

**MATEMATICKÁ SIMULÁCIA SCENÁROV  
VÝVOJA KVALITY VODY V RIEKE DRÁVA**

Marek Sokáč, Marta Jerković, Lidija Tadić

V príspevku je opísaný simulačný model kvality vody v dolnej časti toku Dráva (Chorvátsko), priestorový rozsah modelu, ako aj modelovanie fyzikálnych, chemických a biologických procesov vo vodnom toku pomocou numerického modelu MIKE 11 (Dánsky hydraulický inštitút, DHI). Hlavným cieľom bola simulácia kvality vody a jej zmien po dĺžke toku pre kvázi ustálený stav prietokov v dvoch scenároch krátkodobých zmien kvality vody. V scenári 1 sme simulovali dvojdňový výpadok čistenia odpadových vôd z aglomerácie Belišće, v druhom scenári sme simulovali vplyv odľahčených odpadových vôd z aglomerácie Osijek. Model bol použitý na modelovanie dopadov bodových zdrojov znečistenia a ich vplyvov na kvalitu vody v rieke Dráva.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** kvalita vody, numerické modelovanie, bodové zdroje znečistenia

**MATHEMATICAL SIMULATION OF WATER QUALITY SCENARIOS IN THE DRAVA RIVER.**  
A simulation model for water quality in the river Drava is presented in this paper, including the space extent of the model, modelling of physical, chemical and biological processes in the river, as well. Simulation of water quality was performed using the software MIKE 11 (Danish Hydraulic Institute). The main goal of the study was the simulation of the water quality for quasi-steady state in two scenarios of the short-term changes in water quality. We simulated in scenario no. 1 two-day failure of the waste water treatment plant in the agglomeration Belišće, in the second scenario, we simulated the impact of waste water from combined sewer overflows in the Osijek agglomeration. The model was used for modelling of various impacts of pollution point sources on the water quality in the Drava river.

**KEY WORDS:** water quality, numerical modelling, point source pollution

## Úvod

Matematické modely predstavujú výkonný a silný nástroj v oblasti manažmentu vo vodnom hospodárstve. Je možné ich využiť na komplexné prognózovanie vývoja množstva a kvality vôd, ale aj na posúdenie dopadov jednotlivých vodohospodárskych opatrení na vodných tokoch.

Príspevok je venovaný riešeniu dopadov vodohospodárskych opatrení na kvalitu vody v recipiente – rieke Dráva pomocou numerického modelu MIKE 11. Išlo o rozsiahlu obnovu kanalizácie mesta Osijek (SV Chorvátska) vrátane výstavby novej čistiarne odpadových vôd

MIKE 11 je jednodimenzionálny modelový nástroj, umožňujúci numerickú simuláciu neustáleného a nerovnomerného prúdenia pre detailné posúdenie návrhu

jednoduchých i zložitých riečnych a kanálových systémov. MIKE 11 obsahuje niekoľko modulov pre: hydrodynamiku (základný modul), hydrológiu, a transport kohéznych sedimentov, kvalitu vody, transport nekohéznych sedimentov. Vzhľadom na typ úlohy, pre ktorú sme využili tento model, sme použili hydrodynamický modul a modul pre advekčno – disperzný transport. Základným výpočtovým modulom modelu je hydrodynamický modul, bez ktorého nie je možné spustiť iné výpočtové moduly. Modul simuluje neustálené prúdenie v tokoch metódou konečných diferencií pomocou implicitnej výpočtovej schémy.

Predpoklady, použité v modeli - ideálne zmiešavanie a homogénne rozdelenie látok v pričnom profile implicitne vyplývajú z jednorozmerného opisu modelovanej oblasti v modeli MIKE 11. Takýto jednorozmerný prístup je namieste vtedy, ak prevláda jeden rozmer nad

ostatnými (teda napr. rieka, kde dĺžka je rozhodujúci rozmer) a nezaujímá nás fáza priečného zmiešavania v toku.

### Priestorový rozsah modelu

Rieka Dráva pramení v talianskych Alpách a pokračuje východným smerom do Rakúska a Slovinska. Tu sa jej tok dostáva do Stredodunajskej roviny a pokračuje územím Chorvátska, kde tvorí prirodzenú hranicu s Maďarskom. Východne od mesta Osijek sa pravostranne vlieva do Dunaja. Dĺžka rieky je 749 km a plocha povodia je 40 400 km<sup>2</sup>, priemerný ročný prietok pri ústí Drávy do Dunaja je približne 580 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Z priestorového hľadiska sme modelovali časť toku Dráva od rkm 69,118 (pod monitorovacím profilom č. 29 111 medzi obcami Donji Miholjac a Podravski Podgajci) po ústie do Dunaja (rkm 0,000), teda úsek, v ktorom sa tok rieky Dráva pred ústím odkláňa od štátnej hranice s Maďarskom a preteká územím Chorvátskej republiky. Rieka Dráva má v tomto úseku charakter meandrujúceho toku s množstvom bočných ramien, ale bez veľkých prítokov.

Definíciu trasy koryta toku sme vykonali v grafickom editore simulačného programu MIKE 11. Ako podklad sme použili digitalizované mapy vo formáte dwg, ktoré sme získali od správcu toku. Do podkladu sme zadávali všetky lomové body trasy toku, ako aj body, v ktorých sú bočné prítoky alebo zaústenia, výusty, prípadne iné objekty na toku.

