

**TRANSPORT ZNEČISTENIA V POVRCHOVÝCH TOKOCH –
ZÁKLADNÉ POJMY A PRINCÍPY MODELOVANIA**

Cyril Siman, Yvetta Velísková

Prítomnosť vody v kvapalnom skupenstve, je, spolu s kyslíkom v atmosfére, základnou podmienkou života na zemi. Pre človeka, ale aj iné organizmy, je však potrebné, aby bola voda vhodná na pitie bez následného poškodenia organizmu. Kvalita vody na území Slovenska, ale aj v iných krajinách sveta, sa v priebehu 20. stor. zhoršila. V niektorých krajinách sveta tento trend pokračuje aj v súčasnosti, na niektorých úsekoch tokov na území Slovenska sa však kvalita vody po roku 1989 všeobecne zlepšila. Medzičasom prijaté opatrenia len zmiernujú nežiadúci vplyv človeka na kvalitu vody. Ten je spôsobený najmä zvyšujúcou sa hustotou obyvateľstva a urbanizáciou pozdĺž riek, ale aj nadmerným využívaním vodných zdrojov. Kým v minulosti sa za najväčší zdroj znečistenia povrchových tokov považovali bodové zdroje znečistenia, po zavedení čistiarní odpadových a priemyselných vôd sa významným zdrojom znečistenia v povodí stali plošné, resp. nebodové zdroje znečistenia. Znečistenie z bodových, ale aj plošných zdrojov sa dostáva do povrchových tokov. Po vniknutí znečisťujúcej látky do toku dochádza k jej postupnému úplnému premiešaniu s vodou vodného toku - recipientu, a to dejmi, ktoré sa súborne nazývajú procesy zmiešavania. Proces zmiešavania znečisťujúcej látky v povrchovom toku sa rozdeľuje do štyroch etáp, pričom zároveň dochádza k znižovaniu koncentrácie znečisťujúcej látky v toku. Článok obsahuje základné informácie súvisiace s problematikou kvality vody a šírenia znečistenia v povrchových tokoch. Vysvetľuje elementárne vzťahy, pojmy a mechanizmy transportu znečisťujúcej látky v povrchových tokoch.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: kvalita vody, znečistenie, povrchové toky, zmiešavanie, disperzia, advekcia

POLLUTION TRANSPORT IN SURFACE STREAMS – ELEMENTARY TERMS AND PRINCIPLES OF MODELING. Presence of water in liquid state is, together with oxygen in atmosphere, elementary condition of life in the world. For human, but also for others organisms, is necessary that water was suitable for drinking without risk of damage. Water quality in Slovakia, but in others countries of the world has decreased during the 20th century. In some countries of the world this trend continues even today, but for example the quality of water in some river parts at Slovakia territory, has generally improved after 1989 Performed measures only mitigate human impact on the water quality. It's mainly due to population density increasing and urbanization along rivers, also due to excessive and unnatural exploitation of water sources, as well. While in the past, point sources of pollution was considered like the biggest source of pollution in surface streams, after the installation of treatments plants of urban and industrial waste water, nonpoint - diffuse sources of pollution happened like the important source of pollution in river basin. Pollution from both types of pollution sources often gets to surface streams. After entry of pollutant to surface streams, mixing processes start. These processes are divided into four stages, while the concentration of pollution in streams going to lower, as well. The article includes basic information relating with problems of water quality and spreading of pollution in surface streams. It explains elementary relations, terms and mechanisms of pollution transport in surface streams.

KEY WORDS: water quality, pollution, surface streams, mixing, dispersion, advection

Úvod

Voda je jednou z najdôležitejších zložiek živých organizmov. Jej dostatočné množstvo bolo už po stáročia rozhodujúcou podmienkou pre rozvoj ľudskej spoločnosti. So zvyšujúcou sa hustotou urbanizovaných oblastí pozdĺž povrchových tokov sa zvyšujú nároky na jej kvantitu aj kvalitu. Mnohé povrchové toky sú využí-

čia rozhodujúcou podmienkou pre rozvoj ľudskej spoločnosti. So zvyšujúcou sa hustotou urbanizovaných oblastí pozdĺž povrchových tokov sa zvyšujú nároky na jej kvantitu aj kvalitu. Mnohé povrchové toky sú využí-

vané súčasne ako recipient odpadových vôd, zdroj úžitkovej vody, a v niektorých prípadoch sa stávajú dokonca zdrojmi pitnej vody, alebo majú zdroje pitnej vody vo svojom tesnom okolí. Už na prvý pohľad je tu vidieť konflikt záujmov, ktorý vzniká ako dôsledok využívania jedného prírodného zdroja viacerými subjektami, a to odlišným spôsobom a na rôzne účely. Problematike kvality vody sa v posledných rokoch venuje celosvetovo zvýšená pozornosť. Minimalizácia nežiadúcich vplyvov rozširujúcej sa populácie na kvalitu vody je aktuálnou témou, ktorou je potrebné sa zaoberať.

Miera znečistenia tokov je do veľkej miery ovplyvnená parametrami toku, ktoré určujú hydrodynamiku celého procesu, ako aj niektorými vlastnosťami povodia a rozmiestnením zdrojov v ňom.

V príspevku sú v stručnosti zhrnuté základné a najdôležitejšie poznatky z oblasti kvality vody a transportu znečistenia v povrchových tokoch. Doposiaľ bolo publikovaných veľké množstvo zahraničnej, ale aj domácej literatúry, v ktorých sa autori venujú rôznym aspektom súvisiacich s kvalitou vody.

Zo starších prác zaoberajúcich sa kvalitou vody spomenieme publikáciu *A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River* (Streeter a Phelps, 1958) v ktorej autori zhrnuli výsledky rozsiahleho prieskumu venovaného znečisteniu rieky Ohio. Jednu zo základných prác, ktorá bola publikovaná v tejto oblasti, považujeme tiež dielo *Mixing in Inland and Coastal Waters* (Fisher et al., 1979), v ktorej sa autori venujú viacerým aspektom kvality vody, od jej definície, cez zdroje znečistenia až po proces zmiešavania v povrchových tokoch. Zameraním podobná je tiež práca s názvom *Jakost vody v povrchových vodných tocích a její matematické modelování* (Říha a kol., 2002). Jedným z aspektov kvality vody je tiež napr. určenie priečného a pozdĺžneho disperzného koeficientu. Stanovením hodnoty pozdĺžneho disperzného koeficientu, ako dôležitého vstupného údaju do modelových simulácií šírenia znečistenia v povrchových tokoch, sa v práci *Rate of Longitudinal Dispersion as Impact Factor of Water Quality Management Tools* venovali Velísková a Sokáč (2011). V staršej práci sa určením koeficientu priečného zmiešavania zaoberala Velísková a Kohutiar (1992). Niektoré práce boli zamerané aj na modelovanie kvality vody, z viacerých spomenieme napr. *Modelovanie kvality vody v povodí Ondavy* (Pekárová a Velísková, 1998), z novších prác sa analýze trendov a dlhodobej predpovedi vývoja kvality vody v rieke Dunaj v súvislosti s dôsledkami klimatickej zmeny venovali Pekárová a kol. (2009).

