KVANTIFIKÁCIA VPLYVU PREPADOV Z ODĽAHČOVACÍCH KOMÔR NA KVALITU VODY VO VODNOM TOKU

Marek Sokáč [1]

Abstrakt

V tomto príspevku sa zaoberáme vplyvom odľahčených vôd z jednotných stokových sietí na kvalitu vody v recipientoch, ktorá je prezentovaná na prípadovej štúdii rieky Hron pod mestom Banská Bystrica. V príspevku je ďalej opísaný simulačný model kvality vody v toku Hron, priestorový rozsah modelu, ako aj modelovanie fyzikálnych, chemických a biologických procesov vo vodnom toku pomocou numerického modelu MIKE 11. Hlavným cieľom modelu bola simulácia kvality vody a jej zmien po dĺžke toku pre kvázi ustálený stav prietokov v dvoch alternatívach – Q_a a Q_{355}. Model slúži ako základ pre modelovanie účinkov bodových zdrojov znečistenia a ich vplyvov na kvalitu vody v rieke Hron za účelom zlepšenia kvality vody.

Kľúčové slova: kvalita vody, numerické modelovanie, bodové zdroje znečistenia

1. Úvod

Matematické modely predstavujú vysoko efektívny nástroj v oblasti vodohospodárskeho plánovania, a to nielen v oblasti riadenia a manažmentu množstva, ale aj v oblasti kvality vôd. Potreba komplexného prognózovania, riadenia a ochrany kvality vody v sieti vodných tokov bude v budúcnosti pravdepodobne vyžadovať postupné „pokrytie“ našich najvýznamnejších povodí matematickými modelmi kvality vody. Postup pri riešení problémov kvality vody v tokoch pozostáva z formulácie problému a cieľa riešenia, navrhnutia vhodnej štruktúry databázy zdrojov znečistenia a výsledkov monitoringu, navrhnutia vhodného matematického modelu, kalibrácie a verifikácie modelu a z navrhnutia metodiky monitorovania a predpovedania vplyvu opatrení na kvalitu vody v sieti vodných tokov. Základným predpokladom numerického spracovania záujmového územia je dostatočne podrobná, úplná a aktuálna báza vstupných dát.

2. Priestorový rozsah modelu

Z priestorového hľadiska sme modelovali časť toku Hron od rkm 261,300 (profil Valkovňa) po ústie (rkm 0,000), teda prakticky okrem krátkeho úseku od prameňa rieky celý tok Hrona.

Definíciu trasy koryta toku sme vykonali v grafickom editore simulačného programu MIKE 11. Ako podklad sme použili digitalizované mapy mierky 1 : 50 000 [VKÚ Harmanec, 1998]. 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. Bočné prítoky sme zadávali iba schematicky, v dĺžke cca 500 metrov. Všetky bočné prítoky sme potom pripojili na hlavný tok - Hron, čím sme vytvorili model topológie riečnej siete.

Pre jednotlivé výpočtové body sme definovali priečne profily sústavou súradníc (šírka a hĺbka), pričom bolo potrebné zadať aj nadmorskú výšku súradníc. Pri zadávaní priečnych profilov sme vychádzali z práce [Mišík, 1998], kde autor generalizoval priečny, ako aj pozdĺžny profil pre úsek rieky Hron od profilu Vaľkovňa po ústie.

Treba však pripomenúť, že pre modelovaný úsek toku sme nemali dostatočné množstvo informácií o hydraulike toku (koeficienty drsnosti), resp. kinetike fyzikálnych, chemických a biologických procesov v toku (koeficienty disperzie, reaerácie, dezoxygenácie a pod.). Za najvážnejší problém však považujeme nedostatok kvalitatívnych údajov o prítokoch rieky Hron (pravidelne monitorované sú iba prítoky Čierny Hron, Bystrica, Slatina a Sikenica). Tento problém je však komplexnejší a týka sa všetkých slovenských tokov.

3. Okrajové a počiatočné podmienky

Modely kvality vody v tokoch sa obvykle využívajú na riešenie nepriaznivých stavov na toku, ktoré sa vyskytujú hlavne pri relatívne malých prietokoch. Voda je pri týchto prietokoch obvykle v koryte toku a odpadá tak často obtiažne riešenie prúdenia v inundačnom území. V tejto práci sme pri simulácii uvažovali s dvoma alternatívami kvázi ustáleného stavu prietokov – ročným priemerným prietokom Q_a a 355denným prietokom Q_{355}.