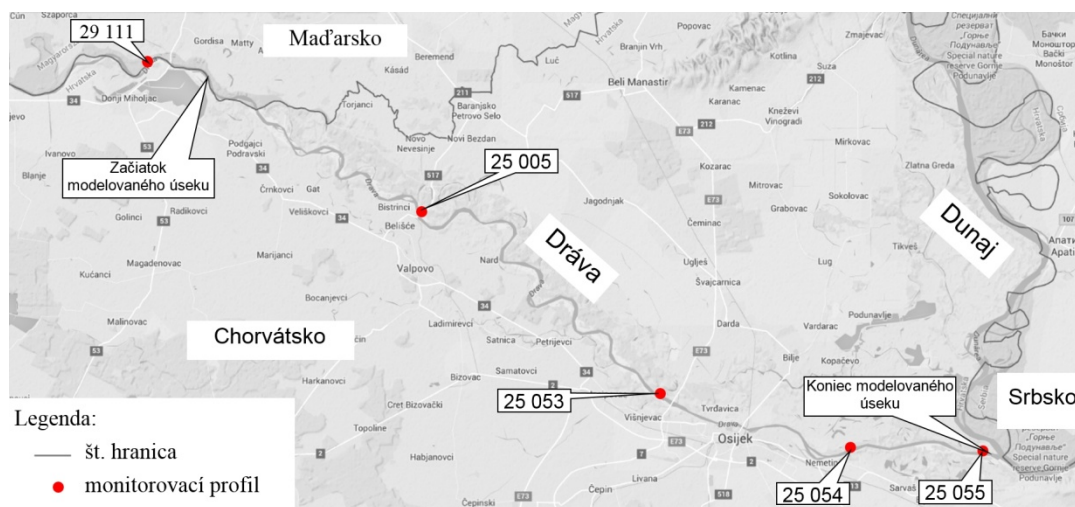
Priečne profily v simulovanom úseku toku sme definovali sústavou súradníc (šírka a hĺbka), pričom bolo potrebné zadať aj nadmorskú výšku súradnice a staničenie (riečny kilometer) daného priečného profilu. Pri zadávaní priečných profilov sme tiež vychádzali z podkladov správcu toku (k dispozícii sme mali priečne profily vo vzdialenostiach každých 500 m). Na modelovanom úseku toku sa nenachádzajú prítoky väčších riek, ktoré by výrazne ovplyvnili množstvo alebo kvalitu vody.

Pre modelovaný úsek toku sme nemali k dispozícii dostatočné množstvo informácií o hydraulických parametroch toku (napr. koeficienty drsnosti), takisto ani o parametroch, opisujúcich fyzikálne, chemické a biologické procesy v toku (koeficienty disperzie, reaerácie, dezoxigenácie a pod.), preto pri modelovaní kvality vody sme vchádzali hlavne z údajov monitoringu.

### Okrajové a počiatkové podmienky

Modely kvality vody v tokoch sa obvykle využívajú na riešenie, prípadne predikciu nepriaznivých stavov na toku, ktoré sa vyskytujú hlavne pri malých prítokoch. V tejto práci sme pri simulácii uvažovali s dvoma scenármi. Pri oboch scenároch sme predpokladali s ustáleným prietokom na úrovni blízko minimálneho prietoku  $Q_{min.} = 152 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tento prietok bol definovaný ako horná okrajová podmienka v profile rkm 69,118. Dolná okrajová podmienka bola definovaná ako konštantná hladina vody na úrovni 79 m n.m. (ústie rieky Dráva do Dunaja, rkm 0,543).

Pretože cieľom práce bolo modelovanie kvality vody, bolo nutné v týchto miestach zadať aj koncentrácie látok, vstupujúcich do modelovanej oblasti. Zadanie bolo potrebné pre každú stavovú premennú, s ktorou sa v modeli kvality uvažuje pri simulácii. Pri zadávaní sme použili hodnoty  $c_{90}$  z monitorovacej stanice Donji Miholjac (monitorovací profil č. 29 111 na obr. č. 1), teda hodnoty kvalitatívnych ukazovateľov, zodpovedajúcich 90%-nému kvantilu pravdepodobnosti neprekročenia (nepodkročenia pre O<sub>2</sub>) danej koncentrácie látky v toku. Na simuláciu kvality vody sme použili model, umožňujúci modelovanie koncentrácií rozpusteného kyslíka (O<sub>2</sub>), amoniakálneho dusíka (NH<sub>4</sub>-N), dusičnanového dusíka (NO<sub>3</sub>-N), biochemickej spotreby kyslíka (BSK<sub>5</sub>) a fosforu (P) v rozpustenej a nerozpustenej forme vrátane oneskorenej spotreby kyslíka (model kvality vody č. 5, WQ level 5). Hodnoty kvalitatívnych parametrov vody uvádzame v tab. č. 1.



Obr. 1. Modelovaný úsek s vyznačením monitorovaných profilov.

Fig. 1. Modelled river section with monitoring profiles.

**Tabuľka 1. Hodnoty vstupných koncentrácií modelovaných chemických ukazovateľov kvality vody****Table 1. Input concentration values of the modelled pollution parameters**

Ukazovateľ	Jednotka	Hodnota
Rozpustený kyslík O <sub>2</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	8.28
Teplota vody	°C	22.7
Amoniakálny dusík (NH <sub>4</sub> -N)	mg.l <sup>-1</sup>	0.29
Dusičnanový dusík (NO <sub>3</sub> -N)	mg.l <sup>-1</sup>	2.89
Fosfor rozpustený - P	mg.l <sup>-1</sup>	0.17
Fosfor partikulárny -P	mg.l <sup>-1</sup>	0.02
Biochemická spotreba kyslíka - BSK <sub>5</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	5.57

Doľná okrajová podmienka bola definovaná v staničení 0,543 rkm a bola zadaná vo forme tzv. otvorenej okrajovej podmienky, čo je fakticky zadanie tejto podmienky bez konkrétnych hodnôt (kontroluje sa iba zachovanie celkovej bilancie znečistenia).

Podobným spôsobom bolo potrebné zadať koncentrácie znečisťujúcich látok vo všetkých profiloch s výustmi bodových zdrojov znečistenia do rieky, v našom prípade výustenia z ČOV Belišče a Osijek (body č. 2 a 4 na obr. č. 2) a odľahčovacích komôr na stokovej sieti mesta Osijek (bod č. 3 na obr. č. 2).

