžnom smere ako aj gradientom rýchlosti pozdĺž toku. V zakrivenej trase do procesu disperzie nutne vstúpil aj gradient rýchlosti v priečnom smere, čo sa prejavlo „oslabením“ hodnoty D_L . Naproti tomu rozptyl a navýšenie hodnoty bezrozmerného koeficienta *p* je pochopiteľný cez rovnicu (2). Vychádzajúc z jej formy môžeme povedať, že v hodnote *p* je hodnota disperzného koeficientu čiastočne očistená od hydraulických charakteristík spriemerovaných na sledovanom úseku toku a tak detailnejšie vystihuje mieru samotnej disperzie v danej časti.

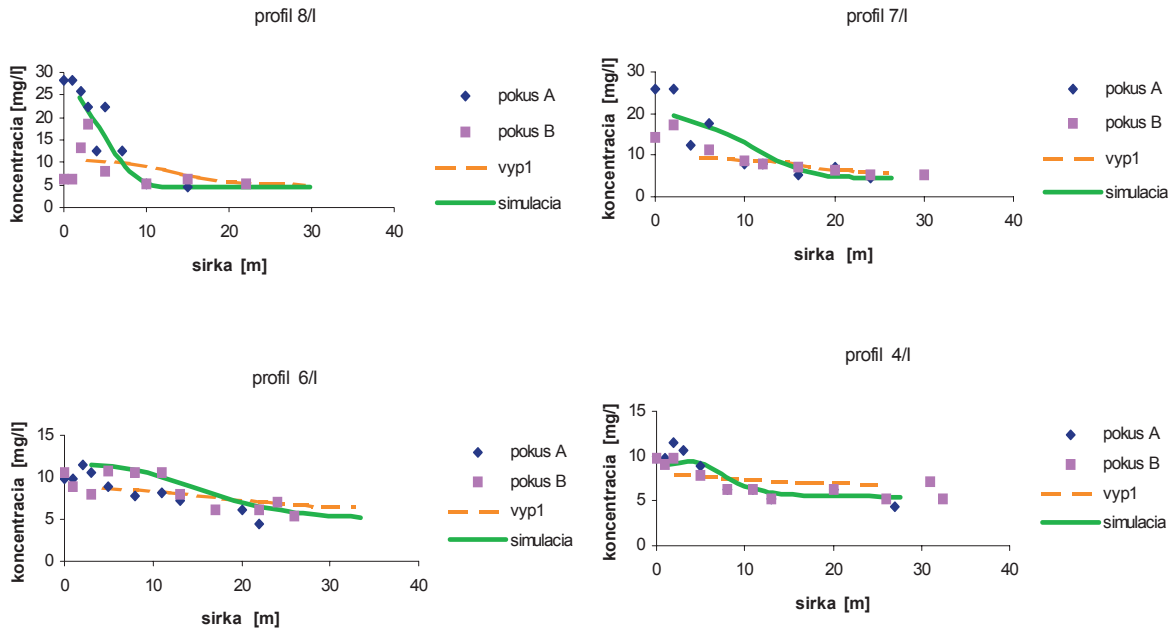
3.2 Koeficient priečnej disperzie

Koeficienty priečnej disperzie boli vyhodnocované z výsledkov stopovacích pokusov na 4 km úseku rieky Hron medzi zaústením toku Istebník a mostom v Banskej Bystrici–Šalkovej. Pomer šírky koryta k priemernej hĺbke bol v rozmedzí od 40 do 70násobku, preto bolo možné považovať koryto za široké a plytké (predpoklad aplikovateľnosti metódy použitej na stanovenie priečneho disperzného koeficienta z terénnych meraní). Pozdĺžny sklon toku v tomto úseku bol 0,001 až 0,0026. V rámci úseku boli vytypované dve časti toku s rôznym smerovým vedením - pravotočivá zákruta a priamy úsek. Merania boli vykonané v troch rôznych obdobiach s rôznymi prietokovými pomermi (6,7 $m^3.s^{-1}$ až 21,97 $m^3.s^{-1}$). Každé meranie osobitne bolo robené za ustáleného stavu. Bol použitý konštantný zdroj stopovacej látky a na stanovenie koeficienta priečnej disperzie bola použitá metóda Demetracopoulosa. Metóda a jej aplikácia už boli opísané v práci [6]. Na základe výsledkov zmiešavacích pokusov, vykonaných na spomínanej lokalite, boli vyhodnotené priečne disperzné koeficienty pre sledovanú časť Hrona. Ich hodnoty sú v Tab. 2.