Pretože cieľom práce bolo aj modelovanie kvality vody, bolo nutné v miestach prítokov zadať aj vstupné koncentrácie látok, vstupujúcich v prítoku do modelovanej oblasti. Zadanie bolo potrebné pre každú stavovú premennú, s ktorou sa v modeli kvality uvažuje pri simulácii. Pri zadávaní sme v tomto konkrétnom prípade uvažovali s hodnotami c_{90}., teda s hodnotami kvalitatívnych ukazovateľov, zodpovedajúcich 90%nému kvantilu pravdepodobnosti neprekročenia (nepodkročenia pre O_2) danej koncentrácie látky v toku. V modeli sme použili modul, ktorý umožňuje modelovanie koncentrácií rozpusteného kyslíka (O_2), amoniakálneho dusíka (NH_4-N), dusičnanového dusíka (NO_3-N), biochemickej spotreby kyslíka (BSK_5) a fosforu (P) v rozpustenej a nerozpustenej forme.

Bodmi, v ktorých bolo potrebné zadať prítoky, boli teda všetky miesta bočných prítokov Hrona a ich kvalitatívnych ukazovateľov. Hodnoty, potrebné pre simuláciu prietokov sme určili z hydrologických podkladov, resp. chýbajúce údaje sme doplnili na základe hydrologickej bilancie povodia. Ťažšia situácia bola pri určení kvalitatívnych ukazovateľov bočných prítokov Hrona. V odberových miestach, uvedených v ročenke kvality vody (SHMÚ 2000), sme uvažovali s hodnotami podľa tejto ročenky, v ostatných profiloch sme takisto vychádzali z látkovej bilancie toku Hron.

Takisto bolo potrebné zadať všetky bodové zdroje znečistenia, napr. vyústenia z ČOV, priemyselných podnikov a pod.

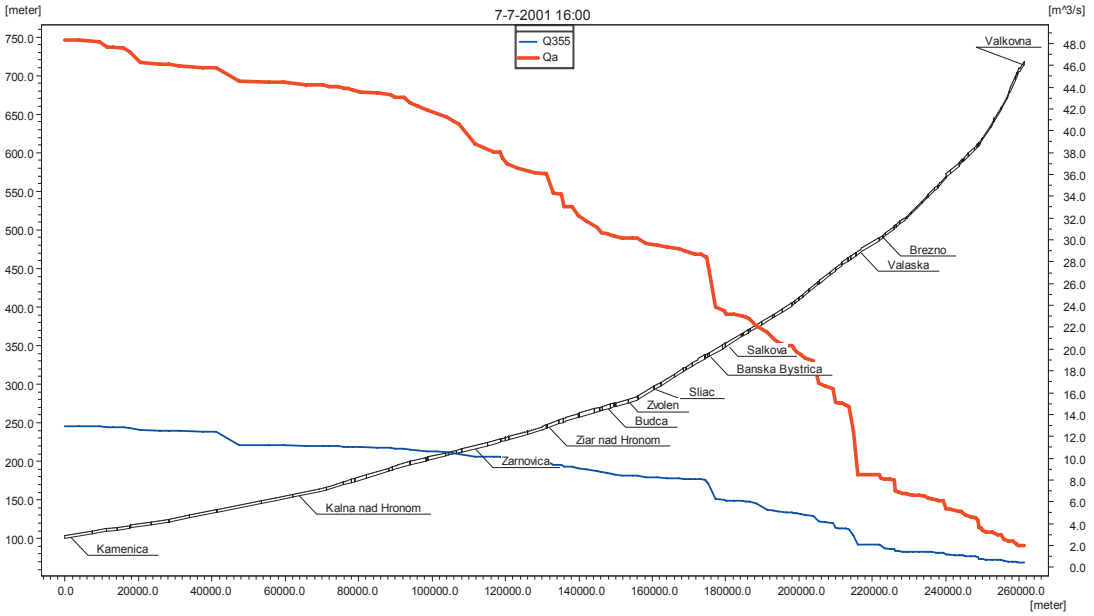
4. Simulácia procesov ovplyvňujúcich kvalitu vody