### Modelované scenáre

Pri formulácii úloh sme sa rozhodli modelovať dva rôzne scenáre udalostí v oblasti modelovaného úseku rieky. Prvým scenárom bola fiktívna extrémna situácia – výpadok (porucha) čistiarnie odpadových vôd (ČOV) v meste Belišče (rkm 54,373), v dôsledku čoho by sa nečistené odpadové vody z domácností a papierenského priemyslu dostávali bez čistenia priamo do rieky Dráva. Druhý scenár bol zameraný na analýzu nakladania s dažďovými vodami v meste Osijek.

#### Scenár 1

Ako sme už uviedli, v tomto scenári sme predpokladali výpadok ČOV v meste Belišče (zdroj znečistenia č. 2 na obr. 2). Výpadok ČOV sme predpokladali v trvaní 2 dní počas minimálnych prietokov v rieke. Odtok odpadových vôd z tejto ČOV je 0,097 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, hodnoty koncentrácií modelovaných parametrov uvádzame v tab. č. 2. Údaje o tejto ČOV sú z r. 2010, a ako je vidieť z tabuľky, táto komunálna ČOV bola v tomto období látkovo aj hydraulicky preťažená, pravdepodobne priemyselnými vodami z papierenského priemyslu (svedčia o tom vysoké hodnoty BSK<sub>5</sub> na odtoku z ČOV – 393,2 mg.l<sup>-1</sup>, pozri tab. č. 2).

#### Scenár 2

V tomto scenári sme simulovali vplyv zmiešaných

odpadových vôd, odľahčených počas dažďa z odľahčovacích komôr na stokovej sieti mesta Osijek. V meste je celkovo 8 výustov odľahčovacích komôr do rieky Dráva, kvôli zjednodušeniu sme odtok z nich sústredili do troch bodov (pozri obr. č. 2 a 3). Pri simulácii tohto scenára sme vychádzali z práce (Krsnik, 2011), ktorý v rámci tejto práce vykonal monitoring dažďových vôd v stokovej sieti mesta Osijek, ako aj štatistické vyhodnotenie zrážkomerných údajov zo stanice GMS Osijek z historického radu zrážkomerných údajov, zaznamenaného v rokoch 1959 - 1991.

Vzhľadom na skutočnosť, že prietok odľahčených vôd je závislý od intenzity zrážky, simulovali sme viacero alternatív s rôznou periodicitou a trvaním zrážky. Prehľad použitých trvaní, doby opakovaní a náhradných výdatností dažďov uvádzame v tab. 3.

Celková plocha povodia, odvodňovaná stokovou sieťou je 7,56 km<sup>2</sup>, vrcholový odtokový súčiniteľ sme uvažovali podľa (Krsnik, 2011) hodnotou  $\psi = 0,36$ . Časový priebeh odtoku a odľahčenia zo stokovej siete nebol simulovaný, dĺžku trvania odľahčenia sme uvažovali rovnakú, ako bola doba trvania dažďa. Uvažovali sme s blokovými dažďami, t.j. s konštantnou výdatnosťou dažďa (pozri tab. 3) počas celej doby jeho trvania. Prietok odľahčených vôd sme potom vypočítali jednoduchou hydrologickou metódou, t.j. vynásobením plochy výdatnosťou dažďa a odtokovým koeficientom, takže tento prietok bol konštantný počas celej zrážkovej udalosti a jeho trvanie bolo rovnaké ako trvanie dažďa.

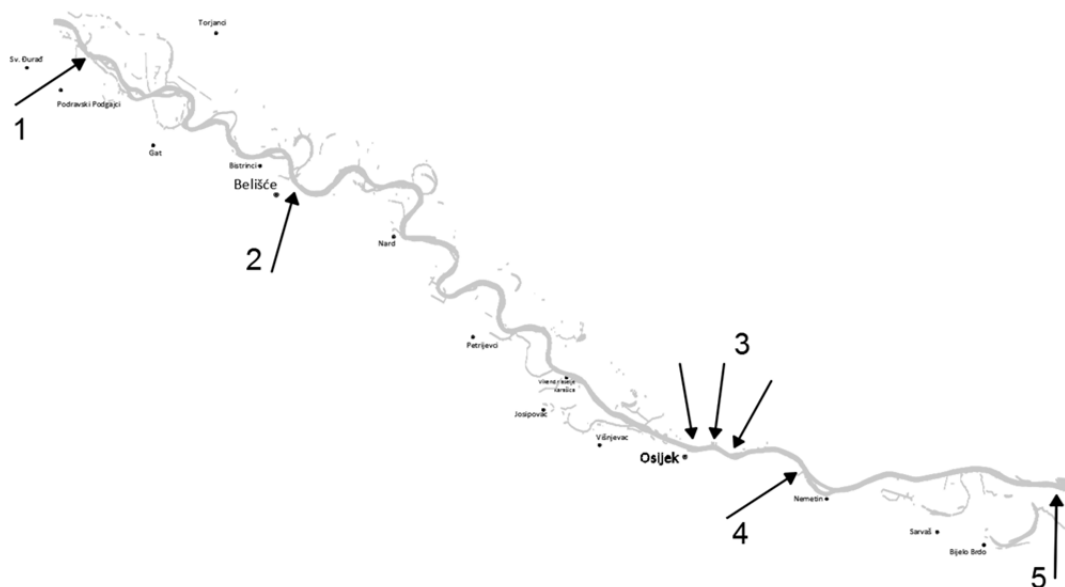
Pre tento scenár sme nemali k dispozícii priame merania ukazovateľov znečistenia odľahčených odpadových vôd zo stokovej siete mesta Osijek. Preto sme použili hodnoty, získané počas prieskumu, zameraného na prieskum odľahčovacích komôr (OK) v SR (Sztruhár et al., 2002). V rámci tohto prieskumu bolo preskúmaných vyše 300 OK. V ôsmich OK bol vykonaný dlhodobý monitoring zrážok, prietokov a štatisticky boli vyhodnotené priemerné koncentrácie odľahčených vôd počas zrážkovej udalosti. Hodnoty, použité v numerickej simulácii, uvádzame v tab. 4.