Posúdenie kvality vody, modelovanie šírenia znečistenia, ale aj návrhy opatrení s cieľom obnovy prirodzených vlastností tokov a zlepšenie kvality života najmä akvatických ekosystémov, to sú hlavné oblasti výskumu v rámci tejto problematiky.

Kvalita vody

Kvalita vody v toku definuje zloženie a vlastnosti vody

v ňom. Je vyjadrená fyzikálnymi, chemickými a biologickými ukazovateľmi (Říha a kol., 2002). Je ovplyvnená produkciou znečistenia pozdĺž vodného toku, okamžitým prietokom vody v závislosti od hydrologickej situácie, manipuláciou na vodných dielach, intenzitou prirodzených procesov v tokoch a tiež teplotou vody. Závisí od hydrodynamiky transportu (zmiešavania), ale tiež od chemického a biologického zloženia prírodného vodného prostredia, a v neposlednom rade od veľkosti a priestorového rozmiestnenia zdrojov znečistenia.

Vzťah medzi zložením akvatických organizmov a znečistením vody opisali ako prví nemeckí vedci – botanik Richard Kolkwitz a prírodovedec a lekárnik Karl Maximilian Marsson, a to už na začiatku 20. st. Ich práca *Ökologie der tierischen Saprobien* (Kolkwitz - Marsson, 1909) sa stala štandardnou metódou využívanou pri určovaní kvality vody. Autori si všimli, že organizmy spotrebujú pri rozklade organických látok kyslík a pri veľkom organickom zaťažení dochádza k hnilobným procesom, teda rozkladu organickej hmoty bez prítomnosti kyslíka. So zvyšujúcim sa stupňom znečistenia klesalo množstvo kyslíka a tiež prítomnosť životaschopných organizmov vo vode. Na vyjadrenie znečistenia vody zaviedli autori pojem *saprobne zóny* (*sapros-hnilobný*). Na základe výskytu organizmov v určitých saprobnych zónach vytvorili Pantle a Buck (1955) *saprobne indexy*. Medzi najznámejšie a najpoužívanejšie patria *saprobne indexy podľa Zelinku a Marvana* (Zelinka a Marvan, 1961). V Československej štátnej norme sa na biologické hodnotenie vôd používal index českého limnológa Sládečka (Sládeček, 1967). Saprobny index je aj súčasťou tzv. *multimetrického indexu* používaného na hodnotenie kvality povrchových vôd podľa RSV 200/60 EHS.

Podľa Smernice 2000/60/ES Európskeho parlamentu (tzv. *Rámcová smernica o vode*) je vodný útvar v dobrom ekologickom stave vtedy, keď hodnoty biologických prvkov kvality pre daný typ útvaru povrchovej vody (t.j. rýb, vodných rastlín a bentických bezstavovcov) vykazujú len slabé narušenie v dôsledku ľudskej činnosti, alebo sa iba mierne odlišujú od bežných hodnôt v nenarušených podmienkach pre daný typ útvaru povrchovej vody, a hydromorfologické podmienky spolu so všeobecnými fyzikálno-chemickými a chemickými prvkami kvality zabezpečujú funkčnosť ekosystému a dosiahnutie hodnôt biologických prvkov kvality.

Do klasifikácie ekologického stavu povrchových vôd vstupujú výsledky analýz jednotlivých prvkov kvality, ktoré sú členené na tri hlavné skupiny:

1. *Biologické prvky* kvality vody: pozostávajú z rozborov fytoplanktónu, makrofytov a fytobentosu, bentických bezstavovcov a fauny rýb (dôležité je druhové zloženie a početnosť).
2. *Fyzikálno-chemické prvky* kvality vody: sem patrí napríklad hodnota pH, ktorá je v povrchových vodách väčšinou v rozpätí od 5 do 7, v zrážkových vodách od 4 do 5. Medzi fyzikálno-chemické prvky

kvality vody ďalej zaraďujeme teplotu, vodivosť, kyslíkové pomery (nedostatok kyslíka je významným indikátorom zvýšenia organického znečistenia), obsah živín a niektorých syntetických alebo nesyntetických znečisťujúcich látok, ktoré nie sú definované ako prioritné látky.

3. *Hydromorfologické prvky* kvality vody: predstavujú fyzikálne zmeny ako sú prekážky brániace pohybu splavenín a rýb (hate, priehrady, stupne), zmeny v šírke a hĺbke koryta, zmeny štruktúry brehov, charakteru toku, prietoku, zmeny hladinového režimu.
4. *Chemické prvky kvality vody*: syntetické a nesyntetické špecifické znečisťujúce látky relevantné pre Slovensko.

Chemický stav útvarov povrchovej vody sa hodnotí na základe posúdenia súladu zistených koncentrácií prioritných látok s environmentálnymi normami kvality určenými pre tieto látky.

Systematické sledovanie kvality povrchových vôd na území Slovenska prebieha od roku 1963, od roku 1982 národný monitoring a hodnotenie kvality vôd v SR zabezpečuje Slovenský hydrometeorologický ústav.

V minulosti bola u nás základným dokumentom pre hodnotenie kvality vody norma STN 75 7221 – Kvalita vody, Klasifikácia kvality povrchových vôd. V tejto, v súčasnosti neplatnej norme, sa nachádzajú klasifikácie ukazovateľov do ôsmich skupín (A až H) a výsledné triedy kvality vody: veľmi čistá voda, čistá voda, znečistená voda, silno znečistená voda a veľmi silno znečistená voda.

V súčasnosti, podľa prílohy č.1 Nariadenia vlády č. 269/2010 Z.z., sú ukazovatele kvality vody v rámci všeobecných požiadaviek na kvalitu vody rozdelené na 5 častí (časť A až E). V časti A – Všeobecné ukazovatele, obsahuje 43 ukazovateľov (rozpuštný kyslík, BSK₅, CHSK_{Cr}, pH, teplota, vodivosť a i). Časť B – Nesyntetické špecifické látky (8 ukazovateľov), časť C – Syntetické látky (58 ukazovateľov), časť D – Ukazovatele rádioaktivity (7 ukazovateľov), časť E – Hydrobiologické a mikrobiologické ukazovatele.