Na overenie hodnôt koeficienta priečnej disperzie, stanovených z výsledkov zmiešavacích pokusov v terénnych podmienkach metódou Demetracopoulosa a Stefana, bol použitý numerický model MODI. Model bol vyvinutý na ÚH SAV autormi Velísková a Kohutiar [6]. Je založený na numerickom riešení dvojrozmernej formy advekčno-difúznej rovnice, schopný dvojrozmerne simulovať zmiešavacie procesy v neprizmatických korytách pri ustálenom prúdení. Namerané rozdelenie koncentrácie stopovacej látky po šírke profilu bolo porovnávané s výsledkami simulácie. Pre ilustráciu uvádzame časť výsledkov na Obr. 1.

Tab. 2: Namerané a vypočítané hodnoty priečnych disperzných koeficientov na sledovanom úseku Hrona

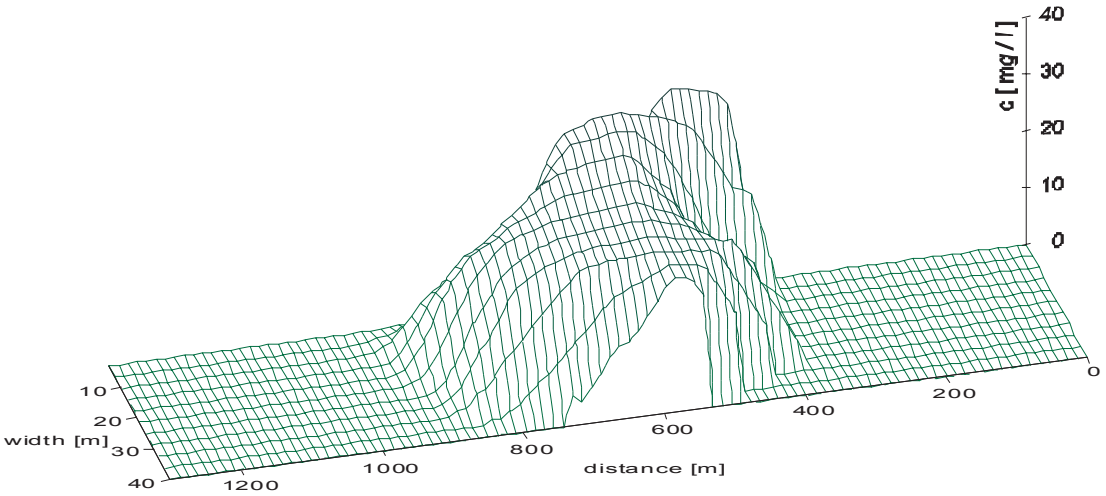
		1. séria pokusov	2. séria pokusov	3.séria pokusov
úsek I. (so zákrutou)	terénne merania (Demetracopoulos Stefan) $\in_y^M$ [$m^2 s^{-1}$]	0,165-0,403	0,896-1,3	0,612-1,242
	model MODI $\in_y^S$ [$m^2 s^{-1}$]	0,02-0,3	0,01-0,2	0,01-0,2
	a [–]	0,2-2,5	0,2-2,55	0,2-2,55
		1. séria pokusov	2. séria pokusov	3.séria pokusov
úsek II. (priama)	terénne merania (Demetracopoulos Stefan) $\in_y^M$ [$m^2 s^{-1}$]	0,044-0,407	0,333-0,727	0,044-0,863
	model MODI $\in_y^S$ [$m^2 s^{-1}$]	0,01-0,02	0,005-0,013	0,007-0,015
	a [–]	0,09-0,27	0,09-0,27	0,09-0,27