Pri simulácii kvality vody zvolenou úrovňou komplexnosti modelu boli simulované nasledovné procesy:

1. Reaerácia,
2. Degradácia organických látok - okamžitá spotreba kyslíka,
3. Nitrifikácia,
4. Denitrifikácia.

Modul kvality vôd vyžaduje od užívateľa okrem definície okrajových a počiatkových podmienok aj

údaje, potrebné pre definíciu kinetiky jednotlivých procesov, prebiehajúcich vo vodnom toku. Jednotlivé koeficienty, ovplyvňujúce kinetiku procesov sme kalibrovali tým spôsobom, že sme ich hodnoty menili tak, aby sme pri simulácii ustáleného stavu dostali v koncovom úseku modelovaného úseku toku (bod č. 5, obr. 2) hodnoty, zodpovedajúce hodnotám z monitoringu kvality vody.



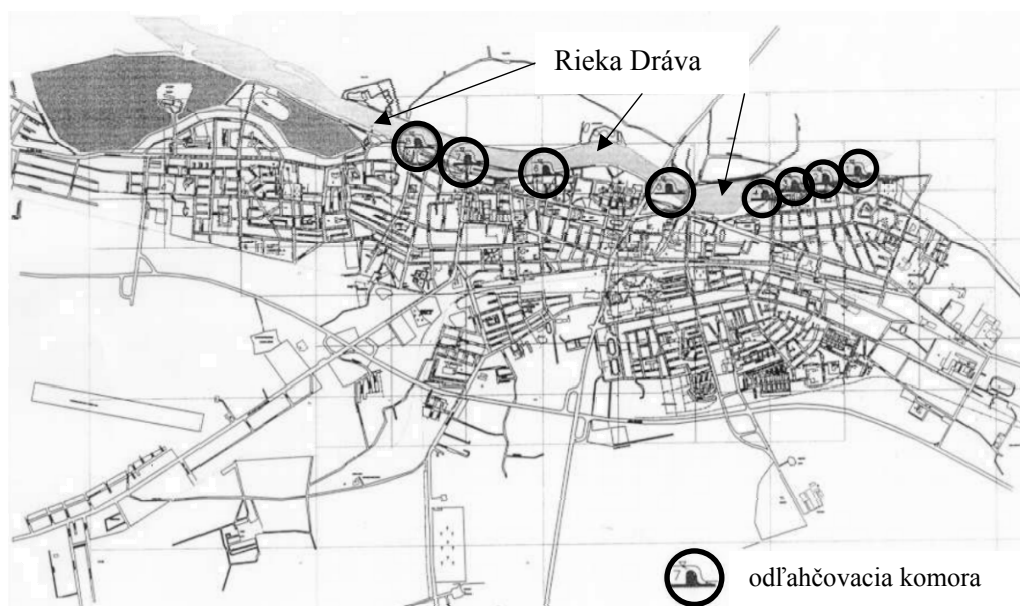
Obr. 2. Modelovaná oblasť s vyznačením miest zdrojov znečistenia (2, 3,4) a okrajových podmienok (1, 5).

Fig. 2. The modelled river section showing location of pollution sources (Nr. 2-4) and boundary conditions (1, 5).

Tabuľka 2. Hodnoty koncentrácií modelovaných chemických ukazovateľov kvality vody na odtoku z ČOV Belišće

Table 2. Output concentration values of the modelled pollution parameters – outflow from WWTP Belišće

Ukazovateľ	Jednotka	Koncentrácia vyčistených vôd	Koncentrácia nevyčistených vôd
Rozpustený kyslík O <sub>2</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	2	2
Teplota vody	°C	26	26
Amoniakálny dusík (NH <sub>4</sub> -N)	mg.l <sup>-1</sup>	15	30
Dusičnanový dusík (NO <sub>3</sub> -N)	mg.l <sup>-1</sup>	7	24
Fosfor rozpustený - P	mg.l <sup>-1</sup>	3.7	27
Fosfor partikulárny -P	mg.l <sup>-1</sup>	0.6	1,1
Biochemická spotreba kyslíka - BSK <sub>5</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	393.2	1867



Obr. 3. Umiestnenie výustov odľahčovacích komôr na stokovej sieti mesta Osijek (Krsnik, 2011).

Fig. 3. Localisation of combined sewer overflows (CSO's) in the town Osijek (Krsnik, 2011).

Tabuľka 3. Použité doby opakovania, trvanie a náhradné výdatnosti dažďov zo zrážkomernej stanice GMS Osijek (1959 -1991) (Krsnik, 2011)

Table 3. Used return periods, durations and rainfall intensities from station GMS Osijek (1959 -1991) (Krsnik, 2011)

Výdatnosť dažďa ( $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ )					
Doba opakovania / Trvanie dažďa	1 rok	3 roky	5 rokov	10 rokov	20 rokov
30 min.	35	102	123	153	187
60 min.	18	60	75	95	117
120 min.	13	32	42	53	66
240 min.	8	20	24	30	36

Tabuľka 4. Hodnoty koncentrácií modelovaných chemických ukazovateľov kvality odľahčených odpadových vôd zo stokovej siete mesta Osijek (Sztruhár et al., 2002)

Table 4. Output concentration values of the modelled pollution parameters – outflow from CSO Osijek (Sztruhár et al., 2002)

Ukazovateľ	Jednotka	Koncentrácia
Rozpustený kyslík $O_2$	$mg \cdot l^{-1}$	2
Teplota vody	$^{\circ}C$	25
Amoniakálny dusík ( $NH_4-N$ )	$mg \cdot l^{-1}$	6.21
Dusičnanový dusík ( $NO_3-N$ )	$mg \cdot l^{-1}$	1.28
Fosfor rozpustený - P	$mg \cdot l^{-1}$	2.37
Fosfor partikulárny –P	$mg \cdot l^{-1}$	0.26
Biochemická spotreba kyslíka - $BSK_5$	$mg \cdot l^{-1}$	175

## Výsledky a diskusia

### Scenár 1

Prvotnou úlohou pre simuláciu znečistenia v toku Dráva bolo úspešná simulácia hydrodynamiky prúdenia vody v modelovanom úseku toku. Všetky simulácie boli vykonané za predpokladu ustáleného stavu v rieke Dráva pri  $Q_{min}$ . Výsledky simulácie (priebeh výšky vodnej hladiny) uvádzame na obr. 4.