Znečistenie v tokoch a jeho zdroje

Znečistenie vody je charakterizované obsahom látok nebezpečných pre zdravie človeka a iných organizmov. Môže byť spôsobené ľudskou činnosťou, ale aj výskytom niektorých látok, ktoré sa dostávajú do vody z geologického podložja (Klinda a kol., 2009). Do hydrologického cyklu sa dostáva znečistenie (polutanty) zámerne, ale aj neúmyselne. Medzi typické polutanty patria napríklad: prírodné organické soli a sedimenty (netoxický materiál), odpadové teplo, organický odpad, ťažké kovy (ktorých koncentrácie sú prirodzene nízke, ale v odpadových vodách sú často zvýšené a môžu byť toxické), syntetické organické chemikálie, rádioaktívny materiál, chemické a biologické bojové látky, atď (Fischer et al., 1979).

Zdroj znečistenia je miesto, z ktorého prechádzajú do vodného útvaru polutanty (látky, teplo, mikroorganizmy) (Říha a kol., 2002).

Zdroje znečistenia delíme na (Fischer et al., 1979):

1. *Bodové zdroje*: únik alebo vypúšťanie znečisťujúcich látok z priemyselnej činnosti alebo verejnej kanalizácie. Bodové zdroje znečistenia boli v minulosti terčom najväčšieho počtu zákonov a regulácií na kontrolu znečistenia vody. Náhodne (havarijne) rozliaty olej z lode alebo únik rádioaktívneho znečistenia z elektrárne môže byť tiež označený ako bodové znečistenie.
2. *Nebodové (plošné) zdroje*: sú definované ako široko rozptýlené body, z ktorých sú znečisťujúce látky zavedené do hydrologického cyklu. Príkladom je vnos znečisťujúcich látok z poľnohospodárskych polí, ale aj kyslý dážď alebo pôdna erózia. (Vnos soli z cestných komunikácií do povrchových tokov, ako dôsledok ich zimného posypu, je príkladom líniového zdroja znečistenia).

Množstvo zdrojov znečistenia sa nachádza v oblastiach, kde je situovaný priemysel, osídlenie a poľnohospodárska činnosť (Holubec a kol., 2002). Bodové znečistenie pochádza hlavne z nedostatočne čistených komunálnych odpadových vôd, kde sa okrem organického znečistenia môžu vyskytovať aj mikropolutanty (Kožíšek a kol., 2007), t.j. látky, vyskytujúce sa často v nepatrných množstvách, ale so schopnosťou napriek tomu negatívne ovplyvniť biocenózu v recipientoch. Ide o rôzne druhy a skupiny látok, ako sú napr. drogy, liečivá, hormóny, rôzne špecifické látky s toxickými, perzistentnými alebo biokumulatívnymi vlastnosťami, prípadne aj rôzne reziduá alebo metabolity týchto látok. Hlavným zdrojom plošného znečistenia je aplikácia priemyselných a organických hnojív v poľnohospodárskej činnosti. Medzi najvýznamnejšie patria dusičnany, dusitany, fosforečnany a celkový fosfor, ďalej chloridy, sírany, sodík a draslík.

Z hľadiska doby vypúšťania znečistenia a vplyvu na kvalitu vody v povrchových tokoch môžeme zdroje znečistenia rozdeliť ďalej na:

1. Znečistenie havarijné, jednorazové a viacnásobné s katastrofálnym okamžitým dopadom, spojeným s úhynom vodných organizmov a inými škodami.
2. Znečistenie dlhodobé, trvalejšie, najmä organické znečisťovanie (Bujnovský, 2011).

Zmiešavacie procesy a transport znečistenia

Prúdenie vody je vo vodných útvaroch vo všeobecnosti trojrozmerné, časovo a priestorovo premenné (nестacionárne prúdenie) a charakterizované poľom hustoty, vektora rýchlosti, teploty a tlaku (Říha a kol., 2002). Je popísané rovnicami vyjadrujúcimi zákon zachovania hmotnosti (rov. 1) a zákon zachovania hybnosti (rov. 2, 3, 4) prúdiacej kvapaliny.

Aplikáciou zákona zachovania hmotnosti pre kvapalinu s konštantnou hustotou dostávame tzv. rovnicu konti-

nulty (Mase, 1970), ktorá má pre prúdiacu vodu v toku tvar:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

kde

Q – prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

A – prietokná plocha [m^2],

x – pozdĺžna súradnica,

t – čas [s].

Aplikáciou zákona zachovania hybnosti pre prúdiacu kvapalinu dostávame pohybové, tzv. Navier-Stokesove rovnice:

$$\begin{aligned} f_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + v_x \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) = \\ = \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} f_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + v_y \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) = \\ = \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} f_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + v_z \cdot \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) = \\ = \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z}; \end{aligned} \quad (4)$$

kde

$f_x(x,y,z,t)$, $f_y(x,y,z,t)$, $f_z(x,y,z,t)$ – zložky vektora objemovej sily vztiahnuté na jednotku hmotnosti (zrýchlenie) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

ν – kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],

x, y, z – priestorové súradnice [m] (x – pozdĺžna horizontálna, y – priečna horizontálna, z – vertikálna),

p – tlak [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],

t – čas [s],

ρ – hustota kvapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Transportné procesy, ktoré vedú k rozptýleniu znečisťujúcej látky v povrchovom toku možno deliť na (Fischer, et al., 1979):

1. *Advekcia*,

2. *Disperzia*:

a) *Molekulárna difúzia*,

b) *Turbulentná difúzia*.

Základnými mechanizmami transportu látky v toku sú advekcia a disperzia. Advekcia je jav, ktorý spôsobuje pohyb látky v smere toku, pričom jednotlivé častice sa pohybujú rýchlosťou prúdenia v toku (Říha a kol., 2002). Pojem disperzia znamená v hydrodynamickom slova zmysle rozptýlenie rozpustenej látky, ku ktorému dochádza pri prúdení kvapaliny, ktorá sa šíri z miest s vyššou do miest s nižšou koncentráciou látok v smere prúdenia toku. Jej vplyvom dochádza ku znižovaniu

maximálnych hodnôt koncentrácií rozpustených látok v toku (Velísková a kol., 2014). Disperzia sa skladá z dvoch čiastkových procesov a to molekulárnej a turbulentnej difúzie. Molekulárna difúzia látok hrá významnejšiu úlohu pri nulových alebo nízkych rýchlostiach prúdenia, a to napríklad vo vodných nádržiach a rybníkoch. K turbulentnej difúzii dochádza vplyvom nerovnomerného rýchlostného poľa (rýchlostných pulzácií) v prietoknom profile koryta toku (Říha a kol., 2002).