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

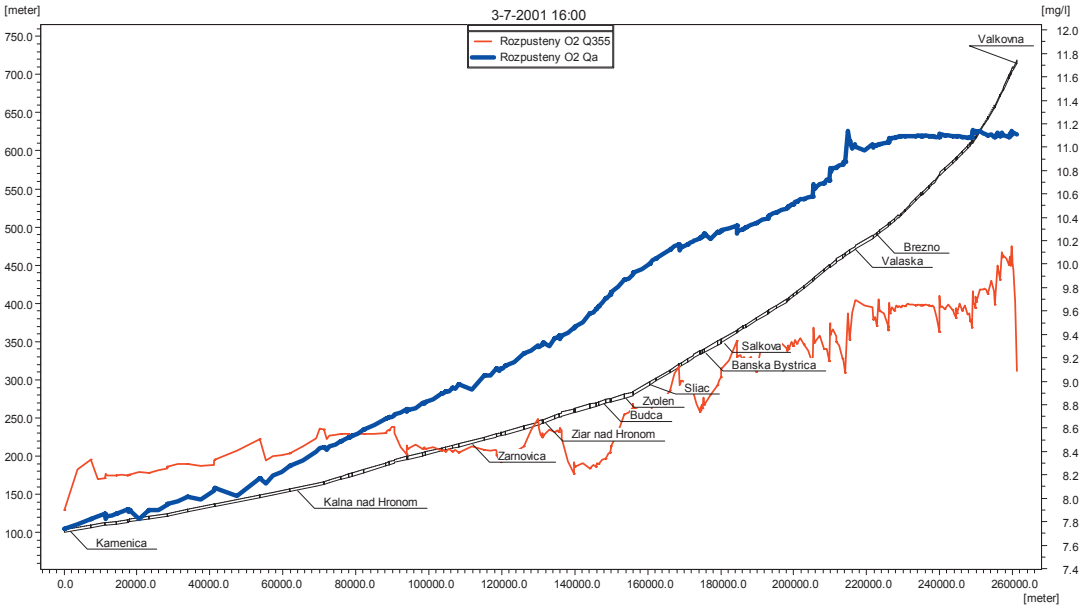
1. Reaerácia
2. Degradácia organických látok - okamžitá spotreba kyslíka
3. Nitrifikácia
4. Denitrifikácia

Proces č. 2, okamžitá spotreba kyslíka, je spotreba kyslíka v dôsledku biochemického rozkladu organických látok prítomných vo vodnej fáze (teda nie v sedimente). Proces znižovania kyslíka v dôsledku biochemického rozkladu organických látok v sedimente (aj resuspenzia sedimentu) sa označuje ako *oneskorená spotreba kyslíka.* Pri simulácii oneskorenej spotreby kyslíka je nutná simulácia transportu a kvalitatívnych procesov nekohezívneho sedimentu. Vzhľadom na to, že sme simulovali viacmenej ustálený stav prúdenia, a teda prípad okamžitej spotreby kyslíka, v modeli sme nepoužívali modul na simuláciu kvalitatívnych procesov a transportu nekohezívneho sedimentu.