Simulácia šírenia sa znečistenia podľa scenára 1 je dokumentovaná na obr. č. 5. Začiatok výpadku ČOV nastal virtuálne 6.1.2015 o 0:00 hod a trval 2 dni. V dôsledku zlyhania ČOV sa začali nečistené odpadové vody dostávať do rieky, čo sa prejavilo postupným zvýšením koncentrácie znečisťujúcich látok. Tento proces je dokumentovaný na obr. č. 5, ktorý zachytáva stav 6.1.2015 o 07:39 hod. ráno, t.j. 7,65 hodiny po začiatku havárie. Zvýšené koncentrácie sa tu už prejavili na úseku toku približne od rkm 55,0 po 40,0. Zvýšenými koncentraciami znečisťujúcich látok bol potom postupne zaťažený celý úsek toku pod ČOV Bélišce (pozri čiara max. koncentrácií na obr. 5). Podobné výsledky sme dostali aj pre ostatné znečisťujúce látky, ako príklad uvádzame na obr. 6 priebeh koncentrácií amoniakálneho dusíka. Vplyv vypúšťania nevyčistených odpadových vôd na kvalitu vody v rieke Dráva bol rôzny a závisel najmä od pomeru koncentrácie jednotlivých ukazovateľov znečistenia nečistených odpadových vôd ČOV Bélišce (pozri tab. 2) ku koncentracii tohto ukazovateľa v rieke. Najväčší nárast koncentrácie oproti vstupnej koncentrácii v rieke (pozri tab. 1) bol v ukazovateli BSK<sub>5</sub> (približne 22 %), ďalej v ukazovateli rozpustený fosfor a amoniakálny dusík (10, resp. 7 %). Tento výsledok má príčinu v extrémne vysokom zaťažení ČOV Bélišce organickým znečistením (BSK<sub>5</sub>, N-

NH<sub>4</sub>, P) pochádzajúcimi z priemyselných odpadových vôd zo spracovania papiera a celulózy.

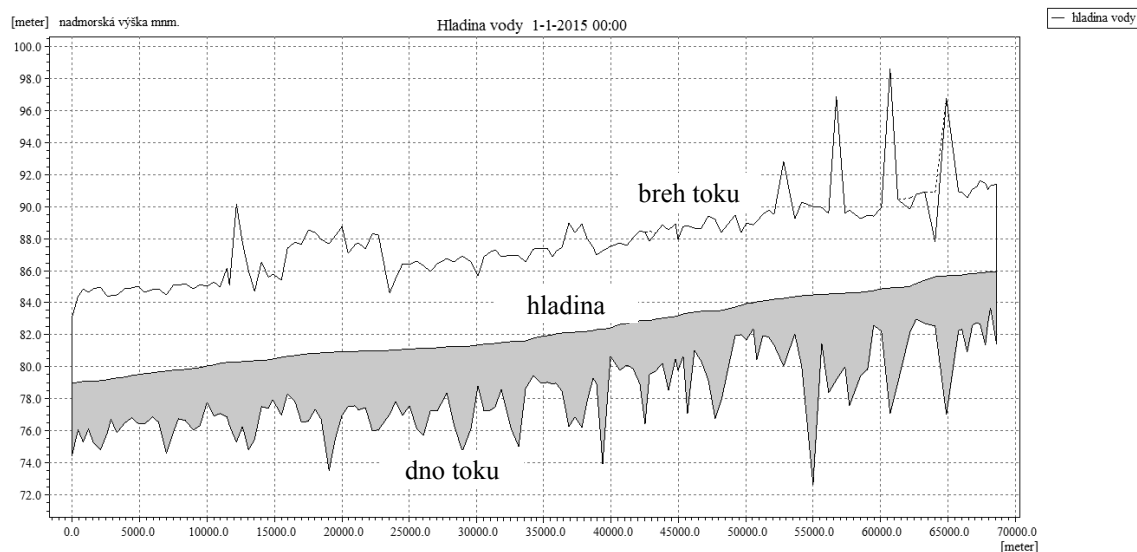
### Scenár 2

V tomto scenári ide o diskontinuálny prípad vypúšťania odpadových vôd, ktorý sa v praxi veľmi často vyskytuje - hydraulické odľahčenie odpadových vôd zo stokových sietí počas privalových dažďov cez tzv. odľahčovacie komory na stokových sieťach. Ide o pomerne krátkodobé, o to však intenzívnejšie hydraulické a látkové zaťaženie recipientu, závislé od intenzity a doby trvania zrážky.