K advekcii dochádza len pri nenulových bodových rýchlostiach v toku, disperzia prebieha aj pri nulových bodových rýchlostiach v toku (cez molekulárnu difúziu), pričom jej veľkosť je určená gradientom koncentrácie a difúzny tok smeruje z miest s vyššou koncentráciou do miest s nižšou koncentráciou znečisťujúcej látky.

Rozdiel medzi advekciou a disperziou vysvetľuje obrázok 1. Pri nulovej rýchlosti prúdenia (horná časť obrázka) dochádza len k disperzii, presnejšie molekulárnej difúzii, znečisťujúcej látky; pri nenulovej rýchlosti prúdenia dochádza súčasne nie len k disperzii, ale aj k advekcii znečisťujúcej látky v povrchovom toku (dolná časť obrázka).

Klasický prístup riešenia transportu látok vo vodnom toku je využitie Fickovho zákona, aplikovaného pre šírenie znečistenia (Pekárová a Velísková, 1998).

Prvý Fickov zákon je aplikáciou Fourierovho zákona šírenia tepla pre prípad transportu rozpustenej látky v povrchovom toku, ktorý hovorí, že hmotnosť látky prechádzajúca cez jednotkovú plochu za jednotku času v určitom smere je priamoúmerná gradientu koncentrácie v danom smere (Fischer, et al. 1979):

$$q = -K \frac{\partial c}{\partial x} \quad (5)$$

kde

q – hustota a smer difúzneho toku [$\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$],

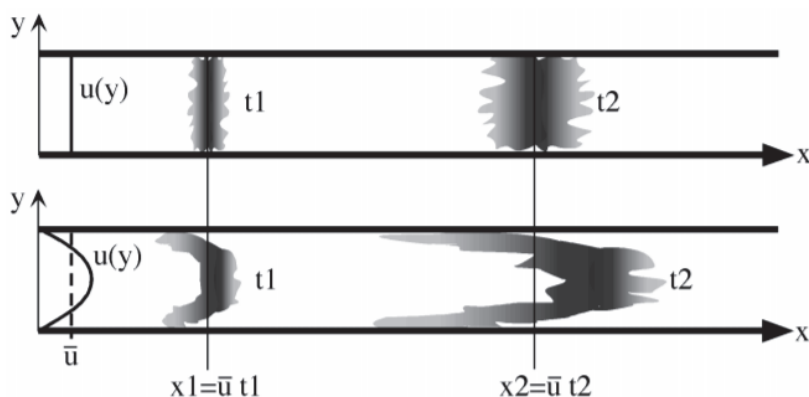
K – koeficient proporcionality, resp. molekulárnej difúzie,

c – hmotnostná koncentrácia [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

x – pozdĺžna súradnica [m].

Rozšírením Fickovho zákona pre prípad zmiešavacích procesov sa zaoberal napríklad Taylor (1921, 1953, 1954). Podľa Taylor (1921) po určitom čase šírenia sa látky v toku v ustálenom homogénnom turbulentnom prúdení, keď poloha čiastočiek už nie je závislá od ich pôvodnej polohy, možno postupovať analogicky s javom molekulárnej difúzie, pretože krivka koncentrácie rastie v oboch prípadoch s časom lineárne.

V roku 1954 Taylor aplikoval Fickov zákon v práci, v ktorej sa zaoberal transportom znečistenia v laminárnom prúdení v potrubí (Taylor, 1953) a v roku 1954 rozšíril svoju analýzu zmiešavacích procesov na turbulentné prúdenie (Taylor, 1954). Výsledky analýzy preukázali, že existuje určitá doba, po uplynutí ktorej môžeme predpokladať, že poloha molekuly alebo častice látky je nezávislá od počiatočného stavu.



Obr. 1. Schematické znázornenie šírenia mraku znečisťujúcej látky pri nulovej rýchlosti prúdenia - molekulárnou difúziou (horná časť obrázka) a pri nenulovej rýchlosti prúdenia - advekciou a disperziou (dolná časť obrázka) (Dostupné na: <http://web.mit.edu/1.061/www/dream/EIGHT/EIGHTTHEORY.PDF>)

Fig. 1. Scheme of pollutant cloud spreading at zero discharge - molecular diffusion (top picture), and at non-zero discharge - by advection and dispersion (bottom picture) (available on: <http://web.mit.edu/1.061/www/dream/EIGHT/EIGHTTHEORY.PDF>).

V tokoch s nepravidelnou geometriou priečného profilu pozdĺž toku (tzv. „mŕtve zóny“) nie je možné aplikovať Fickov zákon ani po dlhom čase, pretože rozdelenie koncentrácie sa nikdy nestane Gaussovým (Nordin a Troutman, 1980). Matematické vyjadrenie transportu látky v toku reprezentuje advekčno-disperzná rovnica, ktorá má v trojrozmernej forme tvar:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) \pm \alpha \cdot c \pm F \quad (6)$$

kde

v_x, v_y, v_z – zložky bodovej rýchlosti prúdenia vody v toku v smere osí x, y, z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

t – čas [s],

c – hmotnostná koncentrácia [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

α – reakčný koeficient rozpadu (samočistenia) látky [s^{-1}],

F – funkcia, reprezentujúca zdroje znečistenia, t. j. vstup a stratu externých zdrojov znečistenia v priestore a čase [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$],

x, y, z – priestorové súradnice bodu [m] (x – pozdĺžna horizontálna, y – priečna horizontálna, z – vertikálna),

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ – koeficient disperzie v pozdĺžnom, priečnom a vertikálnom smere [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$].