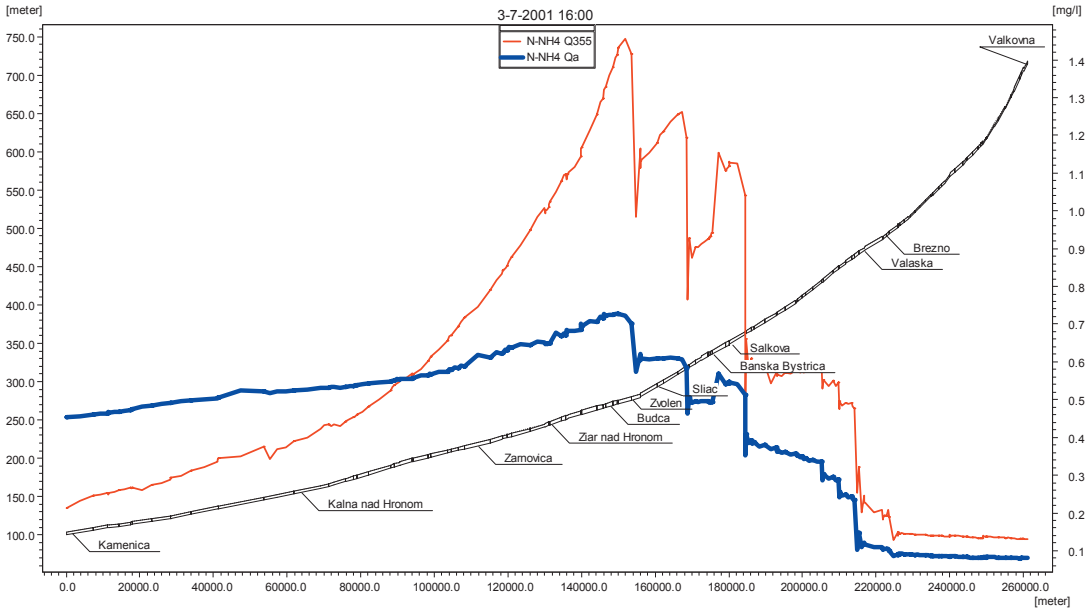
Modul kvality vôd vyžaduje od užívateľa prakticky iba údaje, potrebné pre definíciu kinetiky jednotlivých procesov, prebiehajúcich vo vodnom toku. Jednotlivé koeficienty, ovplyvňujúce kinetiku procesov sme nemenili a ponechali sme hodnoty odporúčané v manuáli programu. Dôvodom tohto postupu bol nedostatok údajov pre kalibráciu a verifikáciu modelu. Predpokladáme, že v budúcnosti bude možné potrebné koeficienty spresniť na základe meraní, resp. na základe nových alebo doplňujúcich údajov z literatúry [Velísková, 2004]. Výsledky simulácie sú zobrazené v pozdĺžnych profiloch toku na Obr. 1 až 4.



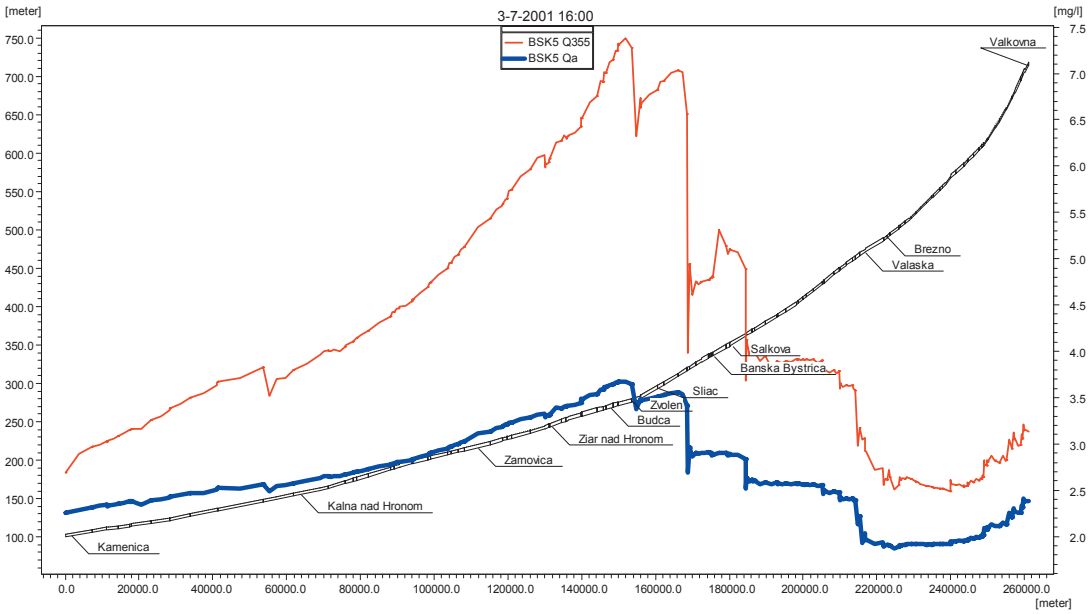
Obr. 1: Prietoky v modelovanom úseku rieky Hron pri dlhodobom priemernom prietoku (hrubá čiara) a pri 355dennom prietoku (tenká čiara)



Obr. 2: Priebeh koncentrácie rozpusteného kyslíka v modelovanej oblasti rieky Hron pri dlhodobom priemernom prietoku Q_a (hrubá čiara) a pri 355dennom prietoku (tenká čiara)



Obr. 3: Priebeh koncentrácie amoniakálneho dusíka N-NH_4 v modelovanej oblasti rieky Hron pri dlhodobom priemernom prietoku Q_a (hrubá čiara) a pri 355dennom prietoku (tenká čiara)