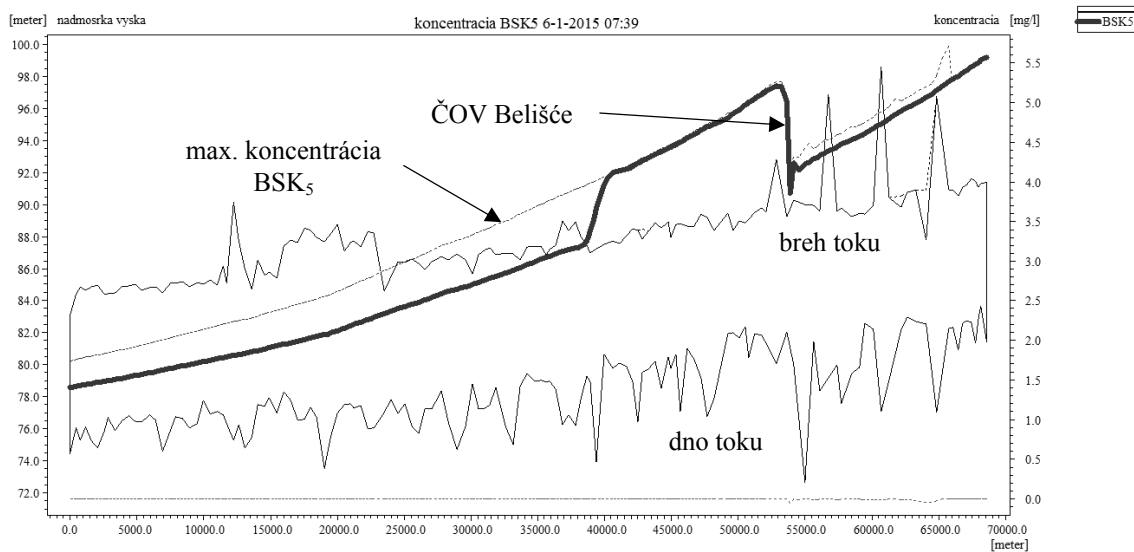
Virtuálne sme nastavili začiatok dažďa takisto na 6.1.2015 00:00 hod. Dažde mali rôznu dobu trvania a rôznu periodicitu; výsledky simulácií dokumentujeme na nasledovných obrázkoch: na obr. č. 7 je priebeh koncentrácií znečistenia – BSK<sub>5</sub> po zaťažení povodia 30 minútovou zrážkou s dobou opakovania 10 rokov ( $p=0,1$ ), obr. 8 ukazuje koncentrácie NH<sub>4</sub>-N pri 240 – minútovom daždi s rovnakou dobou opakovania. Obrázky ukazujú iba úsek toku pod mestom Osijek od rkm 24,0 po ústie toku do Dunaja (rkm. 0,0).

Rozdielne účinky zaťaženia recipientu – rieky Dráva jednotlivými znečisťujúcimi látkami je možné vyjadriť tzv. IDF krivkami (Intensity – Duration - Frequency). Na ilustráciu výsledkov uvádzame na obr. 9 IDF krivky zaťaženia toku amoniakálnym dusíkom NH<sub>4</sub>-N pre zaťaženie toku dažďami z rôznou dobou trvania a dobou opakovania 10 rokov.

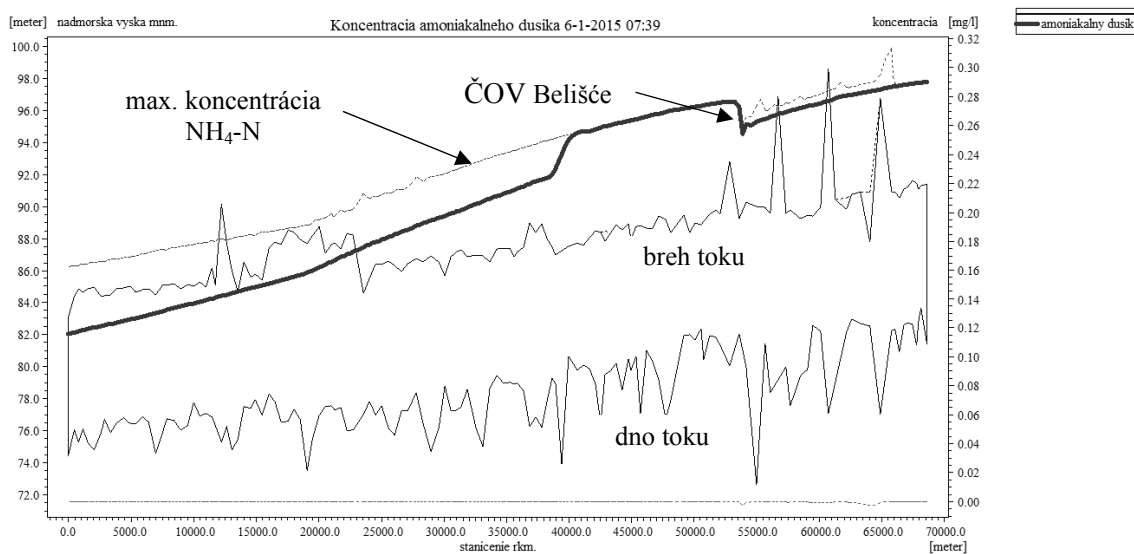
Z obr. 9 je zjavné, že intenzívny krátkodobý dážď spôsobí väčšie, ale iba krátkodobé zaťaženie rieky zvýšenými koncentraciami znečisťujúcich látok, zatiaľ čo pri dlhotrvajúcom daždi je pôsobenie znečisťujúcich látok nižšie, ale dlhodobejšie.



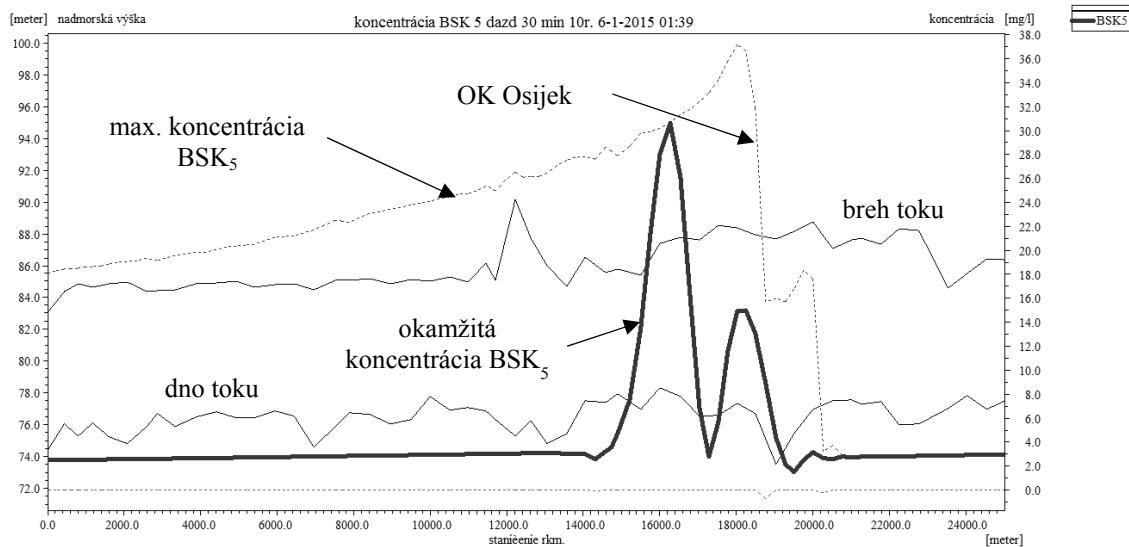
Obr. 4. Priebeh hladín v modelovanom úseku rieky Dráva pri  $Q_{min}$ .  
Fig. 4. Water level in modelled Drava river section –  $Q_{min}$ .