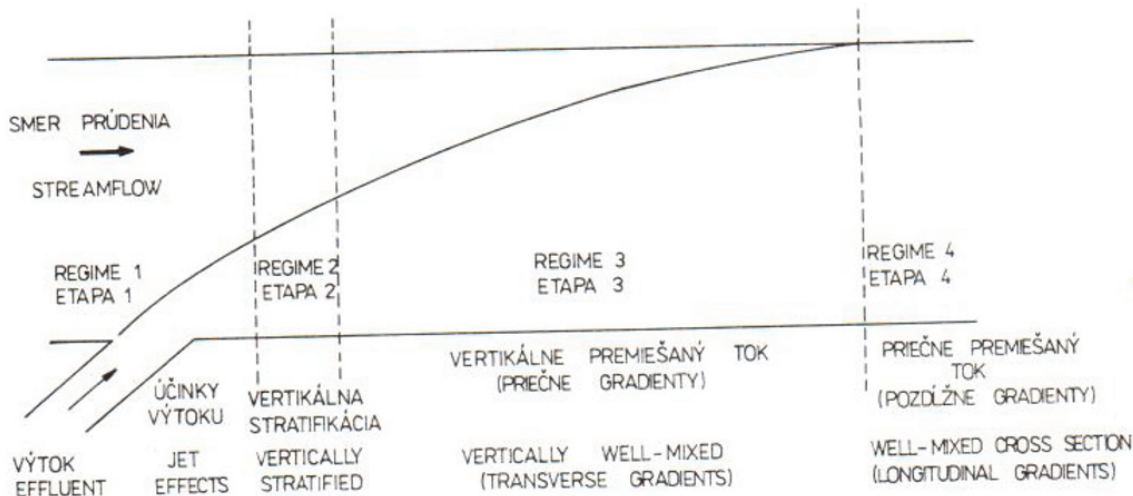
Po vypustení znečistenia do toku (napr. zaústenie odpadových vôd mestskej kanalizácie do rieky) nastáva premiešavanie znečisťujúcej látky s vodou recipientu.

Úplné vertikálne, priečne a pozdĺžne premiešanie vody dosahuje v závislosti od rôznych faktorov (rýchlosť prúdenia, šírka a hĺbka koryta, množstvo znečistenia, spôsob vniku) dĺžku niekoľko metrov a v prípade pozdĺžnej disperzie aj kilometrov.

Proces zmiešavania môžeme rozdeliť do štyroch fáz (Velísková a Kohutiar, 1992):

1. fáza: Zmiešavanie s prevládajúcim vplyvom začiatočného momentu od výtoku,
2. fáza: Vertikálne premiešavanie,
3. fáza: Premiešavanie v koryte v priečnom smere (táto fáza trvá od vniku znečistenia do toku, do času, kedy sa koncentrácie v celom priečnom smere vyrovnajú),
4. fáza: Fáza pozdĺžnej disperzie.

V prvej fáze je určujúcim zmiešavacím mechanizmom moment od rozdielnej rýchlosti a smeru toku kontaminantu vzhľadom na rýchlosť a smer prúdenia vody v recipiente. V prípadoch, kedy znečistenie voľne vteká do toku, možno túto etapu zanedbať. Druhá fáza je charakteristická úplným vertikálnym premiešaním kontaminantu. Dĺžka úseku, pre ktorý je charakteristická fáza vertikálneho premiešavania, je približne 100-200 násobok hĺbky toku (Velísková a Kohutiar, 1992). Tretia etapa začína v čase od úplného premiešania kontaminantu vo vertikálnom smere až do úplného premiešania v priečnom smere toku. Dĺžka úseku, ktorý je charakteristický pre túto fázu je pri širokých tokoch aj niekoľko kilometrov. Štvrtá etapa je charakteristická len pozdĺžnymi gradientmi koncentrácie. Pre lepšiu predstavu jednotlivých fáz premiešavania znečisťujúcej látky v toku je uvedené schematické znázornenie na obr. 2.



Obr. 2. Schematické znázornenie zmiešavacích etáp pod vyústením znečistenia (Velísková a Kohutiar, 1992).

Fig. 2. Schematization of mixing regimes under outlet of pollution (Velísková a Kohutiar, 1992).

Modelové prístupy v problematike šírenia znečistenia

Významným nástrojom manažmentu vodného hospodárstva sa v súčasnosti stali modely časových zmien kvantity a kvality vody. Modely môžu byť použité na riešenie problémov týkajúcich sa simulácie prietokov, riadenia a využívania vodných zdrojov i na tvorbu predpovede (prognózy) kvality vody v tokoch a nádržiach (Pekárová a Velísková, 1998).

Riešenie problémov zmiešavania vo vodnom prostredí je spojené s využívaním počítačového a hydrotechnického modelovania a terénnych experimentov (Fischer et al., 1979).

V súčasnosti sú k dispozícii matematické, numerické a simulačné modely, využívané na modelovanie kvality vody a simuláciu šírenia látok v toku. Deliť ich možno z viacerých hľadísk. Schematické delenie matematických modelov je znázornené na obrázku 3.

Pre modelovanie kvality vody bolo u nás, ale aj v zahraničí vyvinutých viacero modelov založených na rôznych princípoch – hydrodynamický, štatistický, bilančný, ktoré viac menej spoľahlivo a detailne dokážu simulovať reálne podmienky na toku (Velísková a kol., 2014). Komerčných, ale aj voľne dostupných modelov je veľké množstvo, z hydrologických sú to napr. model MODFLOW, TOPMODEL, SACRAMENTO, HBV model, HYRRROM, model kvality vody QUAL2EU – Enhanced Stream Water Quality Model with Uncertainty Analysis“, AGNPS – „Agricultural Non-Point Source Pollution Model“, ANIMO3 – Agricultural nitrogen Model“, ARM – „Agricultural Runoff Management“, ACTMO – „Agricultural Chemical Transport Model“, a ďalšie. Medzi modely simulujúce mechaniz-

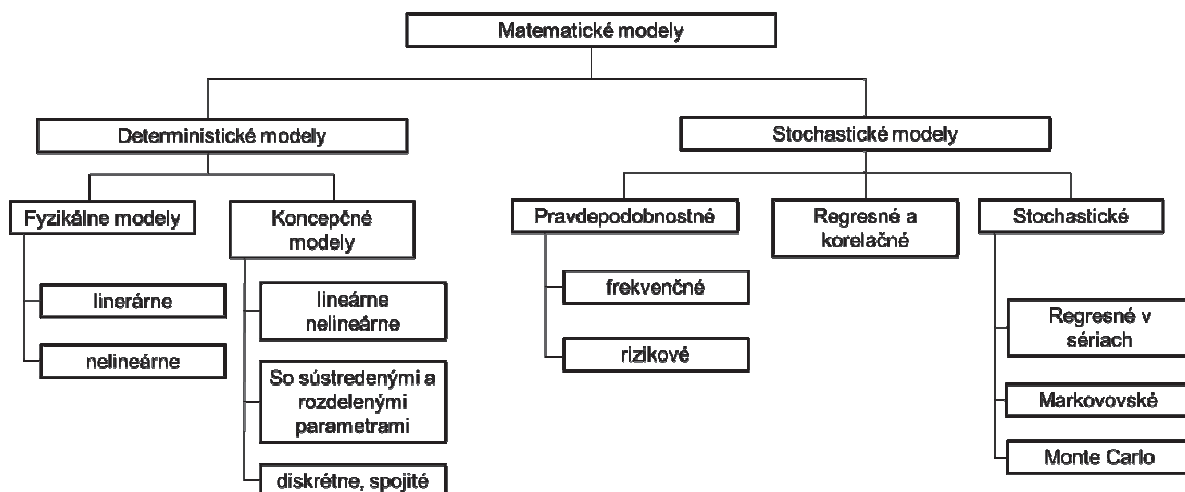
mus šírenia sa znečistenia v povodí alebo v toku, ktoré vychádzajú z hydraulickéj a hydrodynamickej podstaty javu patria MIKE 11, MIKE 21, FLUVIUS, MODI (Pekárová a Velísková, 1998).