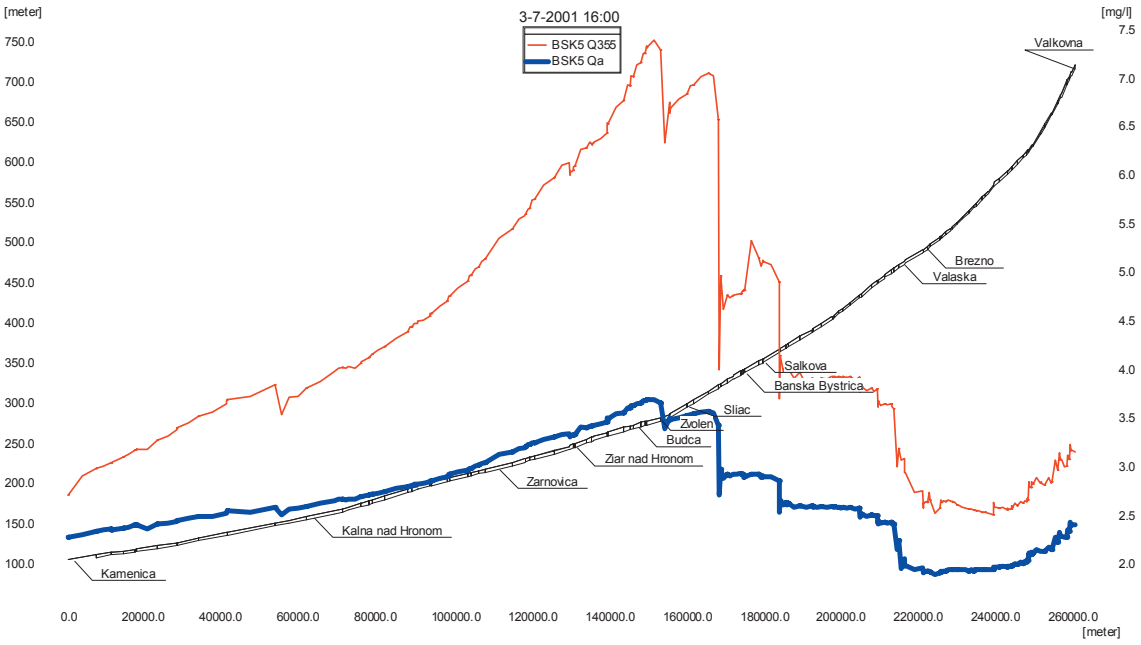
Obr. 1: Grafické zobrazenie rozdelenia koncentrácie stopovača v úseku I („vyp1“ – hodnota $\in_y$ stanovená metódou Demetracopoulosa a Stefana)

Získané skúsenosti z terénnych meraní, ako aj informácie z rešerše literatúry, boli aplikované pri konkrétnych numerických simuláciách transportu znečistenia na rieke Hron. Niektoré výsledky týchto simulácií sú pre ilustráciu na Obr. 2 a), b).

a)



b)



Obr. 2: Numerické simulácie transportu znečistenia na rieke Hron – a) modelom MODI, b) modelom MIKE 11

4. Závery

Získané hodnoty pozdĺžneho disperzného koeficientu pre prizmatické koryto nie sú priamo použiteľné pre prirodzené toky, no pre zjednodušený charakter prúdenia pri ich získavaní je ľahšie analyzovať vplyv základných hydraulických charakteristík na jav disperzie. Preto tieto hodnoty sú vhodným východiskom pre ďalšiu analýzu javu disperzie a hydraulických charakteristík, ktoré ju ovplyvňujú a popisujú. Pri porovnaní hodnôt D_L v priamom a zalomenom úseku stokového zberača hodnoty D_L v priamom úseku boli vyššie ako v zalomenej trase (maximálna hodnota bezrozmerného koeficienta p dosahovala v priamom úseku hodnotu 25,2, v zakrivenej trase zberača až 39,3). Tento výsledok naznačuje, že

v priamej trase sa na disperzii nesenej látky podieľa disperzia v pozdĺžnom smere vo väčšej miere ako v zakrivenom úseku, kde vstupuje svojou podstatnou mierou priečna disperzia. Výsledky z obidvoch úsekov majú následne slúžiť ako podklad pre analýzu vplyvu hydraulických veličín na hodnoty disperzného koeficienta a v konečnom dôsledku budú použité pri numerickom modelovaní disperzie v stokovej sieti i v recipiente.

Literatúra

[1] BANSAL, M. K.,1971. Dispersion in natural streams. J. Hyd. Division, HY11, Nov., 1867-1886.

[2] ELDER, J. W.,1959. Dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. J. Fluid Mech., vol. 5, Part 4, pp 544-560.

[3] KARCHER, M. J. et al., 2004. The dispersion of 99Tc in the Nordic Seas and the Arctic Ocean: A comparison of model results and observations. Journal of Environmental Radioactivity 74 (1-3), pp 185-198.

[4] KOSORIN, K. 1995. Disperzný koeficient pre prirodzené profily povrchových tokov. J. Hydrol. Hydromech., 43, 1-2, 93-101.

[5] ŘÍHA, J. – DANĚČEK, J. – GLAC, F.,1997. Vliv disperze na průběh koncentrací látek v toku. J. Hydrol. Hydromech., 45, 1-2, 69-80.

[6] VELÍSKOVÁ, Y. – KOHUTIAR, J.,1992. Určenie koeficientov priečneho zmiešavania v širokých plytkých tokoch. Vodohosp. Čas., 40, č. 6, 506-516.

Kontakty na autora

1 Ústav hydrológie SAV Bratislava, e-mail: veliskova@uh.savba.sk, dulovicova@uh.savba.sk

2 Stavebná fakulta STU Bratislava, e-mail:marek.sokac@stuba.sk