Obr. 4: Priebeh koncentrácie BSK_5 v modelovanej oblasti rieky Hron pri dlhodobom priemernom prietoku Q_a (hrubá čiara) a pri 355dennom prietoku (tenká čiara)

5. Modelovanie kvality vody v rieke Hron

V rámci projektu bola vykonaná matematická simulácia kvantitatívnych, ako aj kvalitatívnych pomerov v sledovanom úseku rieky Hron, od profilu Valkovňa po ústie rieky. Cieľom bolo zistiť priebeh vybraných ukazovateľov kvality vody v pozdĺžnom profile. Simulované ukazovatele kvality vody boli BSK_5, rozpustený O_2, teplota, NH_4-N, NO_3-N, P.

Pre posúdenie vplyvu bodových zdrojov znečistenia na modelovaný úsek toku Hrona boli vykonané simulácie v dvoch alternatívach – pri dlhodobých priemerných prietokoch (Q_a – na Hrone, ako aj vo všetkých prítokoch) a pri prietokoch blízkym minimálnym prietokom – pri 355 dennom prietoku Q_{355}. V prvej alternatíve (prietok Q_a) sme použili pre simuláciu kvality priemerné hodnoty ukazovateľov znečistenia, v druhej alternatíve simulácie (Q_{355}) sme

použili hodnoty c_{90}. Ako vstupné hodnoty boli použité údaje, prebraté z ročeniek kvality vôd (SHMÚ 1999, SHMÚ 2000).

Významný vplyv na výsledky simulácie má skutočnosť, že pri simulácii sme neuvažovali vplyv nebodových zdrojov znečistenia, pričom na určitých úsekoch rieky Hron sa takýto vplyv nebodových zdrojov znečistenia výrazným spôsobom prejavuje najmä v dolnej časti toku. Na druhej strane práve takýto prístup umožňuje kvantifikovať vplyv nebodových zdrojov znečistenia na celkovom znečistení rieky Hron.

Ďalším 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, 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 resuspenzii dnových nekohezívnych sedimentov.

Najväčším zdrojom nepresností bola však skutočnosť, že z približne 130 prítokov, ktoré sme zadávali do modelu ako prítoky do modelovej oblasti, sme mali k dispozícii iba 4 toky, ktoré boli monitorované z hľadiska kvality (Čierny Hron, Bystrica, Slatina a Sikenica). Ak by sme vyjadrili túto skutočnosť vzhľadom na prietoky, tak iba cca 30 % prítokov do systému boli monitorované toky. Na všetkých ostatných malých tokoch sme zadávali kvalitatívne údaje iba odhadom na základe látkovej bilancie toku. Ako ukázali výsledky simulácie, vo všeobecnosti môžeme tento postup prijať, ale lokálne vznikali veľké odchýlky výsledkov simulácie od skutočných hodnôt, najmä na hornom úseku toku rieky Hron. Malé prítoky Hrona môžu byť relatívne čisté toky z podhorských oblastí, ale takisto môžu byť značne znečistené, najmä ak pretekajú malými obcami bez vybudovanej kanalizácie (priame výusty septikov do vodného toku, podzemné vody znečistené netesnými žumpami a podobne.)

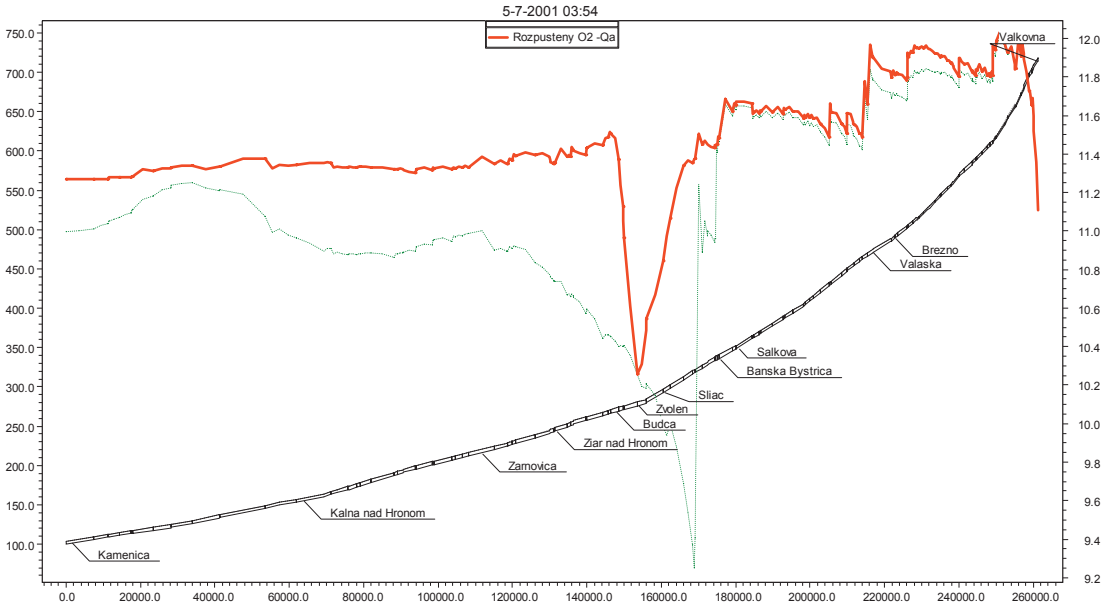
Aj porovnávanie modelových výsledkov so štatisticky odvodenými hodnotami jednotlivých ukazovateľov kvality vody v toku nie je práve z metodického hľadiska najvhodnejšie.