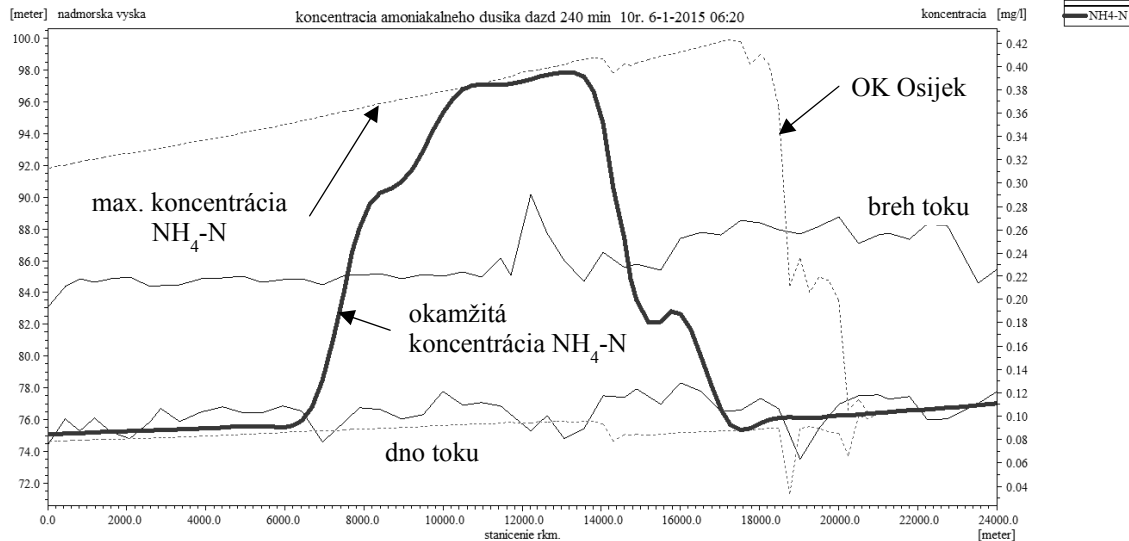
Obr. 5. Modelovaná koncentrácia BSK<sub>5</sub> v rieke Dráva – scenár 1.  
 Fig. 5. Modelled BOD concentration in the Drava river – scenario 1.



Obr. 6. Modelovaná koncentrácia amoniakálneho dusíka v rieke Dráva – scenár č. 1.  
 Fig. 6. Modelled ammonia nitrogen concentration in Drava river – scenario Nr. 1.

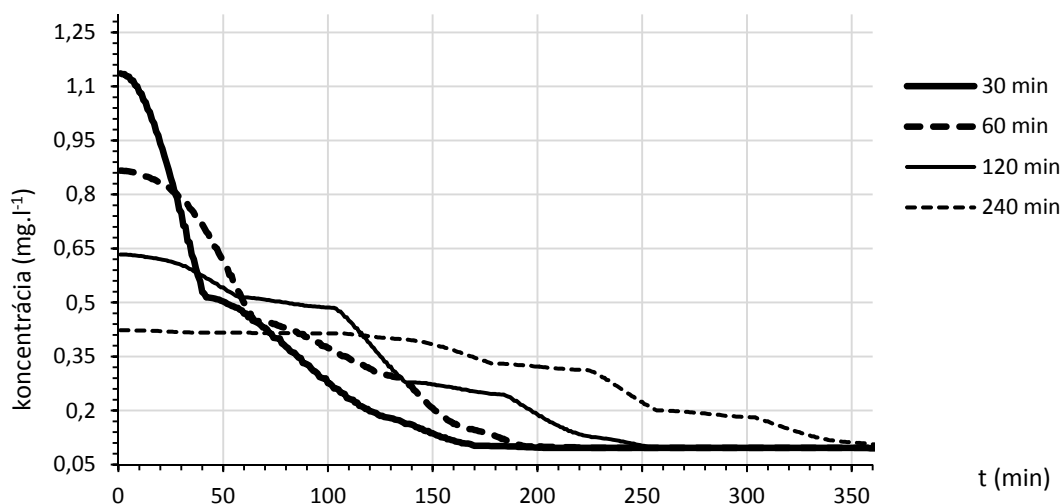


Obr. 7. Priebek koncentrácie  $BSK_5$  v modelovanej oblasti rieky Dráva – scenár 2 (30 minútový dážď, doba opakovania 10 r.).  
 Fig. 7. Modelled  $BOD_5$  concentrations in Drava river for the scenario 2 (rain duration 30 mins., return period 10 y.).



Obr. 8. Priebek koncentrácie amoniakálneho dusíka  $N-NH_4$  v modelovanom úseku rieky Dráva – scenár 2 (240 minútový dážď, doba opakovania 10 r.).  
 Fig. 8. Modelled ammonia nitrogen concentrations in the Drava river section for the scenario 2 (rain duration 240 mins., return period 10 y.).