Numerické modely, ktoré vychádzajú z riešenia rovnice (6) potrebujú pre korektné riešenie konkrétnej situácie vstupné údaje vo forme geomorfologických charakteristík toku. Ďalej údaje o prietokovom alebo hladinovom režime, ale tiež zmiešavacie charakteristiky na danom úseku toku (Velísková, 2001).

Transport znečistenia v povrchových tokoch môžeme simulovať troj, dvoj alebo jednorozmerne. Trojrozmerné modelovanie šírenia znečisťujúcich látok vo vodnom prostredí je náročné na vstupy, výpočet a čas (Velísková a kol., 2014). V oblastiach s výraznou teplotnou stratifikáciou sa však bez trojrozmerného modelovania nezaobídeme. Dvojrozmerný popis transportných procesov je možné uplatniť len v plytkých vodách bez výraznejšej teplotnej stratifikácie. Riešenie advekčno-disperznej rovnice (6) sa väčšinou eliminuje na dvojrozmerné, pretože sa predpokladá, že prirodzené toky spĺňajú podmienku plytkej vody a premiešanie po zvislici prebieha vzhľadom na ostatné smery pomerne rýchlo. Tak isto, ak potrebujeme riešiť problém šírenia znečistenia naprieč tokom, jednorozmerná simulácia nebude stačiť. Jednorozmerné modelovanie môžeme aplikovať len ak vertikálne a priečne zmiešavanie v úseku toku bolo ukončené.

Matematické modely môžeme deliť aj vzhľadom na prístup zvolený pri zostavovaní na (Velísková a kol., 2014):

- modely vychádzajúce z analýzy časových radov,
- modely vychádzajúce z hydrodynamického prístupu.



Obr. 3. Delenie matematických modelov (Velísková a kol., 2014).

Fig. 3. Categories of mathematical models (Veliskova et al., 2014).

Modely využívajúce analýzu časových radov

Prvá z menovaných metód využíva namerané údaje na tvorbu štatistických predpovedí na danom toku. Ide o empirický prístup, ktorý sa väčšinou nezaujíma o mechanizmus zmiešavania v toku. Hlavnou nevýhodou tejto metódy je znížená spoľahlivosť predovšetkým pri zmene podmienok toku (napr. zmena prúdenia + zdrojov znečistenia) a tiež ich použiteľnosť len na konkrétny tok.

Modely využívajúce hydrodynamický prístup

Hydrodynamický prístup sa snaží o kvantifikovanie zmiešavacích procesov v tokoch. Určitým nedostatkom je ťažká dostupnosť vstupných dát, ktorá vyplýva predovšetkým z veľkej variability geomorfologických podmienok tokov. Neoddeliteľnou súčasťou, resp. základom matematického modelu transportu látok je v tomto prípade model prúdenia, tzv. hydrodynamický model (Říha a kol., 2002).

V rámci hodnotenia použiteľnosti počítačového modelovania a jednotlivých modelov je potrebné spomenúť, že pri modelovaní šírenia znečistenia v prípade prirodzených tokov sa stretávame s problémom tzv. mŕtvych zón. Sú to oblasti sekundárnych prúdov a zón s výskytom nulových a záporných rýchlostí, ktoré môžeme nájsť na dne a pozdĺž brehov toku, v ktorých dochádza k zachytávaniu časti znečisťujúcej látky, ktorá sa postupne uvoľňuje a včleňuje do hlavného prúdu (Velísková a kol. 2014). Výskyt mŕtvych zón spôsobuje deformáciu krivky časového rozdelenia koncentrácie. Vplyvom mŕtvych zón dochádza k splošťovaniu vlny znečistenia a k zaostávaniu jej vrcholu. Toto sploštenie a posunutie závisí od parametrov „mŕtvych zón“, presnejšie od

hodnoty ich plochy a objemu a tiež od súčiniteľa prestupu znečisťujúcej látky medzi „mŕtvymi zónami“ a aktívnou časťou prietochového profilu.

Pri určovaní miery disperzie v toku, ako aj pre prípad modelovania šírenia znečistenia na hydrodynamickom princípe sa vo fáze terénneho výskumu využívajú tzv. stopovacie pokusy. To znamená, že do toku je buď jednorazovo alebo kontinuálne vypúšťaná stopovacia látka (napríklad roztok vody a NaCl) a v smere po prúde toku sa zisťujú jej koncentrácie, prípadne zmeny vlastností vody spôsobené zavedenou látkou (v prípade roztoku vody a NaCl sa sleduje zmena vodivosti). Na základe zameraného časového rozdelenia koncentrácie (príp. vodivosti alebo inej vlastnosti vody, ktorú stopovač ovplyvňuje) pod zaústením stopovača do toku je potom možné stanoviť disperznú vlastnosť toku, ako napr. hodnotu disperzného koeficienta. V súvislosti s výberom miesta na odber vzoriek vody v toku je potrebné nájsť také profily, v ktorých je voda „dostatočne premiešaná“ v príslušnom smere. V prípade skúmania priečneho zmiešavania stačí, aby stopovač bol dostatočne premiešaný vo vertikálnom smere, v prípade skúmania pozdĺžnej disperzie alebo zmiešavania v toku je potrebné, aby premiešanie bolo dokončené aj v priečnom smere. Dostatočné premiešanie znamená, že hodnoty koncentrácie pozorovanej látky alebo vlastnosti v týchto profiloch sú vyrovnané v požadovanom smere

Diskusia

Monitoring a vyhodnocovanie kvality vody je dôležitou úlohou súčasnosti. V minulosti bola celková kvalita vody vyhodnocovaná hlavne prostredníctvom fyzikálno-chemických ukazovateľov, podľa súčasne platnej legislatívy sa posudzuje celkový stav vodného útvaru,

ktorý sa posudzuje na základe výsledkov hodnotenia ekologického a chemického stavu. Do klasifikácie ekologického stavu povrchových vôd vstupujú okrem spomínaných fyzikálno – chemických ukazovateľov aj biologické a hydromorfologické prvky kvality vody. Pri hodnotení kvality vody, ako aj pri riešení havarijných situácií na tokoch sa treba zaoberať zdrojmi znečistenia, ich rozmiestnením a veľkosťou. V zásade rozlišujeme bodové a plošné zdroje znečistenia, pričom v poslednom období sa do pozornosti dostávajú najmä druhé menované, a to hlavne v súvislosti s poľnohospodárskou produkciou v povodí.