6. Simulácia vplyvu bodových zdrojov znečistenia

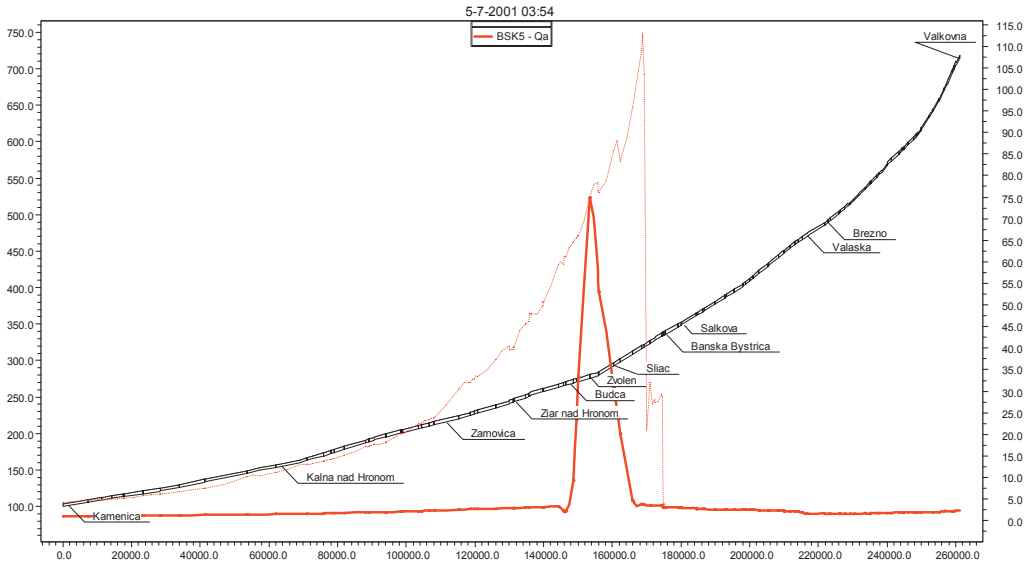
Vyššie opísaný model kvality vody v rieke Hron predstavuje nástroj, ktorým je možné modelovanie vplyvu bodových zdrojov znečistenia, ako sú napríklad výusty z komunálnych alebo priemyselných čistiarní odpadových vôd. Môže pritom ísť o kontinuálny alebo diskontinuálny charakter vypúšťania týchto odpadových vôd. Zaujímavým príkladom využitia modelu je práve diskontinuálny prípad vypúšťania odpadových vôd, ktorý sa v praxi veľmi často vyskytuje ako hydraulické odľahčenie odpadových vôd zo stokových sietí počas prívalových dažďov cez odľahčovacie komory na stokových sieťach. V tomto prípade ide o pomerne krátkodobé, o to však intenzívnejšie hydraulické a látkové zaťaženie recipientu.