Obr. 9. IDF krivka koncentrácie amoniakálneho dusíka  $N-NH_4$  v modelovanej oblasti rieky Dráva – scenár č. 2 (doba opakovania 10 r., rkm. 17.825).

Fig. 9. IDF curve of ammonia nitrogen concentrations in Drava river for the scenario Nr. 2 (return period 10 y., river km. 17.825).

Faktorom, ktorý určite nepriaznivo ovplyvnil výsledky simulácie je fakt, že model nebol kalibrovaný, najmä čo sa týka advekčno-disperzných koeficientov a koeficientov, určujúcich kinetiku biochemických procesov v toku. Ako sme zistili v priebehu simulácie, resp. z iných modelových štúdií alebo opisu modelov, (Jolánkai, 1997, Benedini, 2013, Sokáč, 2010), významný vplyv majú aj iné veličiny, ako napr. sedimentačná rýchlosť nerozpustených látok, resp. hraničná rýchlosť, pod ktorou nastáva sedimentácia. Pri vyšších rýchlostiach naopak môže dôjsť k resuspencii dnových nekohezívnych sedimentov.

### Záver

Pri modelovaní kvality vody v rieke sme dospeli k záveru, že znečistenie v rieke Dráva je likvidované najmä samočistiacou schopnosťou samotného toku a zmiešavaním v dôsledku hydrodynamickej disperzie. Vzhľadom na absenciu väčších prítokov v modelovanom úseku rieky Dráva sa zriadenie podieľalo na znížení koncentrácií znečisťujúcich látok znečistenia iba vo veľmi malej miere.

Modelované scenáre krátkodobého vývoja kvality vody poukazujú na zraniteľnosť simulovaného úseku toku Dráva. Zatiaľ čo prvý scenár je skôr hypotetický, druhý scenár predstavuje reálnu situáciu. Dažďové udalosti na povodí mesta Osijek zaťažujú riekou Dráva krátkodobým zaťažením, ktoré má mimoriadne nepriaznivé dopady na biocenózu toku. Výsledky simulácie z druhého scenára poukazujú na potrebu riešenia manažmentu dažďových vôd v meste metódami centrálnej, prípadne decentralnej retencie a detencie s cieľom zníženia hydraulického a látkového zaťaženia recipientu.

Dosiahnuté výsledky ukazujú, že metódy matematického modelovania sú vhodným nástrojom na modelovanie kvality vôd v povrchových tokoch. Použitou metódou je možné modelovať dopad rôznych opatrení týkajúcich sa zdrojov znečistenia na kvalitu vody v recipiente. Predkladané výsledky modelovania môžu slúžiť ako námet pre aplikáciu na ďalších tokoch.

### Podakovanie

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“.

### Literatúra

- Benedini, M., Tsakiris, G. (2013): Water quality modelling for rivers and streams. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-5509-3
- Jolánkai, G. (1997): Basic river water quality models. CAL programme on water quality modelling (WQMCAL). Paris: UNESCO. Dostupné na Internet: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001213/121363Eo.pdf>
- Krsnik, H. (2011): Oborinske vode u kanalizacijskom sustavu odvodnje, diplomski rad, GFV UNIZG, Varaždin.
- Sokáč, M. (2010): Modelovanie vplyvu diskontinuálnych zdrojov znečistenia na povrchové toky. Vydavateľstvo STU Bratislava, 2010, 104 s., ISBN 978-80-227-3328-1. Edícia vedeckých prác, zošit č. 87, STU Bratislava, Stavebná fakulta.
- Sztruhár, D., Sokáč, M., Holienčin, A. and Markovič, A., (2002): Comprehensive assessment of combined sewer overflows in Slovakia. Urban Water, 4(3), 237 – 243.

## MATHEMATICAL SIMULATION OF WATER QUALITY SCENARIOS IN THE DRAVA RIVER

Model of the water quality in the downstream section of the Drava River (Croatia) is presented in this paper. In the first step a study about water quality but also quantity was performed (with use of mathematical simulation with the model MIKE11, Danish Hydraulic Institute, DHI). Results of this study were the distribution of discharges and water levels (Fig. 4) and concentrations of selected quality parameters (BOD<sub>5</sub>, dissolved oxygen, temperature, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, particular and dissolved P) in longitudinal profile along the whole river.

In the second step the model was used for simulation of the short-term water quality impacts using two scenarios. The first scenario modelled the total failure of the waste water treatment plant (WWTP) in the town Belišće (rkm 54,373) with the consequence that the waste water from households and paper industry flows without any treatment into the Drava river. The second scenario was focused on the analysis of the stormwater

management in the Osijek city and its impacts on the Drava river. We simulated the effect of mixed wastewater – effluent from the combined sewer overflows (CSO's) on the sewer system of the Osijek city.

Results of the scenario 1 simulation are shown in Fig. 5 and 6, some results of the combined sewer overflows CSO impacts are shown in Fig. 7 and 8. The statistical evaluation of the CSO modelling results and its impacts on the water quality in the river Drava in the form of IDF curves is presented on Fig. 9. From this figure it is clear that the short-term intense rain causes higher, but short-term loads of the river with increased pollutant concentrations, whereas the effect of long-term rain events is less concentrations, but loads last longer.

Results of this study show that such modelling approach can be very useful for solving water quality problems in rivers (recipients) and can be also very helpful in evaluation of various strategies and management practices of the water quality improvement.

doc. Ing. Marek Sokáč, PhD.  
Katedra zdravotného inžinierstva  
SvF. STU Bratislava  
Radlinského 11  
813 68 Bratislava  
Slovensko  
Tel. +421 2 59274 286  
E-mail: marek.sokac@stuba.sk

Marta Jerković, dipl. ing. građ.  
Građevinski fakultet Osijek  
Crkvena 21  
Osijek  
Chorvátsko  
E-mail: marta.jerkovich@gmail.com

Izv.prof.dr.sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ.  
Građevinski fakultet Osijek  
Crkvena 21  
Osijek  
Chorvátsko  
E-mail: ltadic@gfos.hr