Pri efektívnom zmiernovaní dôsledkov znečistenia v tokoch je nevyhnutné poznať mechanizmy transportu látok v povrchových tokoch. Šírenie znečistenia v povrchových tokoch je komplexným problémom, ktorého zvládnutie si vyžaduje pochopenie elementárnych zákonov vyjadrujúcich prúdenie vody vo vodných útvaroch. Napriek veľkej pozornosti, ktorá sa venuje tejto problematike, je v nej stále množstvo nezodpovedaných otázok a neistôt v podmienkach prirodzených tokov a neustáleného prúdenia. Situáciu je možné čiastočne zjednodušiť rozdelením skúmaného úseku na dielčie časti, v ktorých by bola splnená podmienka ustáleného prúdenia. Pri modelovaní šírenia znečistenia vo vodných útvaroch je ďalej potrebné si uvedomiť, že vodný útvar v krajine je trojrozmerným útvarom. Každý povrchový tok môžeme okrem iného charakterizovať jeho dĺžkou, šírkou a hĺbkou, a v prípade jazier a nádrží nie je vertikálna súradnica (z) zanedbateľným rozmerom. Tieto parametre spolu s ostatnými hydrodynamickými charakteristikami koryta toku ovplyvňujú prúdenie vody a aj šírenie znečistenia.

Vyššie uvedené potvrdzuje vo svojej publikácii aj Fischer (1979), ktorý uvádza, že zmiešavanie v prírodnom prostredí často komplikuje stratifikácia závislá na zmenách teploty v jazerách a nádržiach alebo tiež profil salinity v ústiach riek do morí.

V povrchových tokoch s nevýraznou teplotnou stratifikáciou a zanedbateľnou hĺbkou sa vertikálna zložka premiešavania zanedbáva a na modelovanie šírenia znečistenia sa tu využívajú dvojrozmerné, prípadne jednorozmerné modely, v závislosti na potrebnej miere detailu riešenej úlohy. Využitie jednorozmerného modelovania je šetrné na výpočtový výkon hardvéru a nevyžaduje také veľké množstvo vstupných údajov ako pri dvoj alebo trojrozmernom modelovaní, jeho aplikácia a výstupy však majú svoje limity (možné aplikovať až po skončení priečneho zmiešavania),

K modelovaniu šírenia znečistenia môžeme pristupovať z viacerých strán a tento jav môžeme modelovať modelmi, založenými na rôznych princípoch. Pri ich výbere je potrebné zodpovedne zvážiť účel, priestorový a časový rozsah modelu, ako aj stupeň detailu, pretože každý model má svoje limity použiteľnosti a presnosti v závislosti od svojej štruktúry a riadiacich rovníc. Pri konečnom výbere rozhoduje aj dostupnosť a presnosť vstupných údajov. Tie vďaka súčasnému stavu poznania a moderným prístrojom je možné často určiť priamo

v terénnych podmienkach. Takto získané hodnoty najpresnejšie vystihujú podmienky konkrétneho toku alebo jeho úseku, a teda nie je potrebné ich nahrádzať tabuľkovými hodnotami, príp. empirickými závislosťami. Údaje z terénnych meraní zároveň poskytujú informácie, ktoré rozširujú platformu poznania.

Záver

Príspevok sa venuje stručnému zosumarizovaniu základných pojmov a variant riešenia úloh spojených s modelovaním kvality vody a transportu znečistenia v povrchových tokoch. Najdôležitejším dôvodom zhoršenej kvality vody je konflikt záujmov vygenerovaný protichodnými spôsobmi využívania vodných útvarov človekom. Na jednej strane je potreba dostatku kvalitnej vody a na druhej jej znehodnocovanie a nedostatočná ochrana.

Znečistenie sa do vodného útvaru môže dostať z viacerých zdrojov. Najvýznamnejším bodovým zdrojom znečistenia je znečistenie z mestských a priemyselných odpadových vôd. Najväčším producentom nebodového (plošného) znečistenia je poľnohospodárska činnosť v povodí toku, najmä aplikácia hnojív, ktoré sa neskôr dostávajú aj do samotného povrchového toku. Množstvo znečistenia, ktoré sa takto dostáva do tokov, je ťažko merateľné a komplikované na opis. Preto je potrebné sa v budúcnosti venovať hlavne tomuto aspektu transportu znečistenia v povodí a toku.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA v rámci riešenej grantovej úlohy č. VEGA 1/0805/16 „Lokalizácia bodových zdrojov havarijného znečistenia vodných tokov na základe údajov z on-line monitoringu“, ako aj vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre dopytovo orientovaný projekt: Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia ITMS 262401200004, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Bujnovský, R. (2011): Požiadavky a opatrenia na ochranu vodných zdrojov pred znečistením z poľnohospodárstva v zmysle Dusičnanovej smernice EÚ. 1. vydanie. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2011. 30 s. ISBN 978-80-89128-88-4.
- Fischer, H. B., List, J. E., Koh, C. R., Imberger, J., & Brooks, N. H. (1979): Mixing in Inland and Coastal Waters. New York: Academic Press. 483 s. ISBN 0-12-258150-4.
- Holubec, M. a kol. (2002): Gabčíkovo – rozšírenie vodného zdroja: záverečná výskumná práca. Bratislava: VÚVH, 2002.
- Klinda, J., a kol. (2009): Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2009. 1. vydanie. Bratislava: MŽP SR, Banská Bystrica: Slovenská agentúra