Model sme preto využili na simuláciu vplyvu odľahčovania vôd z mestskej aglomerácie Banská Bystrica na kvalitu vody v rieke Hron v príslušnom riečnom kilometri. Pri modelovaní sme použili údaje a výsledky z predchádzajúcich výskumných projektov a meraní, ktoré boli riešené v spolupráci KZEI a VÚVH (Sztruhár, 2001). Simulácia odtoku odpadových vôd bola vykonaná pomocou modelu MOUSE (DHI). Výsledky simulácií v podobe minimálnych koncentrácií kyslíka a maximálnych koncentrácií BSK dosiahnuté pri simulácii odľahčenia odpadových vôd zo stokovej siete počas prívalových dažďov, sú na Obr. 5 a 6.

Vplyv vypúšťaných odľahčených odpadových vôd na recipient výrazne závisí nielen od množstva a kvality odpadových vôd, ale aj od prietokov a kvality vody v rieke v čase odľahčenia, ako aj od rôznych iných faktorov, ktoré ovplyvňujú napr. kinetiku procesov samočistenia v toku. Na tomto mieste je potrebné uviesť, že urbanizované povodie mesta Banská Bystrica je pomerne špecifické – má relatívne veľký sklon a veľké množstvo odľahčovacích komôr, takže odpadová voda sa rýchlo cez odľahčovacie komory dostane do recipientu vo veľkom množstve (veľmi malá detenčná schopnosť siete, úplná absencia akumulačných prvkov na sieti).



Obr. 5: Priebeh koncentrácie O_2 v modelovanej oblasti rieky Hron pri simulácii odľahčenia odpadových vôd (plná čiara – aktuálna hodnota v danom čase, čiarkovaná čiara – maximálne koncentrácie)



Obr. 6: Priebeh koncentrácie BSK_5 v modelovanej oblasti rieky Hron pri simulácii odľahčenia odpadových vôd (plná čiara – aktuálna hodnota v danom čase, čiarkovaná čiara – maximálne koncentrácie)

Pri modelovaní kvality vody v rieke sme takisto dospeli k záveru, že nárazové znečistenie z odľahčovacích komôr v rieke Hron nie je likvidované iba samočistiacou schopnosťou samotného toku, ale vo veľmi veľkej miere sa na likvidácii znečistenia podieľa zriedenie, zmiešavanie a disperzia. Napríklad po odľahčení sa v priebehu niekoľkých hodín prietok vplyvom bočných prítokov Hrona takmer zdvojnásobí (od profilu Sliač po profil Žarnovica), v dôsledku čoho koncentrácie poklesnú teoreticky takmer až na polovinu pôvodných hodnôt. Tento fakt má aj zásadný vplyv na modelovanie koncentrácie rozpusteného kyslíka – predpokladáme, že z bočných prítokov priteká voda s vysokým obsahom kyslíka (horské oblasti, veľké spády prítokov), čo vo významnej miere zlepšuje kyslíkovú bilanciu toku Hron

po vyústení odľahčených odpadových vôd. Táto situácia je pomerne špecifická, aj keď je možné ju predpokladať na veľkej časti hlavne horných (horských) úsekov slovenských tokov.

7. Záver

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 slovenských tokoch.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA v rámci riešenej grantovej úlohy č. VEGA 2/0101/08 „Určenie závislostí disperzných javov od hlavných hydraulických parametrov tokov“ a grantovej úlohy KEGA č. 3/7452/09 „Odkanalizovanie urbanizovaných území“.

Literatúra

[1] MIŠÍK, M.,1998. Posúdenie geomorfologických a hydrodynamických parametrov koryta Hrona od Kozmáloviec po ústie. Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava.

[2] Kvalita povrchových vôd na Slovensku 1997 – 1998, 1999. SHMÚ, Bratislava.

[3] Kvalita povrchových vôd na Slovensku 1998 – 1999, 2000. SHMÚ, Bratislava.

[4] Geomorfologický atlas Hrona, 1986. VÚVH, Bratislava.

[5] SZTRUHÁR, D.– SOKÁČ, M. – MARKOVIČ, A., 2001. Výsledky hodnotenia odľahčovacích komôr na verejných stokových sieťach jednotnej sústavy. II. časť – Hodnotenie kvality odľahčených odpadových vôd. Vodohospodársky spravodajca, roč. 44, 2001, č. 6.

[6] VELÍSKOVÁ, Y., 2004. Stanovenie koeficienta priečnej disperzie na hornom úseku rieky Hron. J. Hydrol. Hydromech, vol. 52, 2004, 4, s. 342–354. ISSN 0042 790X

Kontakty na autora

1 Doc. Ing. Marek Sokáč, PhD., Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: marek.sokac@stuba.sk