- životného prostredia, 2009. 280 s. ISBN 978-8088833-54-3.
- Kolkwitz, R., Marsson, M. (1909): Ökologie der tierischen Saprobien. *Int. Rev. Hydrobiologie*, 2: 126–152.
- Kožíšek, F., Kos, J., Pummann, P. (2007): Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. [cit. 2017-03-22]. Dostupné na: <http://sdu.sk/1MZnZBiYG>
- Mase, G., E. (1970): Theory and problems of continuum mechanics, McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.
- Mendel, O., Pekár, J., Pekárová, P. (1992): Modelovanie priečneho šírenia sa kontinuálneho znečistenia vody v toku Ondava. *Vodohospodársky časopis*, 40(2), 113 – 134. ISSN 0042/790X
- Nariadenie Vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.
- Nordin, C., Troutman, B. (1980): Longitudinal dispersion in rivers: The persistence of skewness in observed data. *Water Resources Res.*, 16(1), 123 – 128.
- Pantle, R., Buck, H. (1955): Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *GWF*, 96, 604 – 607.
- Pekárová, P., Velísková, Y., (1998): Modelovanie kvality vody v povodí Ondavy. Bratislava: VEDA, nakladateľstvo SAV.
- Pekárová, P., Onderka, M., Pekár, J., Rončák, P., Miklánek, P. (2009): Prediction of Water Quality in the Danube River under Extreme Hydrological and Temperature Conditions. *J. Hydrol. Hydromech.*, 57, 1, 3 – 15.
- Říha, J., Doležal, P., Jandora, J., Ošlejsková, J., Ryl, T. (2002): Jakost vody v povrchových vodních tocích a její matematické modelování. Vydavatelství NOEL 2002 s.r.o. Brno. 269 s. ISBN 80-86020-31-2.
- Sládeček, V. (1967): The ecological and physiological trends in the saprobiology. *Hydrobiologia* 30, 513 – 526.
- Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia Spoločnosti v oblasti vodného hospodárstva, tzv. „Rámcová smernica o vodách“.
- STN 75 7221. Kvalita vody. Klasifikácia kvality povrchových vôd.
- Streeter, H., W., Phelps, E., B. (1958): A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River [online]. U.S. Department of Health, Education, & Welfare. 1958. 80 s. [cit. 2017-04-02]. Dostupné na: <http://sdu.sk/k5jvilk>
- Taylor, I. G. (1921): Diffusion by Continuous Movements. London: Proc. Lond. Math. Soc.
- Taylor, I. G. (1953): Dispersion of Soluble Matter in Solvent Flowing Through a Tube. London: Proc. R. Soc.
- Taylor, I. G. (1954): The Dispersion of Matter in Turbulent Flow Through a Pipe. London: Proceedings of the Royal Society of London, Series 223-A, 446 – 468.
- Velísková, Y. (2001): Charakteristiky priečneho zmiešavania v povrchových tokoch: Prehľad experimentálne získaných hodnôt. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2(2), 294 – 301.
- Velísková, Y., Sokáč, M., Halaj, P. (2014): Disperzia v povrchových tokoch – meranie a modelovanie. Vydavateľstvo ARDEC, s.r.o. Brno. 2014. 118 s. 978-80-86020-808.
- Velísková, Y., Kohutiár, J. (1992): Určenie koeficientov priečneho zmiešavania v širokých plytkých tokoch. *Vodohospodársky časopis*. 40, 1992, č. 6, 506 – 516 ISSN 0042/790X
- Velísková, Y., Sokáč, M. (2011): Rate of Longitudinal Dispersion as Impact Factor of Water Quality Management Tools. In XXVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management: Conference Proceedings. Editors Gábor Bálint, Miklós Domokos. - Budapest: 2011. VITUKI, 1 – 13.
- Zelinka, M., Marvan, P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer“. *Arch. Hydrobiol.*, 57: 159 – 174.

POLLUTION TRANSPORT IN SURFACE STREAMS – ELEMENTARY TERMS AND PRINCIPLES OF MODELING

Water quality degradation, not just in Slovakia, but in the whole world is the big environmental problem for recent population. Main reason of recent state is increasing population density and urbanization along rivers. Surface streams are used like waste water recipients, but on the other hand also like sources for agricultural and industrial using or for drinking-water supply. Thus, we can see conflict of interests here. Waste materials can have different level of risk for natural water environment. Some pollutants get into rivers unintentionally, but in some cases intentionally. Sources of pollutants are divided to point and nonpoint one (diffuse pollution). Point source of pollutant means, that the place of pollutant outlet to the stream can be located like one point along the stream. Nonpoint sources of pollutants cannot be located by one point localization, in general pollutant comes to the stream

along some part(s) of stream bank. In the past, the most significant sources of pollutants were considered point sources. Typical example of pollution point source is urban and industrial waste water outlet. After the installation of treatment plants of urban and industrial wastes waters, nonpoint sources of pollution has happened like a significant ones. The most important nonpoint source of pollution is represented by agricultural land using. The most important elements of diffuse pollution are insolubility substances, nutrients and toxic substances (nitrates, nitrites, phosphates, chlorides, sulphates). Pollutant substance gets into the surface streams by transport processes and its spreading in a stream is due to so-called mixing processes. The first and the most important mechanism of pollutant transport from one place to another by fluid flow is advection, which the

water particles are described as elementary trucks conveying the pollutant particles along the relevant streamlines. The advection transport depends on water velocity.

Dispersion is processes that consist of molecular and turbulent diffusion. Molecular diffusion is described by Fick's law that says that diffuse flux is directly perpendicular of concentration gradient in given direction. Molecular diffusion we can visualise like molecular random walk. The rate of it depends on the fluid, the size of particles, density and temperature of the fluid. Molecular diffusion is relevant in the cases with zero flow velocity, mainly in lakes or reservoirs. On other sides, with increasing flow velocity the prevailing process in pollution spreading in surface streams is a turbulent diffusion. The process of pollution mixing in surface streams consists with four phases, whereas the concentration of pollution in streams going to lower with time. Spreading of pollution in natural river can be adequately considered as a two-dimensional

task: mixing processes are reduced to the transverse and longitudinal direction. Longitudinal dispersion is spreading of the substances in a direction parallel to the axis of flow. Transversal dispersion is spreading of the substances in a direction perpendicular to the current flow. Typical approach in solution of pollution spreading in surface streams is modelling. In general, we know mathematical and numerical models. Mathematical models can be divided into two groups: models which use statistical approach (models based on the analysis time series) and models which use hydrodynamic approach (models based on the hydrodynamics approach). Hydrodynamic approach is based on advection-dispersion equation (Eq.4).

Knowledge about pollutant spreading processes in natural river and hydrological basins are the essential basis of effective control strategies development and management of water sources quality, so it is necessary to continue development of these knowledge in the future.

Mgr. Cyril Siman
Ing. Yvetta Velísková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta 9
841 04 Bratislava
Slovenská republika
Tel.: +421(2) 49 268 259
E-mail: siman@uh.savba.sk